Observatoire des coûts

Assainissement

ASSAINISSEMENT COLLECTIF

RÉSEAUX, STATIONS, PLUVIAL

Étude des coûts

RAPPORT

BASSINS RHÔNE-MÉDITERRANÉE ET DE CORSE — Septembre 2018

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE
établissement public de l'État

SAUVONS L'EAU !

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Étude des coûts des opérations d'assainissement collectif

Membres du comité de pilotage de l'étude :
Audrey ROPARS, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Katy POJER, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Géraldine BERNHARD, Agence de l'eau Adour-Garonne
Julien DUBUIS, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Johann GRANADOS, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Bernard JAYET, Agence de l'eau Adour-Garonne
Gwenolé LE ROUX, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Anne-Laure MILL, Agence de l'eau Artois-Picardie
Patrice PAUTRAT, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
Jean-Marc PILLOT, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
François ROBERI, Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

Prestataires : Ecodecision conseil en environnement et Montmasson Ingénieurs Conseils

Auteurs : Antoine LANGUMIER (chef de projet), Gaëlle JAFFRES, Claire RITALY et Julie GOMEZ
Experts contributeurs : Christian DOCHE, Nicolas MONTMASSON, Fabien GUERS, Emmanuel GOUILLER et Julien RIMBOT

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES 4

LISTE DES TABLEAUX 6

SIGLES ET ABRÉVIATIONS 9

1 INTRODUCTION 16

1.1 UNE ETUDE POUR LA PREPARATION DU 11EME PROGRAMME 16

1.2 L'IMPORTANCE DE DEFINIR LES COUTS 16

2 METHODE 17

2.1 BILAN DE LA COLLECTE DES DONNEES 17

2.2 HYPOTHESES DE CALCULS 18

2.3 ACTUALISATION DES COUTS 19

2.4 METHODOLOGIE POUR LA DEFINITION DES COUTS DE REFERENCE 21

3 LES RESULTATS 26

3.1 VOLET 1 : CREATION ET REHABILITATION DE RESEAUX D'ASSAINISSEMENT 26

3.1.1 Création de canalisations gravitaires 26

3.1.2 Création de canalisations de refoulement 31

3.1.3 Regroupement des types actions de création de canalisations 35

3.1.4 Postes de relèvement ou de refoulement 38

3.1.5 Travaux spéciaux (forages, fonçages, micro tunneliers, …) 41

3.1.6 Étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place 43

3.1.7 Chemisage de la canalisation existante 47

3.1.8 Mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire 50

3.1.9 Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées 54

3.1.10 Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux pluviales 57

3.1.11 Regroupement : mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou pluviales 60

3.1.12 Regroupement des types actions liés à la réhabilitation du réseau d'assainissement 64

3.1.13 Regroupement des types actions liés à la création et à la réhabilitation de canalisations 71

3.1.14 Création d'un ouvrage de stockage restitution 76

3.2 VOLET 2 : TRAITEMENT PLUS POUSSE POUR L'AZOTE ET/OU LE PHOSPHORE POUR TOUTES TAILLES DE STATIONS D'EPURATION 79

3.2.1 Installation d'un traitement tertiaire par filtration 79

3.2.2 Traitement physico-chimique du phosphore par ajout de chlorure ferrique 81

3.2.1 Traitement membranaire (azote et phosphore simultanément) 85

3.2.2 Filtres plantés de roseaux pour le traitement de l'eau 88

3.2.3 Traitement poussé de l'azote par nitrification et/ou dénitrification 92

3.2.4 Traitement poussé biologique du phosphore 96

3.2.5 Regroupement des types actions « traitement plus poussé pour l'azote et le phosphore » 99

3.2.6 Démolition de l'ancienne station d'épuration 101

3.3 VOLET 3 : TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES 103

3.3.1 Noues d'infiltration (végétalisées ou avec massif drainant) 103

3.3.2 Bassins et mares d'infiltration 107

3.3.3 Chaussées réservoirs....111
3.3.4 Puits d'infiltration....115
3.3.5 Tranchées d'infiltration....118
3.3.6 Mise en place de SAUL (Structures Alvéolaires Ultra Légères)....121
3.3.7 Mise en place de surfaces désimperméabilisées....124
3.3.8 Regroupement des types actions des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales....126
3.3.9 Toitures végétalisées....129
3.3.10 Réservoir de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation....131
3.3.11 Regroupement « création d'un ouvrage de stockage restitution et réservoir de régulation pour une réutilisation »....135

4 LIMITES ET PERSPECTIVES....137
4.1 LIMITES....137
4.2 PERSPECTIVES....138

BIBLIOGRAPHIE....140

ANNEXE....141

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Logigramme pour le calcul du montant des actions 18
Figure 2 Canalisation gravitaire 26
Figure 3 Montant des actions de création de canalisations gravitaires en fonction de la longueur des canalisations créées 28
Figure 4 Canalisation de refoulement 31
Figure 5 Logarithme du coût unitaire des canalisations de refoulement en fonction du log du nombre d'EH concernés 33
Figure 6 A gauche : canalisation gravitaire et à droite : canalisation de refoulement 35
Figure 7 Montant de l'action en fonction de la longueur de la canalisation 37
Figure 8 Poste de relèvement ou de refoulement 38
Figure 9 Régression entre le logarithme du coût unitaire des actions de création de poste de relèvement et le logarithme de la capacité des pompes ou débit nominal de pompage 39
Figure 10 Travaux spéciaux : canalisation d'eaux usées posée dans une galerie souterraine existante d'amenée des eaux 41
Figure 11 Étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place 43
Figure 12 A gauche : introduction de la gaine, à droite : canalisation chemisée 47
Figure 13 Mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire 50
Figure 14 Montant des actions de mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire selon la longueur de la canalisation 52
Figure 15 Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées 54
Figure 16 Travaux de mise en séparatif du réseau d'eau pluviales 57
Figure 17 Travaux de mise en séparatif du réseau d'assainissement 60
Figure 18 Logaritme du coût unitaire (€ HT/EH) en fonction du log du nombre d'EH 62
Figure 19 à gauche : étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place, en haut à droite : chemisage de la canalisation existante et en bas à droite : mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eau usées 64
Figure 20 Logaritme du coût unitaire en fonction du log du nombre d'EH 66
Figure 21 En haut, de gauche à droite : canalisation gravitaire, canalisation de refoulement, chemisage de la canalisation existante. En bas, de gauche à droite : étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place et mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux pluviales. 71
Figure 22 Logaritme du coût unitaire (€ HT/EH) en fonction du log du nombre d'EH 73
Figure 23 Bassin de stockage-restitution 76
Figure 24 Traitement tertiaire par tambours filtrants 79
Figure 25 Réserver de chlorure ferrique pour le traitement physico-chimique du phosphore 81
Figure 26 Log du coût unitaire (€ HT/EH) en fonction du log de la capacité de la station d'épuration (EH) 84
Figure 27 Traitement membranaire 85
Figure 28 Filtre planté de roseaux 88
Figure 29 Traitement de l'azote par boues activées 92
Figure 30 Montant des actions de traitement de l'azote par nitrification et/ou dénitrification en fonction de la capacité de la STEU 94
Figure 31 Montant actions de traitement de l'azote par nitrification et/ou dénitrification en fonction de la capacité de la STEU (régression sans constante) 94
Figure 32 Station d'épuration à boues activées avec traitement biologique du phosphore 96
Figure 33 A gauche : réserve de chlorure ferrique pour le traitement physico-chimique du phosphore et à droite : traitement de l'azote par boues activées 99
Figure 34 Démolition de l'ancienne STEU 101
Figure 35 Noue 103
Figure 36 Montant des actions de création de noues en fonction du volume utile 105
Figure 37 Montant des actions de création de noues en fonction du volume utile (régression sans constante) . 105
Figure 38 Bassin d'infiltration 107
Figure 39 Parking avec enrobés poreux à structure réservoir 111
Figure 40 Puits d'infiltration 115
Figure 41 Tranchée d'infiltration 118
Figure 42 Mise en place de SAUL 121
Figure 43 Surface désimperméabilisée 124
Figure 44 En haut, de gauche à droite : noue d'infiltration, bassin d'infiltration et chaussée réservoir. En bas, de gauche à droite : puits d'infiltration, tranchée d'infiltration, mise en place de SAUL et surface désimperméabilisée 126
Figure 45 Toiture végétalisée 129

Figure 46 Réservoirs de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation 131
Figure 47 A gauche : ouvrage de stockage-restitution et à droite : réservoir de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation 135

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Nombre d'actions exploitables pour les analyses statistiques par volet et par agence de l'eau 11
Tableau 2 Liste globale des index utilisés pour l'actualisation des coûts (source : INSEE)..... 19
Tableau 3 Liste des index utilisés pour l'actualisation des coûts par type action 20
Tableau 4 Explication des valeurs dans le tableau des statistiques de régression..... 22
Tableau 5 Explication des valeurs dans le tableau des statistiques descriptives 23
Tableau 6 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour la création de canalisations gravitaires..... 27
Tableau 7 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la création de canalisations gravitaires..... 27
Tableau 8 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de la création de canalisations gravitaires ... 28
Tableau 9 Statistiques de régression sur la création de canalisations gravitaires..... 29
Tableau 10 Coûts unitaires moyens (€ HT/ml) des actions de création de canalisations gravitaires en fonction du type de matériau..... 29
Tableau 11 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml en milieu rural..... 30
Tableau 12 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml en milieu urbain..... 30
Tableau 13 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour les canalisations de refoulement 32
Tableau 14 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la création de canalisations de refoulement..... 32
Tableau 15 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de la création de canalisations de refoulement..... 32
Tableau 16 Statistiques de régression de la relation entre le log du coût unitaire et le log du nombre d'EH pour la création de canalisations de refoulement 33
Tableau 17 Nombre d'actions renseignées par déterminant concernant la création de canalisation 35
Tableau 18 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la création de canalisation 36
Tableau 19 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût des actions de création de canalisation..... 36
Tableau 20 Statistiques de régression pour la création de canalisations d'assainissement..... 37
Tableau 21 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour les postes de relèvement ou de refoulement... 38
Tableau 22 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de la création de postes de relèvement et de refoulement..... 39
Tableau 23 Statistiques de régression pour la création de poste de relèvement et de refoulement..... 40
Tableau 24 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour les travaux spéciaux..... 41
Tableau 25 Nombre d'actions renseignées par déterminant concernant l'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place 44
Tableau 26 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de l'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place 45
Tableau 27 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de l'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place 45
Tableau 28 Statistiques de régression pour l'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place 46
Tableau 29 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour le chemisage des canalisations..... 47
Tableau 30 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût du chemisage de la canalisation existante 48
Tableau 31 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût du chemisage de la canalisation existante 48
Tableau 32 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour le chemisage sur canalisation existante..... 48
Tableau 33 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire 51
Tableau 34 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire..... 51
Tableau 35 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de la mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire 52
Tableau 36 Statistiques de régression pour la mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire..... 53
Tableau 37 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées..... 55
Tableau 38 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées..... 55
Tableau 39 Statistiques descriptives du coût unitaire de mise en séparatif..... 55
Tableau 40 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux pluviales 58
Tableau 41 Statistiques descriptives du coût unitaire (€ HT/ml) pour la destruction de la canalisation unitaire et la mise en place de la canalisation d'eaux pluviales 58

Tableau 42 Nombre de valeurs renseignées par déterminant commun pour la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de deux canalisations (eaux usées et pluviales) 61
Tableau 43 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou d'eaux pluviales 61
Tableau 44 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou d'eaux pluviales 62
Tableau 45 Statistiques de régression pour le log du coût unitaire en fonction du log du nombre d'EH 63
Tableau 46 Nombre de valeurs renseignées par déterminant commun pour la réhabilitation des canalisations d'assainissement 65
Tableau 47 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des actions liées à la réhabilitation du réseau d'assainissement 65
Tableau 48 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût des actions de réhabilitation du réseau d'assainissement 66
Tableau 49 Statistiques de régression pour le log du coût unitaire en fonction du log du nombre d'EH 67
Tableau 50 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en milieu rural 67
Tableau 51 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en milieu urbain 68
Tableau 52 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en zone de plaine 68
Tableau 53 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en zone de montagne 68
Tableau 54 Statistiques descriptives du coût unitaire (€ HT/ml) pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement 69
Tableau 55 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml en milieu rural 70
Tableau 56 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml en milieu urbain 70
Tableau 57 Nombre de valeurs renseignées par déterminant commun pour la création et réhabilitation des canalisations 72
Tableau 58 Matrice de corrélation existant entre les déterminants testés pour le coût des actions de créations et de réhabilitation des canalisations d'assainissement 72
Tableau 59 Valeurs des coefficients de détermination (R²) obtenus par analyse des régressions 73
Tableau 60 Statistiques de régression pour le log du coût unitaire en fonction du log du nombre d'EH 73
Tableau 61 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en zone de plaine 74
Tableau 62 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en zone de montagne 74
Tableau 63 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml 75
Tableau 64 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la création d'ouvrage de stockage restitution 76
Tableau 65 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du coût de la création d'un ouvrage de stockage-restitution 77
Tableau 66 Statistiques descriptives pour la création d'ouvrage de stockage-restitution 77
Tableau 67 Nombre de valeurs renseignés par déterminant pour l'installation d'un traitement tertiaire par filtration 80
Tableau 68 Nombre de valeurs renseignés par déterminant pour la déphosphatation physico-chimique 82
Tableau 69 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des actions de déphosphatation physico-chimique 82
Tableau 70 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de la déphosphatation physico-chimique par ajout de chlorure ferrique 83
Tableau 71 Statistiques de régression pour le log du nombre d'EH et le log du coût unitaire 83
Tableau 72 Nombre d'actions renseignées pour chaque déterminant de l'action traitement membranaire 85
Tableau 73 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du surcoût STEU à BRM par rapport à une STEU à boues activées 86
Tableau 74 Statistiques de régression pour les STEU à traitement membranaire 87
Tableau 75 Nombre d'actions renseignées pour chaque déterminant du type d'action « filtres plantés de roseaux pour traitement de l'eau » 89
Tableau 76 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des filtres plantés de roseaux pour le traitement de l'eau 89
Tableau 77 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de la création de filtres plantés de roseaux 90
Tableau 78 Statistiques de régression pour la création de filtres plantés de roseaux 91
Tableau 79 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour le traitement de l'azote par nitrification et/ou dénitrification 93
Tableau 80 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du coût du traitement de l'azote par nitrification et/ou dénitrification 93
Tableau 81 Statistiques de régression sans constante sur les traitements plus poussés de l'azote par nitrification et/ou dénitrification 94
Tableau 82 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour le traitement poussé biologique du phosphore 97
Tableau 83 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour le traitement poussé biologique du phosphore 97
Tableau 84 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du coût du traitement physico-chimique du phosphore par ajout de chlorrure ferrique et du traitement poussé de l'azote par nitrification et/ou dénitrification 100
Tableau 85 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/EH) obtenus pour le regroupement des types d'actions « traitement par nitrification et/ou dénitrification » et « traitement physico-chimique du phosphore » 100

Tableau 86 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la démolition de l'ancienne STEU 101
Tableau 87 Statistiques descriptives (€ HT/EH) pour la démolition de l'ancienne station d'épuration..... 102
Tableau 88 Nombre d'actions par déterminant et types d'actions 104
Tableau 89 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des noues d'infiltration 104
Tableau 90 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût des noues d'infiltration 105
Tableau 91 Statistiques de régression du montant des créations de noues en fonction du volume utile 106
Tableau 92 Statistiques descriptives sur les coûts unitaires (€ HT/m²) pour les noues 106
Tableau 93 Nombre d'actions concernées par déterminant 107
Tableau 94 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des bassins et mares d'infiltration 108
Tableau 95 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût des bassins et mares d'infiltration..... 108
Tableau 96 Statistiques descriptives sur les coûts unitaires (€ HT/m^3) pour les bassins et mares d'infiltration .. 109
Tableau 97 Statistiques descriptives sur les coûts unitaires (€ HT/m^2) pour les bassins et mares d'infiltration .. 109
Tableau 98 Nombre d'actions de création de chaussée réservoir dont les déterminants sont renseignés..... 112
Tableau 99 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du coût de la création de chaussées réservoirs..... 112
Tableau 100 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/m²) obtenus pour la création de chaussées réservoirs .. 112
Tableau 101 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/m²) obtenus pour la création de chaussées réservoirs .. 113
Tableau 102 Nombre d'actions de création de puits d'infiltration dont les déterminants sont renseignés 115
Tableau 103 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du coût des puits d'infiltration 116
Tableau 104 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/puits) obtenus pour la création de puits d'infiltration 116
Tableau 105 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/m²) obtenus pour la création de puits d'infiltration..... 117
Tableau 106 Nombre d'actions de création de tranchées d'infiltration dont les déterminants sont renseignés ... 118
Tableau 107 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des tranchées d'infiltration 119
Tableau 108 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût des tranchées d'infiltration..... 119
Tableau 109 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/ml) pour la réalisation de tranchées d'infiltration en fonction de la longueur de la tranchée 120
Tableau 110 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour la réalisation de tranchées d'infiltration en fonction de la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage..... 120
Tableau 111 Nombre d'actions de mise en place de SAUL dont les déterminants sont renseignés 121
Tableau 112 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour la mise en place de SAUL en fonction du volume de stockage de l'ouvrage..... 122
Tableau 113 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour la mise en place de SAUL en fonction de la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage 122
Tableau 114 Nombre d'actions de création de surface désimperméabilisée dont les déterminants sont renseignés 124
Tableau 115 Statistiques sur les coûts unitaires pour la création de surfaces désimperméabilisées..... 125
Tableau 116 Nombre d'actions par types actions regroupés prises en compte pour l'analyse statistique 127
Tableau 117 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du coût des actions liées aux techniques alternatives de gestion des eaux pluviales..... 127
Tableau 118 Statistiques descriptives pour le regroupement des types actions du volet 3 127
Tableau 119 Nombre d'actions de création de toitures végétalisées dont les déterminants sont renseignés 129
Tableau 120 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/m²) obtenus pour la création de toitures végétalisées ... 130
Tableau 121 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour la création de réservoirs de régulation 132
Tableau 122 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût des réservoirs de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation 132
Tableau 123 Coût unitaire (€ HT/m^3) pour la création de réservoirs de régulation..... 133
Tableau 124 Coût unitaire (€ HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage) pour la création de réservoirs de régulation pour une réutilisation des eaux pluviales..... 133
Tableau 125 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du coût des ouvrages de stockage-restitution et des réservoirs de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation..... 136
Tableau 126 Statistiques descriptives sur les coûts unitaires en fonction du volume de stockage pour la création d'ouvrage de stockage restitution et le réservoir de régulation pour une réutilisation..... 136
Tableau 127 Nombre d'actions exploitables pour les analyses statistiques par type d'action et par agence de l'eau 141

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ADOPTA	Association pour le Développement Opérationnel et la Promotion des Techniques Alternatives en matière d'eaux pluviales
AERMC	Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
BT	Bâtiment
BRM	Bioréacteurs à membranes
DGD	Décompte Général Définitif
EH	Equivalents-habitants
EP	Eaux Pluviales
EU	Eaux Usées
F	Fisher
ING	Ingénierie
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
IRSTEA	Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
ITV	Inspection Télévisée
Log	Logarithme (dans le cadre de cette étude, il s'agit du logarithme décimal)
ml	mètre linéaire
mm	millimètre
PP	Polypropylène
PVC	Polychlorure de vinyle
R^2	Coefficient de détermination
SAUL	Structures Alvéolaires Ultra-Légères
STEU	Station de Traitement des Eaux Usées
TP	Travaux publics
VRD	Voirie et Réseau Divers

RÉSUMÉ

Objet de l'étude

Cette étude a pour objectif de proposer des coûts de référence pour 3 volets d'opérations d'assainissement collectif :

- Création de nouveaux réseaux d'assainissement et réhabilitation de réseaux d'assainissement existants (volet 1). Ce volet concerne la pose de nouvelles canalisations (création) servant à acheminer les eaux usées des habitations raccordées à la station d'épuration, où elles seront traitées avant rejet au milieu naturel. Dans certains cas, les canalisations sont déjà en place mais ne permettent pas d'acheminer de façon efficiente la totalité des eaux usées à la STEU. Une partie de celles-ci peuvent alors être déversées directement dans le milieu naturel, sans traitement. Dans ce cas, il est alors nécessaire de les réhabiliter ;
- Traitement plus poussé pour l'azote et le phosphore pour toutes tailles de STEU (volet 2). Il s'agit de travaux de mise en place de traitement plus poussé en azote et phosphore pour les rejets d'eaux usées des stations d'épurations rejetant dans des milieux sensibles à l'eutrophisation. Les traitements plus poussés se rapportent aux traitements permettant de rejeter dans l'environnement des eaux traitées dont les concentrations affichées en azote et phosphore sont moins élevées que ce que la réglementation impose ;
- Techniques alternatives de gestion des eaux pluviales (volet 3). Elles se rapportent aux ouvrages permettant de maitriser les eaux pluviales en amont afin de prévenir les inondations et d'assurer la protection de la ressource en eau ainsi que des usages associés en limitant les apports de polluants aux milieux aquatiques. Dans le cadre de l'étude, ce volet se concentre sur les techniques permettant de déconnecter les eaux pluviales du réseau unitaire.

Objectifs de l'étude

- Tester statistiquement l'influence de paramètres quantitatifs (longueur de canalisation, nombre d'EH, …) et qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) sur le coût de ces opérations d'assainissement collectif ;
- Établir des coûts de référence selon les déterminants identifiés comme ayant une influence sur les coûts observés ;
- Apporter des éléments de fiabilisation des coûts de référence et de leur actualisation dans le futur.

Méthodologie de l'analyse

L'analyse se base sur les données de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (56% des données) qui ont pu être complétées par celles des autres agences de l'eau (surtout pour les volets 2 et 3). Au final, 355 actions ont été considérées pour le volet 1 (soit 48% de l'échantillon), 189 pour le volet 2 (26% de l'échantillon) et 187 (26% de l'échantillon) pour le volet 3 pour un total de 731 données. Ces actions se rapportent à 602 opérations soldées sur la période 2009-2017. A l'intérieur des volets, des « types d'actions », plus précis ont été définis, par exemple, la création d'une canalisation gravitaire dans le volet 1.

Une opération pouvait, dans certains cas regrouper plusieurs actions (par exemple, la création d'une canalisation de refoulement pouvait être également associée à la création d'un poste de refoulement).

Tableau 1 Nombre d'actions exploitables pour les analyses statistiques par volet et par agence de l'eau

	Nombre d'actions exploitables						
Volet	**Rhône Méditerranée Corse**	**Adour-Garonne**	**Artois-Picardie**	**Loire-Bretagne**	**Rhin-Meuse**	**Seine-Normandie**	**Total par volet**
1 : création et réhabilitation de réseau	304	3	0	48	0	0	355
2 : traitement plus poussé pour l'azote et le phosphore	80	0	0	73	36	0	189
3 : techniques alternatives de gestion des eaux pluviales	26	0	155	0	0	6	187
Total par agence	410	3	155	121	36	6	731

Les types d'actions ont été caractérisés par un certain nombre de déterminants pouvant expliquer la variation du coût des actions. La capacité de la STEU est par exemple, un des déterminants principal du volet 2.

L'analyse statistique a tout d'abord reposé sur l'étude des régressions linéaires simples et multiples pour les déterminants quantitatifs des types d'actions comptant au moins 20 actions. En l'absence de résultats statistiquement significatifs, ou pour les types actions comptant moins de 20 actions, l'analyse descriptive des données a été réalisée. Une analyse de variance a été effectuée pour l'étude des déterminants qualitatifs. Les résultats ont pu être validés à dires d'experts. Un niveau de fiabilité a été attribué à chaque coût proposé afin d'évaluer la qualité du coût présenté.

Résultats

Les coûts de référence obtenus par type d'action et par regroupement de types d'actions sont présentés dans les tableaux ci-après.

Résultats obtenus pour le volet 1

	Nom du type d'action	Taille d'échantillon	Coût de référence	Méthode	Validité
Création de réseau d'eaux usées	Création de canalisations gravitaires	78	267 € HT/ml	Régression linéaire	
			Ou 224 € HT/ml en contexte rural et 303 € HT/ml en contexte urbain	Médiane	
	Création de canalisations de refoulement	27	37 060 x $EH^{0,2}$	Régression log-linéaire	Paramètre "longueur" plus intuitif mais avec régression mauvaise (R^2 <0,6)
	Regroupement : création de canalisations	105	263 € HT/ml	Régression linéaire	
	Poste de relèvement ou refoulement	30	46 668 x $Débit^{0,25}$	Régression log-linéaire	
Réhabilitation de réseau	Etanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place	58	230 € HT/ml + 13 € HT/EH	Régression linéaire	
	Chemisage de la canalisation existante	39	191 € HT/ml	Médiane	
	Mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire	63	301 € HT/ml	Régression linéaire	
	Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées	21	424 € HT/ml	Médiane	
	Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux pluviales	15	358 € HT/ml	Médiane	Peu de données
	Regroupement : mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou pluviales	48	15 488 x $EH^{0,4}$	Régression log-linéaire	
	Regroupement : types actions liés à la réhabilitation du réseau d'assainissement	196	39 811 x $EH^{0,2}$	Régression log-linéaire	
			Ou 940 € HT/EH en contexte rural et 382 € HT/EH en contexte urbain ; ou 481 € HT/EH en zone de plaine et 751 € HT/EH en zone de montagne ; ou 298 € HT/ml ; ou 267 € HT/ml en contexte rural et 339 € HT/ml en contexte urbain	Médiane	
	Création d'un ouvrage de stockage-restitution	21	965 € HT/m^3	Médiane	Médiane, dires d'experts plutôt à 1 200 € HT/m^3
Création et réhabilitation de réseau	**Regroupement :** types actions liés à la création et à la réhabilitation du réseau d'assainissement	301	37 230 x $EH^{0,2}$	Régression log-linéaire	
			Ou 465 € HT/EH en zone de plaine et 835 € HT/EH en zone de montagne ou 265 € HT/ml	Médiane	

	Nom du type d'action	Taille d'échantillon	Coût de référence	Méthode	Validité
Traitement plus poussé pour l'azote et le phosphore	Installation d'un traitement tertiaire par filtration	2	25 € HT/EH pour des STEU de 6 000 EH 10 € HT/EH à 12,5 € HT/EH pour des STEU de 20 000 EH à 25 000 EH	Dires d'experts	Dires d'expert
	Traitement physico-chimique du phosphore par ajout de chlorure ferrique	34	15 849 x Capacité^{0,1}	Régression log-linéaire	
	Traitement membranaire (azote et phosphore simultanément)	3	1 233 000 x Capacité$^{-0,1863}$	Surcoût d'une filière BRM par rapport à une filière boues activées d'après données IRSTEA	Méthode très indirecte car il s'agit d'un surcoût par rapport à la filière BRM
	Filtres plantés de roseaux pour le traitement de l'eau	112	168 € HT/m² de surface totale de lits + 31 000 € HT/lits	Régression linéaire	
	Traitement poussé de l'azote nitrification et/ou dénitrification	24	13,7 € HT/EH	Régression linéaire	
	Traitement poussé biologique du phosphore	7	50 € HT/EH	Dires d'expert	Dires d'expert
	Regroupement : types d'actions « traitement plus poussé pour l'azote et/ou le phosphore »	58	8 € HT/EH		

Résultats obtenus pour le volet 3

	Nom du type d'action	Taille d'échantillon	Coût de référence	Méthode	Validité
Gestion alternative du pluvial	Noues d'infiltration (végétalisées ou avec massif drainant)	31	722 € HT/m^3 de volume utile	Régression linéaire	
			15 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	Médiane	
	Bassins et mares d'infiltration	32	605 € HT/m^3 23 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	Médiane	
	Chaussées réservoirs	20	59 € HT/m² de surface de l'ouvrage 31 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	Médiane	Incertitude statistique
	Puits d'infiltration	20	8 700 € HT/puits 10 à 15 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	Médiane	
	Tranchées d'infiltration	29	410 € HT/ml 30 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	Médiane	Incertitude statistique
	Mise en place de SAUL (Structure Alvéolaire Ultra Légère)	11	530 € HT/m^3	Médiane + Dires d'expert	Peu de données, mais validation des experts
			18 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	Médiane	Incertitude statistique
	Mise en place de surfaces désimperméabilisées	7	45 € HT/m²	Médiane + Dires d'expert	Peu de données, mais validation des experts
	Regroupement : techniques alternatives de gestion des eaux pluviales	115	20 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	Médiane	Incertitude statistique
	Toitures végétalisées	9	110 € HT /m² de surface de l'ouvrage	Médiane + Dires d'expert	Peu de données, mais validation des experts
	Réservoir de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation	28	965 € HT/m^3	Dires d'expert	
			22 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	Médiane	

Résultats obtenus pour le regroupement des types d'actions du volet 1 et 3

	Nom du type d'action	Taille d'échantillon	Coût de référence	Méthode	Validité
Réhabilitation de réseau + gestion alternative du pluvial	**Regroupement** : création d'un ouvrage de stockage-restitution (volet 1) et réservoir de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation (volet 3)	49	993 € HT/m^3	Médiane	

Légende

	Trop peu de données (taille d'échantillon inférieure à 10)
	Niveau de fiabilité : médiocre - incertitude statistique, taille d'échantillon inférieure à 20 ou coût provenant uniquement d'avis d'expert
	Niveau de fiabilité : bon – taille d'échantillon comprise entre 20 et 50 ou statistiques médiocres et avis d'expert
	Niveau de fiabilité : excellent – taille d'échantillon supérieure à 50

1 INTRODUCTION

1.1 Une étude pour la préparation du 11ème programme

Dans le but de préparer son 11ème programme, l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC) souhaite disposer de coûts de référence pour 3 volets d'opérations d'assainissement collectif :

- Création de nouveaux réseaux d'assainissement et réhabilitation de réseaux d'assainissement existants (volet 1). Ce volet concerne la pose de nouvelles canalisations (création) servant à acheminer les eaux usées des habitations raccordées à la station d'épuration, où elles seront traitées avant rejet au milieu naturel. Dans certains cas, les canalisations sont déjà en place mais ne permettent pas d'acheminer de façon efficiente la totalité des eaux usées à la STEU. Une partie de celles-ci peuvent alors être déversées directement dans le milieu naturel, sans traitement. Dans ce cas, il est alors nécessaire de les réhabiliter ;
- Traitement plus poussé pour l'azote et le phosphore pour toutes tailles de STEU (volet 2). Il s'agit de travaux de mise en place de traitement plus poussé en azote et phosphore pour les rejets d'eaux usées des stations d'épurations rejetant dans des milieux sensibles à l'eutrophisation ;
- Techniques alternatives de gestion des eaux pluviales (volet 3). Elles se rapportent aux ouvrages permettant de maitriser les eaux pluviales en amont afin de prévenir les inondations et d'assurer la protection de la ressource en eau ainsi que des usages associés en limitant les apports de polluants aux milieux aquatiques.

L'étude comporte quatre phases :

- La phase 1 a consisté à préparer un échantillon d'opérations à analyser et à finaliser le cadre d'analyse ;
- La phase 2 a comporté un travail d'enquête et de constitution de la base de données ;
- La phase 3 est dédiée à l'analyse des données, et à la proposition de valeurs de référence, qui serviront à définir les modalités de mise en œuvre du 11ème programme ;
- La phase 4 sera dédiée à la présentation des résultats, une fois ceux-ci validés.

1.2 L'importance de définir les coûts

Le programme d'intervention de l'AERMC prévoit l'attribution de subventions aux maîtres d'ouvrage qui engagent des opérations jugées prioritaires pour la gestion de l'eau et des milieux aquatiques.
Les coûts de référence, fournissent une estimation du coût d'une opération ou action envisagée, dans les conditions les plus fréquentes. Par ailleurs, dans ses règles de gestion, l'AERMC établit des coûts plafonds pour calculer l'assiette de l'aide qui sont votés par le conseil d'administration de l'agence.
Or l'évolution des techniques et des champs d'actions couverts par les programmes d'intervention fait que de nombreux types d'actions ne disposent pas de coûts de référence à jour. La présente étude a pour objectif d'apporter des améliorations ou des compléments aux coûts de référence sur les 3 volets d'opérations d'assainissement collectif.

Le présent rapport a pour objet de donner les coûts de référence obtenus à partir des données récoltées en phase 2.

2 METHODE

2.1 Bilan de la collecte des données

Une opération peut, dans certains cas, regrouper plusieurs actions (par exemple, la création d'une canalisation de refoulement peut être associée à la création d'un poste de refoulement). Celles-ci ont été différenciées dans la base de données constituée par le recueil des données.

La collecte des données utilisées dans les traitements statistiques pour l'établissement des coûts de référence s'est déroulée de deux manières différentes :

- Les agences de l'eau Rhône Méditerranée Corse, Artois Picardie et Loire Bretagne ont tout d'abord transmis une extraction de leurs données d'aide sur les projets soldés d'assainissement collectif (10ème et éventuellement 9ème programme). A partir d'une brève description des travaux aidés, les extractions ont permis de sélectionner au préalable les dossiers potentiellement concernés par les volets à étudier. Les informations techniques et financières nécessaires pour le calcul des coûts de référence n'étaient cependant pas toutes informatisées et la plus grande partie des informations se trouvait dans les dossiers papiers de demande d'aide à l'investissement. Les dossiers papiers archivés ont alors été consultés sur place dans ces agences de l'eau pour compléter la collecte des données.
- Pour les agences de l'eau Adour Garonne, Seine Normandie et Rhin Meuse, les informations de même nature ont été transmises par voie électronique (remplissage direct de la base de données, envoi des fiches de proposition d'aides, extraction de l'observatoire des coûts et envoi de fichiers de contrôle de réalisation et de fonctionnement).

Les informations récupérées dans les dossiers étaient techniques, mais aussi financières. Il s'agissait de collecter les coûts avant-projet, généralement à partir des fiches de proposition d'aide et des descriptifs estimatifs financiers des projets, mais surtout les coûts réels, à partir des décomptes généraux définitifs (DGD). Les données techniques ont souvent été trouvées dans les descriptifs techniques des projets.

Au final, des données portant sur 1 208 actions ont été collectées. 60% de celles-ci sont réellement exploitables, soit 731 actions. En particulier :

- 355 actions sont exploitables pour le volet 1 (48% de l'échantillon) ;
- 189 actions pour le volet 2 (26% de l'échantillon) ;
- 187 actions pour le volet 3 (26% de l'échantillon).

Le détail des actions exploitables par agence et types d'actions est disponible en annexe. Ces actions se rapportent à 602 opérations soldées sur la période 2009-2017.

2.2 Hypothèses de calculs

Lors de la collecte des données, il a été constaté que le détail du coût des différents postes (études d'investigation, maîtrise d'œuvre, installation de chantier et coûts annexes) était en général plus souvent présent dans les détails estimatifs des coûts que dans les décomptes généraux définitifs. Afin de se baser sur le coût réel des opérations ou actions, il a été décidé de conserver les proportions du coût estimatif des différents postes par rapport au coût global et de les appliquer aux coûts réels.

Les calculs ont été réalisés à partir du coût des actions. Celui-ci a généralement été déterminé, au moment du recueil des données, en soustrayant le coût des différents postes (études, maîtrise d'œuvre, installation de chantier et coûts annexes) au montant total. Cependant, près de 40% des opérations ne présentaient pas de coûts de l'action renseignés dans la base de données finale. Ce dernier a alors été recalculé de la même façon que cela avait été fait lors de la collecte des données, en soustrayant au montant total, le coût des différents postes pour 20 % des actions. Sinon le montant de l'action est égal au montant total (20% des actions) (cf. Figure 1).

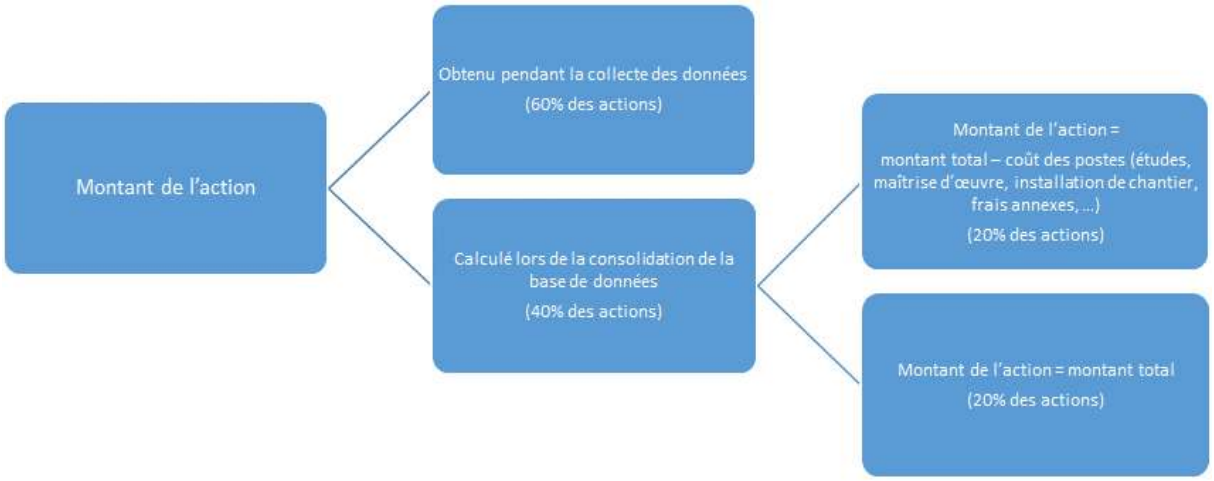

Figure 1 Logigramme pour le calcul du montant des actions

Lorsque le coût des différents postes n'était pas renseigné, nous avons préféré conserver le montant total comme coût de l'action, plutôt que de recalculer un coût de l'action à partir de la proportion moyenne du coût des différents postes. En effet, les coûts des différents postes ne sont renseignés que dans 20% des opérations contenues dans la base, faute de données suffisantes dans les dossiers.

Les calculs statistiques ont été réalisés en priorité à partir du montant réel de l'action. Lorsque ce dernier n'a pu être obtenu lors de la collecte, c'est le montant estimatif qui a été retenu pour avoir suffisamment de données. Cette dernière situation ne concerne cependant que 22% des opérations.

2.3 Actualisation des coûts

Tous les coûts antérieurs à janvier 2018 ont été actualisés à cette date qui correspond à la valeur des index la plus récente disponible au moment de l'étude. Pour cela, le coût estimatif a été actualisé à partir du taux d'actualisation correspondant à la formule : $\frac{valeur\ de\ l'index\ en\ janvier\ 2018}{valeur\ de\ l'index\ à\ la\ date\ d'attribution\ de\ l'aide}$.

Le coût réel a été actualisé à partir de la date de solde de l'opération. Lorsque la date complète était précisée, les coûts ont pu être actualisés à partir des valeurs mensuelles des index. Dans le cas contraire, pour les données collectées présentant *a minima* l'année d'attribution de l'aide et/ou l'année de solde, les coûts ont été actualisés par rapport à la moyenne des valeurs mensuelles de l'année correspondante.

Des index différents ont été utilisés selon le type action ainsi que le type de poste selon l'avis d'expert du Cabinet Montmasson. Le tableau ci-dessous résume les index utilisés (Tableau 2). Ceux-ci ont pu être obtenus sur le site de l'NSEE pour les plus récents (2014 à 2018) et sur https://www.batirama.com/ pour les valeurs antérieures à 2014.

Tableau 2 Liste globale des index utilisés pour l'actualisation des coûts (source : INSEE)

Index	Application
BT01	Tous corps d'état
BT47	Electricité
ING	Ingénierie
TP01	Index général tous travaux
TP02	Travaux de génie civil et d'ouvrages d'art neufs ou rénovation
TP10a	Canalisations, égouts, assainissement et adduction d'eau avec fourniture de tuyaux
TP10c	Réhabilitation de canalisations non visitables

Le coût des études préalables et de la maîtrise d'œuvre a été actualisé à partir de l'index ING. Le coût des actions, donc de l'exécution du chantier, a été actualisé en appliquant les index les plus adaptés au type action (Tableau 3). Le coût de l'installation et de la préparation de chantier a été actualisé à partir de l'index correspondant au type action. Concernant les frais annexes, qui regroupent généralement des dépenses assez hétérogènes (pouvant comprendre les inspections télévisées (ITV), mais également les acquisitions foncières pour les STEU) et par manque d'un index adapté, il a été choisi de ne pas les actualiser.

Tableau 3 Liste des index utilisés pour l'actualisation des coûts par type action

		Types d'action	Index utilisé(s)
Volet 1	Création de réseau d'eaux usées neuf	Canalisation gravitaire et canalisation de refoulement	TP10a
		Poste de relèvement ou refoulement	60% TP02 + 40% BT47
		Travaux spéciaux (forages fonçages, microtunneliers, etc.)	TP02
	Réhabilitation de réseau	Etanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place, mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire, mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de deux canalisations (EU et EP)	TP10a
		Chemisage de la canalisation existante	TP10c
		Création d'un ouvrage de stockage restitution	TP02
Volet 2	Traitement plus poussé pour l'azote et le phosphore pour toutes tailles de STEU	Installation d'un traitement tertiaire, traitement physico-chimique du phosphore : ajout de chlorure ferrique, traitement membranaire, filtre planté de roseaux pour traitement de l'eau, traitement poussé de l'azote par nitrification et/ou dénitrification, traitement poussé biologique du phosphore	8% ING + 38% BT47 + 49% TP02 + 3% BT01 + 2% TP10a
		(Démolition de l'ancienne STEP)	BT01
Volet 3	Gestion alternative du pluvial	Noues d'infiltration, bassin et mare d'infiltration, réservoir de régulation pour une réutilisation, toitures végétalisées, chaussées réservoir, puits d'infiltration, tranchées d'infiltration, mise en place de SAUL, surfaces désimperméabilisées	TP01

Les formules d'actualisation pour les postes de relèvement ou de refoulement et les STEU (Tableau 3) correspondent à dire d'expert (Cabinet Montmasson) aux proportions du coût des différents postes généralement observées lors de leur mise en place. Pour les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales, l'index général tous travaux (TP01) a été préféré car ces actions peuvent contenir différents travaux (canalisation, voirie, génie civil).

2.4 Méthodologie pour la définition des coûts de référence

La méthodologie repose sur une analyse statistique de 2 principaux types de données : les coûts et les déterminants. Ces derniers peuvent être des paramètres quantitatifs (longueur de la canalisation, capacité de la STEU, volume de stockage, …) ou qualitatifs (type de matériau, contexte urbain ou rural, …) pouvant influencer les montants des travaux. C'est l'existence d'une relation entre le montant et un ou plusieurs paramètres qui a été recherchée au travers des analyses statistiques réalisées dans le cadre de cette étude. L'objectif final étant d'établir des coûts de référence obtenus par régression linéaire ou correspondant au coût unitaire calculé à partir d'un indicateur physique économique (déterminant). Celui-ci correspondait généralement au déterminant le plus souvent renseigné dans les dossiers ou, selon les dires d'expert, qui avait généralement une influence sur les coûts observés.

Régressions linéaires

Pour les déterminants quantitatifs comptant au moins 20 actions : les régressions linéaires et log-linéaires ont été analysées sous Excel. L'étude des régressions a d'abord été réalisée entre 2 paramètres : le paramètre à expliquer (Y) qui se rapporte au montant ou au coût unitaire, et le paramètre explicatif (X) qui est le déterminant.

La relation obtenue est alors de la forme : **Y = aX+b** (où, dans le cadre de l'étude, Y pour rappel correspond au montant ou au coût unitaire, X, au déterminant, a, au coefficient directeur de la droite ou pente et b, à la constante).
Dans certains cas, il a été choisi de faire passer la droite par l'origine (régression sans constante de la forme : **y = aX**), lorsque cela était pertinent (R^2 de la relation sans constante supérieur au R^2 avec constante).

L'utilisation de la régression permet d'étudier l'existence d'une relation linéaire significative entre X et Y *a minima*. Pour cela, le coefficient de détermination (R^2), qui varie entre 0 et 1, est calculé. Plus il est proche de 1 et plus l'équation de régression définie entre le montant (Y) et le paramètre étudié (X) permet de décrire la distribution des points observés. Dans le cadre de l'étude, il a été considéré qu'il existait une relation linéaire entre le déterminant et les coûts observés dès lors que R^2 était supérieur ou égal à 0,6. Lorsque plusieurs déterminants présentaient un coefficient de détermination supérieur à 0,6 avec le montant, c'est généralement le déterminant qui possédait le R^2 le plus élevé qui a été considéré pour l'établissement du coût de référence. Afin de simplifier sa formule, la régression linéaire simple (un seul paramètre X) a d'abord été privilégiée à la régression multiple (plusieurs paramètres X).Les 2 méthodes sont cependant précisées ci-après.

En outre, il est également vérifié que la relation présentant un coefficient de détermination supérieur à 0,6 est significative. Pour cela, les résultats du test de Fisher, permettant d'évaluer l'importance de la contribution de X dans la régression, et de la probabilité que les coefficients de régression ne soient pas nuls, sont analysés. Les différentes statistiques de régressions généralement étudiées dans le cadre de l'étude sont présentées dans le Tableau 4.

Ainsi, si la relation établie est significative, la formule de la droite de régression est proposée comme coût de référence.

Tableau 4 Explication des valeurs dans le tableau des statistiques de régression

Valeur	Signification
a = pente de la droite	Valeur de la pente calculée par la régression
Erreur type	Ecart-type sur la valeur de la pente
R^2	Coefficient de détermination
Erreur type pour y estimé	Ecart-type sur l'équation de la droite de régression
Probabilité que le coefficient soit nul	Si cette probabilité est proche de 0, alors le coefficient est significatif
Valeur de Fisher observée	Permet de calculer la statistique de Fisher
Nombre de degrés de liberté	Nombre d'échantillons - 1
Valeur critique de Fisher	Si cette valeur est proche de 0, alors la relation définie est significative

En ce qui concerne les relations log-linéaires (logarithme décimal : $\log_{10}$), la relation obtenue est de la forme : **log (Y) = a × log (X) + b**. Le logarithme décimal est la fonction réciproque de $f(x)= 10^x$. Pour tout réel $x > 0$, si $y = \log_{10}(x)$ alors $x=10^y$.

De plus, d'après les formules mathématiques, pour tout réel x>0 :

- $a \times \log (X) = \log (X^a)$;
- $10^{\log (X)} = X$;
- $10^{\log (aX + b)} = 10^{aX} \times 10^b$.

D'où :

log (Y) = a × log (X) + b

$10^{\log(Y)} = 10^{(a \log(X)+b)}$

$Y = 10^{a \log(X)} \times 10^b$

$Y = X^a \times 10^b$

Dans le cas où il existait une relation entre le logarithme du coût unitaire (montant de l'action Y rapporté au paramètre X) et le logarithme du paramètre, la relation était de la forme :

Log $(\frac{Y}{X})$ = a × log (X) + b.

Or, d'après les formules précédentes et celle concernant les puissances présentée ci-dessous :

- $X \times X^a = X^{1+a}$

La formule suivante est obtenue : **$Y = X^{1+a} \times 10^b$**

La régression multiple a consisté à étudier plusieurs variables X permettant d'expliquer la variabilité de Y. Pour cela, le paramètre X présentant le coefficient de détermination le plus élevé a été considéré. Les autres paramètres ont été inclus alternativement pour étudier s'ils ne permettaient pas d'améliorer le coefficient de détermination et donc la relation définie entre le coût et les paramètres explicatifs. Si cela était le cas, la relation obtenue a été considérée pour l'établissement du coût de référence.

Corrélation entre deux déterminants

La corrélation entre deux paramètres explicatifs a également été étudiée. Pour cela le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage a été calculé. Les résultats obtenus par ce calcul sont compris entre -100 et 100. Lorsque la corrélation est positive, cela signifie qu'il existe une relation proportionnelle entre deux déterminants. A l'inverse, une corrélation négative indique une relation inversement proportionnelle entre les déterminants. Un coefficient de corrélation nul indique une absence totale de relation entre les deux déterminants étudiés. Au final, plus le coefficient de corrélation (exprimé en pourcentage) entre deux déterminants est proche de 100% en valeur absolue et plus ils sont dépendants l'un de l'autre.

L'objectif d'analyser le coefficient de corrélation est de pouvoir étudier les régressions multiples, en choisissant parmi les variables X le plus petit nombre d'entre elles qui explique au mieux la variabilité de Y. Pour cela, il est nécessaire de s'assurer que les déterminants considérés ne sont pas fortement liés entre eux et donc non redondants. Dans cette étude, il a été établi que deux déterminants étaient corrélés entre eux dès que le coefficient de corrélation (exprimé en pourcentage) était supérieur à 60% en valeur absolue.

Statistiques descriptives

Pour l'établissement du coût de référence, les statistiques descriptives ont pu être calculées à partir des coûts unitaires des indicateurs physiques économiques déterminant dans la variation du coût (appelés par la suite déterminants) présentant le plus grand nombre d'actions (il est émis dans ce cas l'hypothèse que l'information est plus facile à obtenir). Cette situation a concerné les types d'actions pour lesquels il n'existait pas **de relation entre les déterminants étudiés et les coûts observés** (R^2 inférieur à 0,6), ainsi que ceux qui **comptaient moins de 20 actions.**

Les statistiques descriptives généralement étudiées sont exposées dans le Tableau 5.

Tableau 5 Explication des valeurs dans le tableau des statistiques descriptives

	Coût unitaire des actions en € HT / déterminant considéré						
	Minimum	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire minimum	Coût unitaire maximum	Coût unitaire moyen	Coût unitaire médian (50% des coûts sont supérieurs à cette valeur)	Mesure de la dispersion des données	$\frac{écart-type}{moyenne}$: mesure de la dispersion des valeurs autour de la moyenne. Plus il est élevé plus les valeurs sont dispersées	20% des coûts sont inférieurs à cette valeur.

Dans ce cas, le coût de référence est établi en considérant la valeur de la médiane.

Valeurs extrêmes

Des valeurs extrêmes ont pu être détectées lors des analyses statistiques. Il s'agissait des valeurs s'éloignant fortement du nuage réunissant la majorité des points. Dans certains cas, elles ont pu être conservées pour les calculs, par exemple, les actions qui présentaient un montant très élevé, qui rapporté au déterminant explicatif de la variation du coût, était finalement semblable aux autres actions. Dans le cas où les valeurs extrêmes n'ont pas pu être expliquées, elles ont été retirées de l'analyse.

Analyse des paramètres qualitatifs

L'analyse de variance a permis d'étudier si les paramètres qualitatifs avaient une influence sur les montants observés. Elle a été réalisée pour les types d'actions présentant au moins 20 actions associées à chaque sous-population du déterminant qualitatif étudié, afin d'être sûr d'aboutir à des résultats statistiquement pertinents. Dès lors que la probabilité obtenue par cette analyse statistique est inférieure à 0,05 (seuil de significativité), cela signifie qu'une relation existe entre les coûts et le paramètre concerné. En effet, dans ce cas l'hypothèse nulle qui indique qu'il n'y pas de différence significative entre les échantillons en fonction du paramètre qualitatif étudié, est rejetée.

Elle a généralement permis l'étude de l'influence du contexte urbain/rural (selon la définition de l'INSEE[1]) et de la situation géographique de plaine ou de montagne[2] (selon la liste des communes publiée sur le site de l'observatoire des territoires). Les déterminants plus spécifiques à certains types d'actions (par ex. type de matériau, influence du type d'action pour les regroupements) ont également été analysés avec cette méthode.

Comparaison des moyennes par le test de Student pour les regroupements de types d'actions

Par souci de simplification, l'AERMC a également souhaité avoir des coûts de référence globaux par volet. Dans ce cas, le test de Student a été réalisé. Celui-ci permet de comparer les moyennes des coûts des types d'actions regroupés et d'en déduire si elles sont ou non, significativement différentes. Si la probabilité associée au test est inférieure à 0,05, cela signifie que les coûts observés sont globalement différents.

Niveau de fiabilité des coûts proposés

Les résultats obtenus par l'analyse statistique ont été soumis à dire d'expert. Pour les types actions réunissant très peu de données, les coûts n'ont pu être définis qu'à partir de ces derniers.

---

[1] Une commune urbaine est une commune appartenant à une unité urbaine. Les autres communes sont dites rurales. Est appelée « 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.

[2] 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.

Un niveau de fiabilité est indiqué pour chaque coût de référence proposé. 4 niveaux de fiabilité ont ainsi été définis :

- « Excellent » : la taille de l'échantillon est supérieure à 50 ;
- « Bon » : la taille de l'échantillon est comprise entre 20 et 50 ou les résultats statistiques sont médiocres mais validés par dires d'expert ;
- « Médiocre » : la taille de l'échantillon est inférieure à 20, les coûts proviennent uniquement de l'avis d'expert ou il existe une incertitude statistique car les valeurs sont dispersées autour de la moyenne ;
- « Douteux » : trop peu de données (taille d'échantillon inférieure à 10).

3 LES RESULTATS

3.1 Volet 1 : création et réhabilitation de réseaux d'assainissement

3.1.1 Création de canalisations gravitaires

Définition du type d'action

Ce type action regroupe toutes les actions de création de canalisations gravitaires, c'est-à-dire permettant l'écoulement « naturel » des eaux usées sans nécessiter l'installation de pompes de refoulement. Cette action concerne les canalisations de collecte et de transport.

Figure 2 Canalisation gravitaire
Source : Montmasson

Échantillon exploité

107 actions ont été identifiées comme correspondant à ce type action dont 78 sont exploitables (76 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 2 de Loire Bretagne). Les valeurs de 7 déterminants exposés dans le Tableau 6 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible. Concernant le déterminant « sujétions particulières », il a été recueilli pour étudier l'influence de l'existence de contraintes particulières durant le chantier sur le coût. Cependant, compte tenu de son caractère hétérogène, il a été difficile de l'étudier et d'interpréter les données. Le contexte affiché dans ce tableau se rapporte à un contexte recalculé permettant de définir si la zone concernée par les travaux est plus ou moins urbanisée (dans ce cas, le nombre de branchements au ml est élevé).

Tableau 6 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour la création de canalisations gravitaires

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal (ml)	78
Diamètre de la canalisation (mm)	78
Sujétions particulières : pourcentage du linéaire sous route départementale, présence de roche, nappe, surprofondeur	47
Nombre de branchements	65
Contexte (nombre de branchements/ml)	65
Nombre d'Equivalents Habitants concernés par le projet	68
Type de matériau	66

Influence des paramètres et coût de référence

Le Tableau 7 présente le coefficient de corrélation, exprimé en pourcentage, entre deux déterminants quantitatifs. Ceux possédant la plus forte corrélation (supérieure à 60%) sont le contexte et le nombre de branchements, ce qui est somme toute logique compte tenu du paramètre commun à ces deux déterminants (le nombre de branchements).

Tableau 7 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la création de canalisations gravitaires

	Longueur du réseau principal	Diamètre de la canalisation	Nombre de branchements	Contexte (branchements/ml)	Nombre d'EH concernés
Longueur du réseau principal		-19%	-22%	24%	13%
Diamètre de la canalisation	-19%		-4%	-11%	43%
Nombre de branchements	-22%	-4%		64%	-9%
Contexte (nombre de branchements/ml)	24%	-11%	64%		-12%
Nombre d'EH concernés	13%	43%	-9%	-12%	

Le Tableau 8 suivant met en évidence les valeurs des coefficients de détermination obtenues pour les déterminants quantitatifs concernant au moins 20 actions.

Tableau 8 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût de la création de canalisations gravitaires

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur de la canalisation (ml)	0,8	0,7	0,01	0,02
Diamètre de la canalisation (mm)	0,005	0,04	0,04	0,2
Nombre de branchements	0,02	0,2	0,05	0,7
Contexte (nombre de branchements/ml)	0,02	0,005	0,08	0,6
Nombre d'EH concernés	0,02	0,2	0,05	0,7

Le coefficient de détermination est le plus élevé pour la longueur de la canalisation indiquant une relation forte entre la longueur de canalisation et le montant de l'action (Tableau 8) : la longueur permet d'expliquer à 80% les variations du montant des actions. A contrario, certains déterminants n'ont pas de relation significative avec le montant des actions, comme c'est le cas du diamètre par exemple, avec un coefficient de détermination très proche de 0.

La droite de régression correspondante est présentée en Figure 3. Les valeurs sont davantage dispersées dès lors que les canalisations ont une longueur supérieure à 1 250m. Peu d'actions (10%) concernent d'importantes longueurs (supérieures à 1 500m).

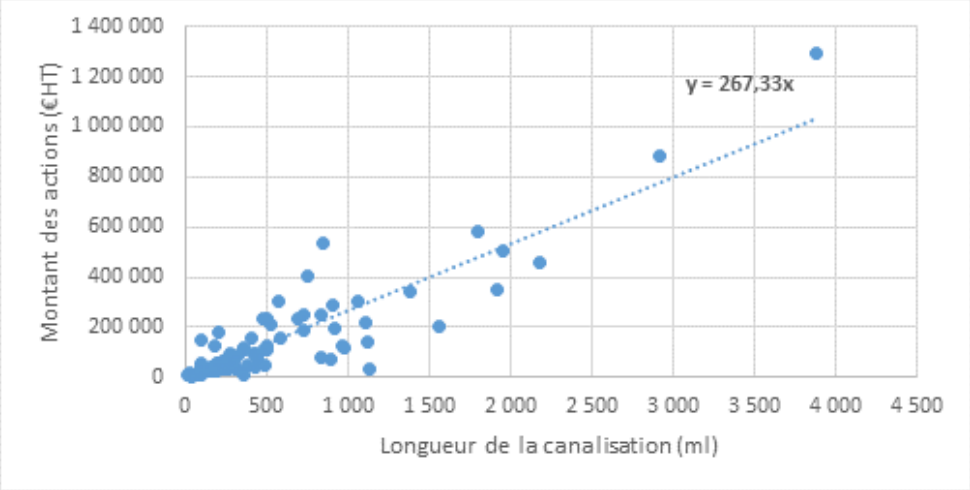

Figure 3 Montant des actions de création de canalisations gravitaires en fonction de la longueur des canalisations créées

Des régressions multiples ont été testées en tenant compte, en plus de la longueur de la canalisation, du diamètre, du nombre de branchements ou encore du nombre d'EH concernés[3]: elles présentaient des coefficients de régression parfois plus élevés (jusqu'à 0,87), mais avec des valeurs non significatives[4]. La régression avec un seul paramètre (longueur) et sans constante apparaît donc la meilleure. En effet, la régression avec constante affiche un coefficient de régression un peu moindre (0,8 contre 0,87) et la valeur de la constante n'est pas significative. Le Tableau 9 présente les résultats obtenus.

[3] Le contexte (nombre de branchements/ml) n'a pas été inclus dans l'analyse car il est calculé à partir du linéaire de la canalisation qui est déjà intégré.
[4] D'après les résultats du test de Fisher et de la probabilité que les coefficients de régression ne soient pas nuls.

Tableau 9 Statistiques de régression sur la création de canalisations gravitaires

Pente de la droite	Erreur type	R^2	Erreur type pour y estimé	Probabilité que le coefficient soit nul	Valeur de Fisher observée	Nombre de degrés de liberté	Valeur critique de Fisher
267	11,6	0,87	90 969	$2,3 \times 10^{-36}$	533	77	$4,2 \times 10^{-36}$

Le Tableau 9 indique que la probabilité que le coefficient soit nul est très faible ($2,3 \times 10^{-36}$) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($4,2 \times 10^{-36}$). La relation **y = 267x** entre le montant des projets et la longueur de la canalisation est donc significative.

Coût de référence proposé : 267 € HT/ml *(niveau de fiabilité : excellent)*.

Etude de l'influence du type de matériau sur les coûts

Par ailleurs, le principal type de matériau utilisé pour la création de canalisations gravitaires est le polychlorure de vinyle (PVC) : près de 71% des canalisations gravitaires sont ainsi faites avec ce type de matériau, suivi par la fonte (17%) et dans une moindre mesure le béton et le polypropylène (PP) (respectivement 8% et 5%). Le Tableau 10 expose les coûts unitaires moyens des actions en fonction du type de matériau. Ainsi, la création de canalisations en béton semble présenter un coût unitaire le plus élevé (330 € HT/ml) que les autres types de matériau. Cependant, ces résultats sont à considérer avec prudence, le nombre d'actions concernées étant très faible.

Tableau 10 Coûts unitaires moyens (€ HT/ml) des actions de création de canalisations gravitaires en fonction du type de matériau

Type de matériau	Coût unitaire moyen (€ HT/ml)	Nombre d'actions concernées
PVC	288	47
Fonte	293	11
Béton	330	5
PP	267	3

En moyenne, les longueurs de canalisations créées avec du PVC et de la fonte (qui présentent le plus grand nombre d'actions) sont respectivement de 504 ml et 1 053 ml. Le PVC est le matériau le plus couramment utilisé pour des canalisations de diamètre 200 et 250 mm. Il s'agit d'un matériau souple plus facile à transporter que le béton ou la fonte et généralement moins cher. La fonte présente la particularité, grâce au recul historique, d'être un matériau résistant et pérenne mais d'un coût généralement plus élevé que le PVC[5]. Cependant, les données présentées ici ne permettent pas de montrer que le coût est plus élevé pour la fonte que pour le PVC, la différence de coût n'étant que de 5 € HT/ml.

L'existence d'une relation significative entre le type de matériau et les coûts observés a été recherchée. Pour cela et afin d'avoir un échantillon représentatif (au moins 20 actions), certains matériaux ont été regroupés en 2 catégories : matières plastiques (PVC et PP) et matériaux divers (fonte, béton). L'analyse de variance ainsi réalisée a démontré qu'il n'existait pas de relation significative.

[5] L'eau l'industrie les nuisances (2014)

Différenciation des coûts en fonction du contexte urbain/rural

L'analyse de variance a néanmoins mis en évidence une influence du contexte urbain ou rural sur les coûts unitaires des actions[6]. L'étude de la régression ne montrant pas de relation linéaire significative entre les coûts et les déterminants (R^2 inférieurs à 0,6) des travaux réalisés en milieux urbain et ceux en milieu rural, les statistiques descriptives des coûts unitaires ont donc été réalisées en distinguant ces 2 types de milieux.

Tableau 11 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml en milieu rural

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / ml en milieu rural						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
51	30,52	850	237	224	143	0,63	299

Le Tableau 11 présente les résultats obtenus en milieu rural. En moyenne, le coût unitaire s'élève à 237 € HT/ml et varie de 31 € HT/ml (minimum) à 850 € HT/ml (maximum). L'écart-type est de 143 € HT/ml, et la médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **224 € HT/ml**. Le coefficient de variation de 0,6 traduit des valeurs assez dispersées autour de la moyenne.

Tableau 12 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml en milieu urbain

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / ml en milieu urbain						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
27	115	1 471	371	303	266	0,72	451

Le Tableau 12 présente quant à lui les statistiques descriptives des coûts unitaires en milieu urbain. Le coût est de 397 € HT/ml en moyenne, plus élevé qu'en milieu rural et lié au nombre plus important de contraintes qui peuvent exister en contexte urbain (ex. démolition de chaussée). La médiane est de **303 € HT/ml**. Le coût unitaire minimum est de 115 € HT/ml, et le maximum, de 1 471 € HT/ml. L'écart-type est de 266 € HT/ml et le coefficient de variation de 0,72 : les valeurs sont dispersées.

Coût de référence alternatif proposé : 224 € HT/ml en contexte rural et 303 € HT/ml en contexte urbain *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

[6] Probabilité = 0,002 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4

3.1.2 Création de canalisations de refoulement

Définition du type d'action

Ce type d'action regroupe les actions de création de canalisations de refoulement, installée à la suite d'un poste de refoulement (cf. Figure 4). Il s'agit d'une canalisation sous pression.

Figure 4 Canalisation de refoulement
Source : Syndicat intercommunal de Marseillan[7]

Échantillon exploité

42 actions sont concernées par ce type action dont 27 sont exploitables (22 provenant de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 5 de l'agence de l'eau Loire Bretagne). Les valeurs de 6 déterminants exposés dans le Tableau 13 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible (c'est-à-dire présente dans les dossiers relatifs aux actions). Concernant le déterminant « sujétions particulières », il a été recueilli pour étudier l'influence de l'existence de contraintes particulières durant le chantier sur le coût. Cependant, compte tenu de son caractère hétérogène, il a été difficile de l'étudier et d'interpréter les données.

[7] http://www.marseillon.fr/detail-acte/travaux-de-pose-de-canalisations-dassainissement-collectif-sur-la-commune-daudignon.html

Tableau 13 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour les canalisations de refoulement

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau (ml)	27
Diamètre de la canalisation (mm)	27
Sujétions particulières : pourcentage du linéaire sous route départementale, présence de roche, nappe, surprofondeur	15
Nombre d'EH concernés par le projet	24
Profondeur	4
Matériau	21

Influence des paramètres et coût de référence

Le Tableau 14 indique le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage entre les principaux déterminants quantitatifs (avec un nombre d'actions supérieur à 20). Les déterminants ne sont pas corrélés entre eux : le pourcentage de la variance expliquée est nettement inférieur à 60%.

Tableau 14 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la création de canalisations de refoulement

	Longueur du réseau	Diamètre de la canalisation	Nombre d'EH concernés par le projet
Longueur du réseau		17%	-21%
Diamètre de la canalisation	17%		29%
Nombre d'EH concernés par le projet	-21%	29%	

Le Tableau 15 met en évidence les valeurs de régression obtenues pour les déterminants quantitatifs comptant au moins 20 actions.

Tableau 15 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût de la création de canalisations de refoulement

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur du réseau	0,00002	0,007	0,3	0,2
Diamètre de la canalisation	0,009	0,07	0,07	0,03
Nombre d'EH concernés par le projet	0,1	0,10	0,02	0,64

Le coefficient de détermination (R^2) le plus élevé concerne le log du coût unitaire par rapport au log du nombre d'équivalents habitants avec un coefficient de détermination égal à 0,64. La relation entre le coût et le nombre d'EH sera alors étudiée pour l'établissement des coûts de référence.

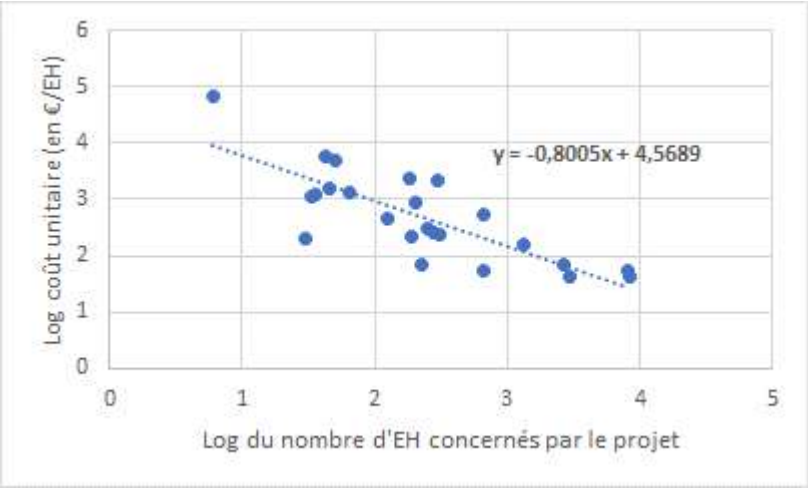

Figure 5 Logarithme du coût unitaire des canalisations de refoulement en fonction du log du nombre d'EH concernés

D'après la Figure 5 et le Tableau 16, la relation définie est : **y = -0,8x + 4,57**.

Tableau 16 Statistiques de régression de la relation entre le log du coût unitaire et le log du nombre d'EH pour la création de canalisations de refoulement

	Log (nombre d'EH concernés par le projet)	**Constante**
Valeur du coefficient	-0,8	4,57
Erreur type	0,13	0.32
Probabilité que le coefficient soit nul	$2{,}33 \times 10^{-6}$	$9{,}84 \times 10^{-13}$
R^2	0,64	
Erreur type pour y estimé	0,49	
Valeur de Fisher observée	39,9	
Nombre de degrés de liberté	22	
Valeur critique de Fisher	$2{,}33 \times 10^{-6}$	

De plus, le Tableau 16 indique que la probabilité que les coefficients soient nuls est très faible ($2{,}33 \times 10^{-6}$ pour le log du nombre d'EH concernés par le projet et $9{,}84 \times 10^{-13}$ pour la constante) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($2{,}33 \times 10^{-6}$). La relation définie entre le logarithme du nombre d'EH concernés par le projet et le logarithme du coût unitaire est donc significative.

Après application des formules mathématiques liées aux logarithmes et aux puissances présentées dans la partie 2.4, la relation obtenue est : **montant (€ HT) = 37 060 × $EH^{0,2}$**.

Par ailleurs, l'analyse de la régression multiple du coût en fonction du nombre d'EH et de la longueur de la canalisation, ainsi que du diamètre et de la longueur de canalisation (qui ne sont pas corrélés) ne permet pas de déduire l'existence d'une relation significative avec le coût. En effet, les coefficients de détermination alors obtenus sont très inférieurs à 0,6 et valent respectivement 0,14 et 0,1.

L'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente. En effet, le nombre d'actions associées à chaque sous-population est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 37 060 × $EH^{0,2}$ *(niveau de fiabilité : médiocre selon avis d'expert).*

3.1.3 Regroupement des types actions de création de canalisations

Définition du type d'action

Ce regroupement de types d'action concerne :

- La création d'une canalisation gravitaire ;
- La création de canalisations de refoulement.

Figure 6 A gauche : canalisation gravitaire et à droite : canalisation de refoulement
Sources : Montmasson et Syndicat intercommunal de Marseillan (cf. fiches individuelles des types d'actions)

Echantillon exploité

149 actions sont concernées par ces types actions dont 105 sont exploitables (98 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 7 de l'agence de l'eau Loire Bretagne). Les valeurs de 6 déterminants communs aux 2 types actions regroupées sont exposées dans le Tableau 17. Concernant le déterminant « sujétions particulières », il a été recueilli pour étudier l'influence de l'existence de contraintes particulières durant le chantier sur le coût. Cependant, compte tenu de son caractère hétérogène, il a été difficile de l'étudier et d'interpréter les données.

Tableau 17 Nombre d'actions renseignées par déterminant concernant la création de canalisation

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal (ml)	105
Diamètre (mm)	105
Sujétions particulières : pourcentage de linéaire sous route départementale, surprofondeur, présence de roches, nappe, …	62
Nombre d'EH concernés par le projet	94
Type de matériau	87

Influence des paramètres et coût de référence

Tableau 18 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la création de canalisation

	Longueur du réseau principal	Diamètre	Nombre d'EH concernés par le projet
Longueur du réseau principal		-9%	9%
Diamètre	-9%		39%
Nombre d'EH concernés par le projet	9%	39%	

Le Tableau 18 met en évidence coefficient de corrélation exprimé en pourcentage existant entre les déterminants les plus représentés (nombre d'actions supérieur ou égal à 20). De manière générale, les déterminants ne semblent pas ou très peu liés entre eux (pourcentage inférieur à 60%).

La régression linéaire a été étudiée pour les paramètres quantitatifs. Les résultats sont présentés dans le Tableau 19. La meilleure relation concerne la longueur de la canalisation avec le montant de l'action qui présente un coefficient de détermination de 0,71. Ainsi, la longueur de la canalisation permet d'expliquer à 71% la variation du montant des actions.

D'après le test de Student, les moyennes des 2 types actions regroupées ne sont pas significativement différentes. Il est donc pertinent d'étudier celle-ci en vue d'un regroupement.

Tableau 19 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût des actions de création de canalisation

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur	0,71	0,64	0,007	0,02
Diamètre	0,004	0,007	0,1	0,2
Nombre d'EH concernés	0,04	0,1	0,1	0,62

Après étude de la régression entre le montant de l'action et la longueur de canalisation en présence ou non de constante, il a été constaté que ce dernier cas permettait d'obtenir un meilleur coefficient de détermination (0,82 contre 0,71). Les résultats présentés ci-dessous concernent alors la relation sans constante (Figure 7 et Tableau 20). La relation établie est **y = 263x**.

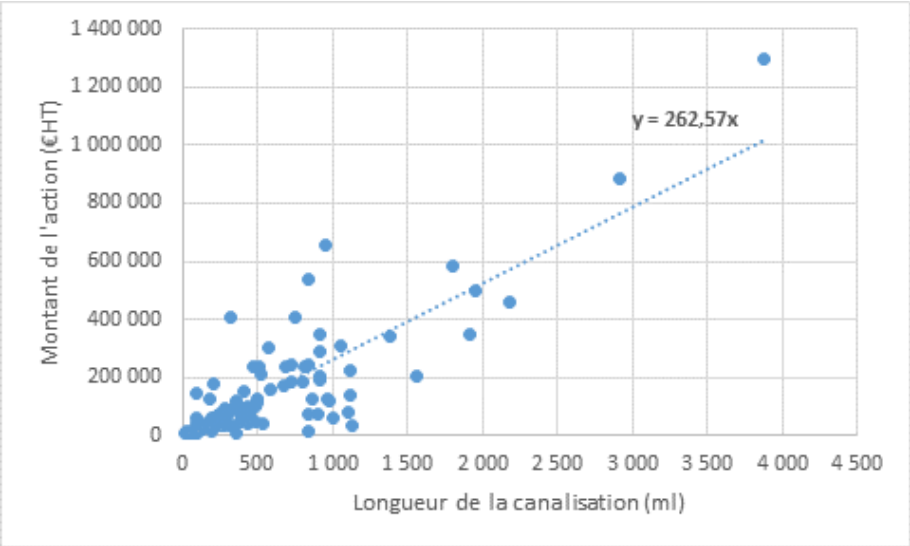

Figure 7 Montant de l'action en fonction de la longueur de la canalisation

Le Tableau 20 indique que la probabilité que le coefficient soit nul est très faible ($9{,}8 \times 10^{-39}$) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($1{,}5 \times 10^{-38}$). La relation définie entre le montant de l'action et la longueur de la canalisation est donc significative.

Tableau 20 Statistiques de régression pour la création de canalisations d'assainissement

Pente de la droite	Erreur type	R^2	Erreur type pour y estimé	Probabilité que le coefficient soit nul	Valeur de Fisher observée	Nombre de degrés de liberté	Valeur critique de Fisher
263	12,3	0,82	104 187	$9{,}8 \times 10^{-39}$	453	99	$1{,}5 \times 10^{-38}$

Par ailleurs, l'analyse de variance n'a pas mis en évidence d'influence des paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural[8], situation plaine/montagne[9]) sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 263 € HT/ml *(niveau de fiabilité : excellent).*

[8] Probabilité = 0,1 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4
[9] Probabilité = 0,09 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4

3.1.4 Postes de relèvement ou de refoulement

Définition du type d'action

Les postes de relèvement permettent, lorsque l'écoulement ne peut se faire de manière gravitaire, de relever le « fil de l'eau » d'un point bas vers un point haut. Les postes de refoulement sont associés à une canalisation de refoulement, qui est une canalisation sous pression, permettant de faire transiter les effluents pour passer un obstacle (par exemple une rivière). Ces postes sont composés d'au moins 2 pompes (dont une de secours).

Figure 8 Poste de relèvement ou de refoulement
Source : Montmasson

Échantillon exploité

42 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 30 sont exploitables (16 issues de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 14 de l'agence de l'eau Loire Bretagne). Les valeurs de 5 déterminants exposés dans le Tableau 21 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 21 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour les postes de relèvement ou de refoulement

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Capacité des pompes ou débit nominal de pompage (m^3/h)	30
Réhabilitation dans existant ou nouvel ouvrage	25
Profondeur (m)	12
Nombre d'EH concernés par le projet	22
Présence d'un dégrilleur (oui/non)	16

Environ 72% des actions renseignées (sur un total de 25) concernaient la création d'un nouveau poste de relèvement ou de refoulement. Pour les 16 actions qui mentionnaient la présence ou l'absence d'un dégrilleur, près de 63% en possédaient effectivement un.

Influence des paramètres et coût de référence

Les déterminants quantitatifs comptant au moins 20 actions, c'est-à-dire la capacité des pompes et le nombre d'équivalents habitants, ne sont pas corrélés. En effet, le coefficient de corrélation obtenu est de 0,48 soit 48%, valeur inférieure au seuil défini de 60%.

Le Tableau 22 met en évidence les coefficients de détermination R^2 obtenus pour les déterminants quantitatifs comptant au moins 20 actions.

Tableau 22 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût de la création de postes de relèvement et de refoulement

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Capacité des pompes ou débit nominal de pompage	0,002	0,2	0,05	0,61
Nombre d'EH concernés par le projet	0,3	0,4	0,08	0,7

Le coefficient de détermination R^2 est supérieur à 0,6 pour le logarithme du coût unitaire des déterminants « capacité des pompes ou débit nominal de pompage » et « nombre d'EH ». Selon l'avis d'expert de Montmasson, le dimensionnement d'un poste et donc son coût sont fortement liés à l'hydraulique du réseau et non au nombre d'EH, avec des écarts plus ou moins grands selon le type de réseau (séparatif ou unitaire). Il est alors proposé d'étudier le coût de référence à partir du débit.

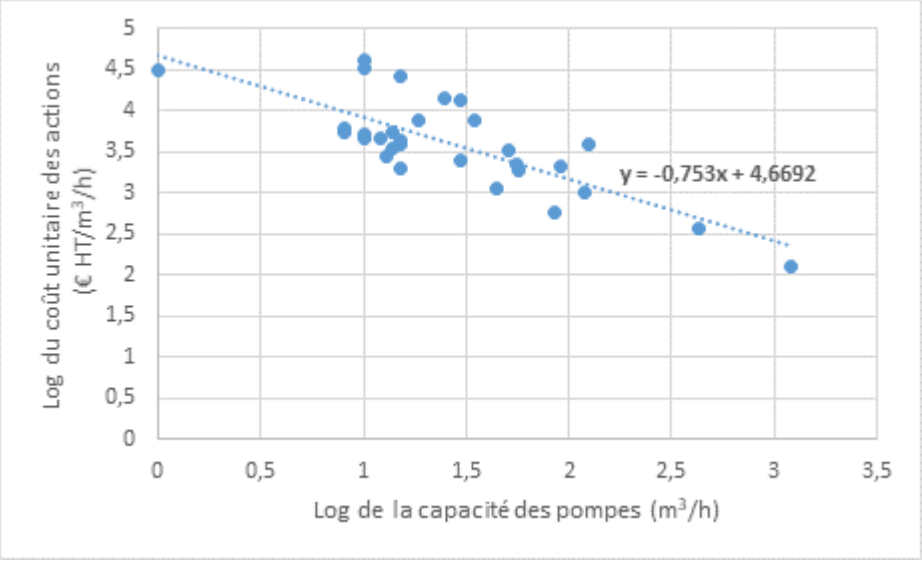

Figure 9 Régression entre le logarithme du coût unitaire des actions de création de poste de relèvement et le logarithme de la capacité des pompes ou débit nominal de pompage

La droite de régression du logarithme du coût unitaire des actions en fonction du logarithme de la capacité des pompes est représentée en Figure 9. L'équation de la droite de régression log-linéaire obtenue à partir des valeurs observées est : **y = -0,75x + 4,67**. La droite de régression obtenue permet d'expliquer près de 60% de la variation du coût unitaire observé (R^2 = 0,61).

Tableau 23 Statistiques de régression pour la création de poste de relèvement et de refoulement

	Log (capacité des pompes ou débit nominal de pompage)	Constante
Valeur du coefficient	-0,75	4,67
Erreur type	0,11	0,17
Probabilité que le coefficient soit nul	$3,2 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^{-21}$
R^2	0,61	
Erreur type pour y estimé	0,36	
Valeur de Fisher observée	44	
Nombre de degrés de liberté	28	
Valeur critique de F	$3,25 \times 10^{-7}$	

Le Tableau 23 indique que la probabilité que les coefficients soient nuls est très faible ($3,2 \times 10^{-7}$ pour le log de la capacité des pompes ou débit nominal de pompage et $1,7 \times 10^{-21}$ pour la constante) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($3,2 \times 10^{-7}$). La relation définie entre le logarithme de la capacité des pompes ou débit nominal de pompage et le logarithme du coût unitaire est donc significative.

Après application des formules mathématiques liées aux logarithmes et aux puissances présentées dans la partie 2.4, la relation obtenue est : **montant = 46 668 × Débit (m^3/h)^{0,25}**.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne, réhabilitation dans existant ou pas) ne peut être réalisée de manière pertinente car le nombre d'actions associées à chaque sous-population est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 46 668 × Débit (m^3/h)^{0,25} *(niveau de fiabilité : bon).*

Avis d'expert :

Pour le cabinet Montmasson, la plupart du temps, les coûts sont compris entre 50 000 et 200 000 € HT par poste. Le prix en m^3/h est nettement plus représentatif mais cette donnée sera difficile à exploiter pour l'agence de l'eau car les coûts sont très variables en fonction de la capacité du poste. D'après les retours d'expérience de Montmasson pour des postes de quelques milliers d'EH, les coûts sont compris entre 368 et 5 500 € HT/m^3/h et comprennent la mise en place de postes neufs, le génie civil et l'équipement.

3.1.5 Travaux spéciaux (forages, fonçages, micro tunneliers, …)

Définition du type d'action

Il s'agit de travaux particuliers réalisés dans le cadre de travaux sur les réseaux d'assainissement (création ou réhabilitation de réseaux d'assainissement). Dans le cas des actions propres à notre étude, il s'agissait de forages, de fonçages sous rivière ainsi que de la mise en place de batardeaux dans le lit d'une rivière (passage de canalisations « en souille »). Ces travaux spéciaux engendrant des surcoûts pour les actions, ils ont donc été isolés des types actions auxquels ils étaient associés.

Figure 10 Travaux spéciaux : canalisation d'eaux usées posée dans une galerie souterraine existante d'amenée des eaux
Source : Montmasson

Échantillon concerné

6 actions ont été comptabilisées au total pour ce type d'action, dont 3 sont exploitables (2 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 1 de Loire-Bretagne). Le nombre d'actions concernées par déterminant est indiqué dans le Tableau 24.

Tableau 24 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour les travaux spéciaux

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur de la canalisation (ml)	3
Diamètre de la canalisation (mm)	3
Type de forage (forage dirigé, fonçage, micro tunnelier)	3
Section de la gaine extérieure (m²)	2
Nombre d'EH concernés par le projet	3

Au vu du faible nombre d'actions concernées par ce type d'action et de son objectif premier (isoler les surcoûts), aucun coût ne sera proposé.

Avis d'expert

Ces sujétions peuvent impacter significativement le surcoût d'un projet, avec une variabilité importante des surcoûts suivant les techniques mises en œuvre, résultant de contraintes souvent impératives, notamment d'ordre géotechnique.

Pour le coût de référence, les experts du cabinet Montmasson considèrent pour les forages et les fonçages, un prix de 70 000 € HT pour une traversée de route départementale sur une longueur de 15 m environ, soit un ratio proche de 4 650 € HT/ml.

3.1.6 Étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place

Définition du type d'action

Ce type action concerne les réhabilitations de réseaux d'assainissements par changement en lieu et place de la canalisation qui n'est plus suffisamment étanche par une nouvelle, dans le but d'empêcher l'intrusion d'eaux claires parasites.

Figure 11 Étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place
Source : Montmasson

Échantillon exploité

252 actions sont concernées par ce type action dont 58 actions sont exploitables (54 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 4 de l'agence de l'eau Loire Bretagne). Ce type action était proposé par défaut dans la liste déroulante de la base de données pour le choix du type action, ce qui explique la grande différence entre le nombre total d'actions et le nombre d'actions exploitables. Afin d'expliquer les coûts observés, les valeurs de 8 déterminants, exposés dans le Tableau 25, ont été recherchées dans les dossiers et renseignées dans la base de données quand elles étaient disponibles. Concernant le déterminant « sujétions particulières », il a été recueilli pour étudier l'influence de l'existence de contraintes particulières durant le chantier sur le coût. Cependant, compte tenu de son caractère hétérogène, il a été difficile de l'étudier et d'interpréter les données. Le contexte affiché dans ce tableau se rapporte à un contexte recalculé permettant de définir si la zone concernée par les travaux est plus ou moins urbanisée (dans ce cas, le nombre de branchements au ml est élevé).

Tableau 25 Nombre d'actions renseignées par déterminant concernant l'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal (ml)	58
Diamètre (mm)	55
Sujétions particulières : pourcentage de linéaire sous route départementale, surprofondeur, présence de roches, nappe, …	26
Nombre de branchements	45
Contexte : nombre de branchements par mètre linéaire de canalisation	45
Nombre d'EH concernés par le projet	45
Type de matériau	46
Nombre de déversoirs d'orage	9

Tous les déterminants, excepté le nombre de déversoirs d'orage comptent au moins 20 actions (Tableau 25).

Influence des paramètres et coût de référence

Le Tableau 26 met en évidence le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage existant entre les déterminants les plus représentés (nombre d'actions supérieur ou égal à 20). De manière générale, les déterminants ne semblent pas ou peu liés entre eux (coefficient de corrélation en valeur absolue inférieur à 60%). La longueur du réseau couplée au nombre de branchements/ml possède le pourcentage de la variance expliquée le plus élevé avec 55%. Ce résultat paraît logique car la longueur de la canalisation est commune à ces 2 déterminants. Le « nombre d'EH concernés par le projet » couplé au « diamètre de canalisation » présente aussi un pourcentage de la variance expliquée plus important que les autres déterminants (54%).

Tableau 26 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de l'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place

	Longueur du réseau principal	Diamètre	Nombre de branchements	Contexte : nombre de branchements/ml	Nombre d'EH concernés par le projet
Longueur du réseau principal		-17%	-32%	55%	-3%
Diamètre	-17%		-14%	-18%	54%
Nombre de branchements	-32%	-14%		39%	-14%
Contexte : nombre de branchements/ml	55%	-18%	39%		-18%
Nombre d'EH concernés par le projet	-3%	54%	-14%	-18%	

Concernant les paramètres quantitatifs, la régression linéaire a été analysée. Les résultats sont présentés dans le Tableau 27. Il peut être constaté que les valeurs des coefficients de détermination sont supérieures à 0,6 pour le log du coût unitaire et le nombre de branchements/ml ainsi que pour le log du nombre d'EH et le log du coût unitaire.

Tableau 27 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de l'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur	0,4	0,4	0,09	0,2
Diamètre	0,03	0,02	0,17	0,09
Nombre de branchements	0,02	0,02	0,03	0,4
Contexte : nombre de branchements par mètre linéaire	0,05	0,2	0,08	0,73
Nombre d'EH concernés	0,07	0,1	0,08	0,69

Il a été réalisé dans un second temps, une étude des régressions linéaires à partir, non pas d'un seul déterminant, mais de plusieurs, afin de voir si le coefficient de corrélation ainsi obtenu pouvait être augmenté.

Cela est le cas pour la longueur du réseau principal et le nombre d'EH concerné : en couplant ces deux déterminants au montant total des actions, le coefficient de régression obtenu est égal à 0,76 (Tableau 28) sans constante et 0,5 avec constante. La première situation a alors été préférée pour l'établissement des coûts de référence.

Tableau 28 Statistiques de régression pour l'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place

	Longueur du réseau principal	Nombre d'EH concernés
Valeur du coefficient	229	12,7
Erreur type	23	4
Probabilité que le coefficient soit nul	$9,6 \times 10^{-13}$	0,003
R²	0,76	
Erreur type pour y estimé	105 083	
Valeur de Fisher observée	67	
Valeur critique de Fisher	$9,34 \times 10^{-14}$	

Le Tableau 28 indique que la probabilité que les coefficients soient nuls est très faible ($9,6 \times 10^{-13}$ pour la longueur du réseau principal et 0,003 pour le nombre d'EH concernés) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($9,34 \times 10^{-14}$). La relation définie entre le montant de l'action, la longueur du réseau principal et le nombre d'EH concernés est donc significative.

Un coût de référence pour l'étanchéification d'un réseau peut donc être proposé selon la formule suivante : **Montant = 229 x longueur + 13 x Nombre d'EH.**

L'analyse de variance pour les paramètres non numériques (contexte urbain/rural[10], situation plaine/montagne[11] et type de matériau[12]) a démontré qu'ils n'avaient pas d'effet sur les variations de coûts observés.

Coût de référence proposé : 230 € HT/ml + 13 € HT/EH *(niveau de fiabilité : excellent).*

[10] Probabilité = 0,3 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4
[11] Probabilité = 0,8 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4
[12] Probabilité = 0,3 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4

3.1.7 Chemisage de la canalisation existante

Définition du type d'action

Les opérations de chemisage regroupent les procédés de réhabilitation des canalisations sans tranchée (par exemple gaine étanche plaquée contre la paroi défectueuse).

Figure 12 A gauche : introduction de la gaine, à droite : canalisation chemisée
Source: Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung[13]

Échantillon exploité

Les renseignements ont été collectés sur 46 actions dont 39 sont exploitables (25 provenant de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 14 de l'agence de l'eau Loire Bretagne) selon 4 déterminants (Tableau 29).

Tableau 29 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour le chemisage des canalisations

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal (ml)	39
Diamètre de la canalisation (mm)	35
Contexte : nombre de branchements par mètre linéaire de canalisation	8
Nombre d'EH concernés par le projet	27

[13] http://www.swietelsky-faber.de/fr/leistungen/schlauchliner-sanierung.php

Influence des paramètres et coût de référence

Le Tableau 30 présente le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage existant entre les principaux déterminants (nombre d'actions supérieur ou égal à 20). Ceux-ci ne sont pas ou très peu corrélés entre eux puisque le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage est nettement inférieur à 60%.

Tableau 30 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût du chemisage de la canalisation existante

	Longueur du réseau principal	**Diamètre de la canalisation**	**Nombre d'EH concernés par le projet**
Longueur du réseau principal		7%	3%
Diamètre de la canalisation	7%		31%
Nombre d'EH concernés par le projet	3%	31%	

Les régressions linéaires ont été étudiées pour les déterminants comptant au moins 20 actions. Le Tableau 31 met en évidence les résultats obtenus. Aucun coefficient de détermination n'est supérieur à 0,6. Il n'est donc pas possible d'établir de relation significative entre les déterminants étudiés et les montants observés.

Tableau 31 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût du chemisage de la canalisation existante

Déterminant	**Montant de l'action**	**Log du montant de l'action**	**Coût unitaire**	**Log du coût unitaire**
Longueur du réseau principal	0,02	0,30	0,0004	0,09
Diamètre de la canalisation	0,05	0,06	0,11	0,007
EH	0,56	0,4	0,02	0,55

Le coût de référence sera alors étudié à partir des statistiques descriptives du coût unitaire du paramètre le plus souvent renseigné : la longueur de la canalisation.

Tableau 32 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour le chemisage sur canalisation existante

Nombre d'actions prises en compte	**Coût unitaire en € HT / ml**						
	Minimum	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
33	12	481	222	191	124	0,56	339

D'après le Tableau 32, le coût unitaire médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **191 € HT/ml**. Les valeurs obtenues sont assez dispersées autour de la moyenne car le coefficient de variation est égal à 0,56. En l'absence d'une régression significative, il est proposé de retenir le coût unitaire médian, **191 € HT/ml**, comme coût de référence.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, situation de plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente. En effet le nombre d'actions associées au contexte rural et à la zone montagneuse est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 191 € HT/ml *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

3.1.8 Mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire

Définition du type d'action

Dans ce type d'action, sont regroupées l'ensemble des opérations relatives à la mise en séparatif d'un réseau par création d'une canalisation eaux usées ou pluviales à côté de la canalisation unitaire.
La mise en séparatif d'un réseau a pour objectif de séparer les eaux de pluie et les eaux usées. En cas d'événements pluvieux, ce procédé permet ainsi d'éviter tout débordement du réseau.

Figure 13 Mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire
Source : Montmasson

Échantillon exploité

Les renseignements ont été collectés sur 100 actions, dont 63 sont exploitables (toutes proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse), selon 7 déterminants (Tableau 33). Concernant le déterminant « sujétions particulières », il a été recueilli pour étudier l'influence de l'existence de contraintes particulières durant le chantier sur le coût. Cependant, compte tenu de son caractère hétérogène, il a été difficile de l'étudier et d'interpréter les données. Le contexte affiché dans ce tableau se rapporte à un contexte recalculé permettant de définir si la zone concernée par les travaux est plus ou moins urbanisée (dans ce cas, le nombre de branchements au ml est élevé).

Tableau 33 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal (ml)	63
Diamètre de la canalisation (mm)	63
Sujétions particulières : pourcentage de linéaire sous route départementale, présence de roches, nappe, et/ou de surprofondeur)	40
Nombre de branchements	55
Contexte : nombre de branchements par mètre linéaire	55
Nombre d'EH concernés par le projet	56
Type de matériau	56

Influence des paramètres et coût de référence

L'étude de la corrélation entre les déterminants (Tableau 34) montre une importante corrélation entre le contexte (nombre de branchements/ml) et le nombre de branchements (84%). Cela semble logique car ils ont un paramètre en commun : le nombre de branchements. Les autres déterminants ne présentent pas de corrélation d'après les données étudiées.

Tableau 34 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire

	Longueur du réseau principal	Diamètre	Nombre de branchements	Contexte : nombre de branchements/ml	Nombre d'EH concernés par le projet
Longueur du réseau principal		-13%	30%	-17%	-1%
Diamètre	-13%		-8%	-9%	32%
Nombre de branchements	30%	-8%		84%	0%
Contexte : nombre de branchements/ml	-17%	-9%	84%		-12%
Nombre d'EH concernés par le projet	-1%	32%	0%	-12%	

L'étude de la régression a été réalisée pour tous les déterminants quantitatifs car ils présentaient tous au moins 20 actions (Tableau 33). D'après les résultats obtenus dans le Tableau 35, une relation linéaire existe entre le montant des actions et la longueur de la canalisation ($R^2 = 0,7$).

Tableau 35 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût de la mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur de la canalisation	**0,7**	0,5	0,003	0.1
Diamètre de la canalisation	0,02	0,0005	0,18	0,2
Contexte : nombre de branchements par mètre linéaire	0,5	0,4	0,03	0,5
Nombre de branchements	0,02	0,02	0,1	0,5
Nombre d'EH concernés par le projet	0,006	0,07	0,2	0,5

Après étude de la régression entre le montant de l'action et la longueur de la canalisation, avec et sans constante, il a pu être remarqué que dans ce dernier cas, le coefficient de détermination était plus élevé et égal à 0,84. La droite ainsi obtenue permet d'expliquer 84% de la variation du coût observé. La droite et les statistiques de régression associées sont présentées dans la Figure 14 et le Tableau 36 .

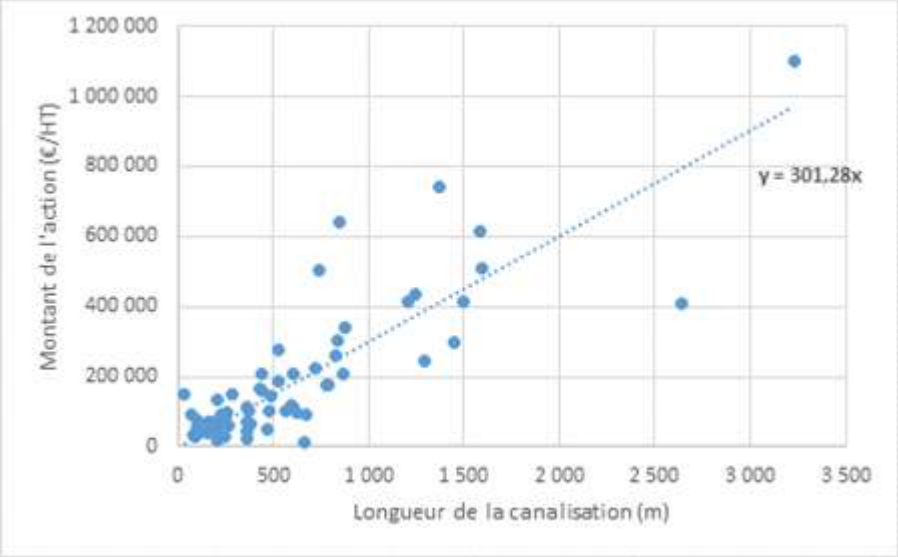

Figure 14 Montant des actions de mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire selon la longueur de la canalisation

La Figure 14 représentant le montant des actions en fonction de la longueur de canalisation met en évidence des valeurs davantage dispersées pour les canalisations dont la longueur est supérieure à 500m. Un faible nombre d'actions concerne des longueurs supérieures à 1 000m. La droite de régression tracée à partir de ces valeurs a pour équation : **y = 301x**.

Tableau 36 Statistiques de régression pour la mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire

Pente de la droite	Erreur type	R^2	Erreur type pour y estimé	Probabilité que le coefficient soit nul	Valeur de Fisher observée	Nombre de degrés de liberté	Valeur critique de Fisher
301	16,3	0,84	109 719	6×10^{-27}	343	62	10^{-26}

Le Tableau 36 indique que la valeur critique de Fisher est proche de 0 (10^{-26}) et que la probabilité que le coefficient soit nul est très faible (6×10^{-27}). La relation entre le montant des actions et la longueur des canalisations est donc significative.

L'analyse de variance pour les déterminants qualitatifs comptant au moins 20 actions par sous-population (contexte urbain/rural[14], plaine/montagne[15]) n'a pas montré qu'ils avaient une influence sur les variations de coûts.

Coût de référence proposé : 301 € HT/ml *(niveau de fiabilité : excellent).*

[14] Probabilité = 0,07 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4
[15] Probabilité = 0,2 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4

3.1.9 Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées

Définition du type d'action

Cette opération regroupe l'ensemble des actions consistant en la mise en séparatif de réseaux unitaires par destruction de la canalisation unitaire et création de deux canalisations. Ce type action ne concerne que la canalisation d'eaux usées, la canalisation d'eaux pluviales étant évoquée dans la partie 3.1.10.

Figure 15 Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées
Source : Montmasson

Échantillon exploité

Les informations ont été collectées sur 28 actions, dont 21 sont exploitables (toutes proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse) et selon 7 déterminants (Tableau 37). Concernant le déterminant « sujétions particulières », il a été recueilli pour étudier l'influence de l'existence de contraintes particulières durant le chantier sur le coût. Cependant, compte tenu de son caractère hétérogène, il a été difficile de l'étudier et d'interpréter les données. Le contexte affiché dans ce tableau se rapporte à un contexte recalculé permettant de définir si la zone concernée par les travaux est plus ou moins urbanisée (dans ce cas, le nombre de branchements au ml est élevé).

Tableau 37 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal « eaux usées » (ml)	21
Diamètre de la canalisation (mm)	21
Sujétions particulières : pourcentage de linéaire sous route départementale, présence de roches, de nappe et/ou de surprofondeur	11
Nombre de branchements	18
Contexte : nombre de branchements par mètre linéaire	18
Nombre d'EH concernés par le projet	18
Type de matériau	18

Influence des paramètres et coût de référence

Le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage entre les déterminants comptant au moins 20 actions, c'est-à-dire la longueur de la canalisation et le diamètre, est égal à 8% : il n'existe pas de corrélation entre ces 2 paramètres.

Les droites de régression ont été réalisées pour ces 2 déterminants : aucun coefficient de détermination n'est suffisamment élevé pour que les relations analysées puissent être considérées significatives : toutes les valeurs sont inférieures à 0,6 (Tableau 38).

Tableau 38 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût de la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur	0,57	0,5	0,01	0,001
Diamètre de la canalisation	10^{-5}	0,01	0,04	0,03

L'étude du coût de référence a alors été basée sur les statistiques descriptives des coûts unitaires pour le déterminant semblant le plus pertinent et le plus souvent renseigné dans les dossiers : la longueur de la canalisation.

Tableau 39 Statistiques descriptives du coût unitaire de mise en séparatif

	Coût unitaire en € HT / mètre linéaire de canalisation						
Nombre d'actions prises en compte	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
20	112	794	405	424	189	0,47	521

Les statistiques descriptives du coût unitaire des actions sont présentées dans le Tableau 39. Ainsi, le coût unitaire moyen des travaux de mise en séparatif des canalisations d'eaux usées, calculé sur la base de 20 actions est de 405 € HT/ml. Il varie entre 112 € HT/ml (minimum) et 794 € HT/ml (maximum). Le montant médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **424 € HT/ml** et l'écart-type est de 189 € HT/ml. Les valeurs sont assez dispersées autour de la moyenne car le coefficient de variation est de 0,47.

L'analyse de variance ne peut être réalisée de manière pertinente. En effet le nombre d'actions associées à chaque paramètre qualitatif étudié est inférieur à 20. L'existence d'une influence des paramètres qualitatifs sur les coûts ne peut donc pas être établie.

Coût de référence proposé : 424 € HT/ml *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

3.1.10 Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux pluviales

Définition du type d'action

Cette opération regroupe l'ensemble des actions visant en la mise en séparatif de réseaux unitaires par destruction de la canalisation unitaire et création de deux canalisations. Ce type action ne concerne que la canalisation d'eaux pluviales, la canalisation d'eaux usées étant évoquée dans la partie 3.1.9.

Figure 16 Travaux de mise en séparatif du réseau d'eau pluviales
Source : Commune de l'Arbresle[16]

Échantillon exploité

18 actions provenant de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse sont concernées par ce type action dont 15 sont exploitables. Les valeurs de 9 déterminants exposés dans le Tableau 40 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible. Cependant, des données n'ont pas pu être collectées pour 2 déterminants, car l'information n'a pas été trouvée dans les dossiers : la surface déconnectée et le nombre de déversoirs d'orage. Concernant le déterminant « sujétions particulières », il a été recueilli pour étudier l'influence de l'existence de contraintes particulières durant le chantier sur le coût. Cependant, compte tenu de son caractère hétérogène, il a été difficile de l'étudier et d'interpréter les données. Le contexte affiché dans ce tableau se rapporte à un contexte recalculé permettant de définir si la zone concernée par les travaux est plus ou moins urbanisée (dans ce cas, le nombre de branchements au ml est élevé).

[16] http://www.mairie-larbresle.fr/vivre/mon-cadre-de-vie/grands-projets/siaba.html?print=true

Tableau 40 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux pluviales

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal (ml)	15
Diamètre de la canalisation	15
Sujétions particulières : pourcentage de linéaire sous route départementale, présence de roches, de nappe, et/ou de surprofondeur	9
Nombre de branchements	8
Contexte : nombre de branchements par mètre linéaire	8
EH concernés par le projet	10
Type de matériau	15
Surface déconnectée (m²)	0
Nombre de déversoirs d'orage	0

Influence des paramètres et coût de référence

Tous les déterminants comptent moins de 20 types action. L'étude de régression ne peut alors être réalisée de manière pertinente. L'analyse des statistiques descriptives du coût unitaire selon la longueur de la canalisation sera considérée pour l'établissement du coût de référence car il s'agit du paramètre qui semble le plus pertinent au vu des résultats obtenus précédemment.

Tableau 41 Statistiques descriptives du coût unitaire (€ HT/ml) pour la destruction de la canalisation unitaire et la mise en place de la canalisation d'eaux pluviales

	Coût unitaire en € HT / mètre linéaire de canalisation						
Nombre d'actions prises en compte	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
13 (2 valeurs extrêmes écartées)	139	994	407	358	262	0,64	464

Les statistiques descriptives du coût unitaire des actions sont présentées dans le Tableau 41. Ainsi, le coût unitaire moyen, calculé sur la base de 13 actions, s'élève à 407 € HT/ml. Il varie entre 139 € HT/ml (minimum) et 994 € HT/ml (maximum). Cela correspond à une étendue de 855 € HT/ml. Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **358 € HT/ml** et l'écart-type est de 262 € HT/ml. Les valeurs sont dispersées autour de la moyenne puisque le coefficient de variation est égal à 0,64.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente car le nombre d'actions associées à chaque sous-population est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 358 € HT/ml *(niveau de fiabilité : médiocre).*

3.1.11 Regroupement : mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou pluviales

Définition du type d'action

Ce type d'action réunit la :

- Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de deux canalisations (EU) ;
- Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de deux canalisations (EP).

Figure 17 Travaux de mise en séparatif du réseau d'assainissement
Source : Cecotech[17]

Échantillon exploité

46 actions (issues de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse) sont concernées par ce type action dont 36 sont exploitables. Les valeurs des 7 déterminants communs aux 2 types actions et exposés dans le Tableau 42 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible. Concernant le déterminant « sujétions particulières », il a été recueilli pour étudier l'influence de l'existence de contraintes particulières durant le chantier sur le coût. Cependant, compte tenu de son caractère hétérogène, il a été difficile de l'étudier et d'interpréter les données. Le contexte affiché dans ce tableau se rapporte à un contexte recalculé permettant de définir si la zone concernée par les travaux est plus ou moins urbanisée (dans ce cas, le nombre de branchements au ml est élevé).

[17] http://www.cecotech.com/portfolio_page/travaux-de-mise-en-separatif-du-reseau-dassainissement/

Tableau 42 Nombre de valeurs renseignées par déterminant commun pour la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de deux canalisations (eaux usées et pluviales)

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal (ml)	36
Diamètre de la canalisation (mm)	36
Sujétions particulières : pourcentage de linéaire sous route départementale, présence de roches, de nappe, et/ou de surprofondeur	20
Nombre de branchements	26
Contexte : nombre de branchements par mètre linéaire	26
Nombre d'EH concernés par le projet	31
Type de matériau	33

Influence des paramètres et coût de référence

D'après le test de Student, les moyennes des 2 types actions regroupées ne sont pas significativement différentes. Il est donc pertinent d'étudier celle-ci en vue d'un regroupement.

Par ailleurs, le Tableau 43 montre que seuls 2 déterminants sont corrélés entre eux : le contexte et le nombre de branchements (le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage est supérieur à 60%). Cette situation semble logique puisqu'ils possèdent un paramètre en commun, le nombre de branchements.

Tableau 43 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût de la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou d'eaux pluviales

	Longueur du réseau principal	Diamètre	Nombre de branchements	Contexte : nombre de branchements/ml	Nombre d'EH concernés par le projet
Longueur du réseau principal		21%	2%	-34%	55%
Diamètre	21%		2%	-19%	56%
Nombre de branchements	-34%	-19%		69%	-29%
Contexte : nombre de branchements/ml	2%	2%	69%		-46%
Nombre d'EH concernés par le projet	55%	56%	0%	-46%	

Les droites de régression ont également été réalisées pour tous les déterminants quantitatifs (car ils comptent tous au moins 20 actions). Ainsi, un seul déterminant présente un coefficient de détermination correct, car supérieur à 0,6 : le nombre d'EH (Tableau 44).
Le coefficient de détermination est le plus élevé (0,63) pour la relation entre le log du coût unitaire et le log du nombre d'EH. Le nombre d'EH permet ainsi d'expliquer à 63% les variations du coût de la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou pluviales. C'est donc cette relation qui sera étudiée par la suite.

Tableau 44 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût de la mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou d'eaux pluviales

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur	0,5	0,5	0,002	0,03
Diamètre de la canalisation	0,1	0,08	0,03	0,05
Nombre de branchements	0,004	0,1	0,02	0,1
Contexte : nombre de branchements/ml	0,07	0,03	0,01	0,004
Nombre d'EH	0,62	0,4	0,3	0,63

La droite de régression obtenue pour la relation entre le log du coût unitaire et le log du nombre d'EH est présentée dans la Figure 18. Son équation est : **y = -0,6x + 4,2.**

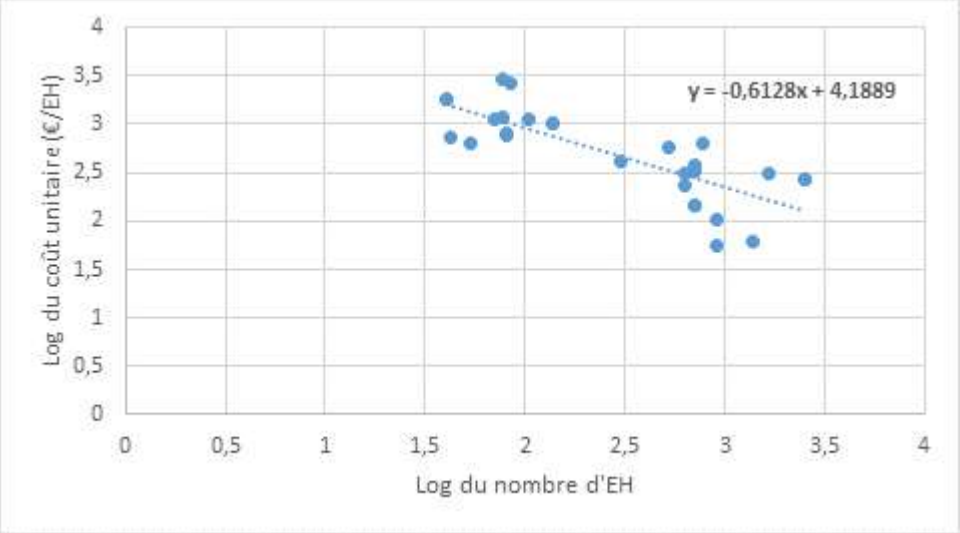

Figure 18 Logaritme du coût unitaire (€ HT/EH) en fonction du log du nombre d'EH

Le Tableau 45 indique que la probabilité que les coefficients soient nuls est très faible ($4,8 \times 10^{-7}$ pour le log du nombre d'EH concernés par le projet et $2,96 \times 10^{-16}$ pour la constante) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($4,8 \times 10^{-7}$). La relation définie entre le logarithme du nombre d'EH concernés par le projet et le logarithme du coût unitaire est donc significative.

Tableau 45 Statistiques de régression pour le log du coût unitaire en fonction du log du nombre d'EH

	Log (nombre d'EH concernés par le projet)	Constante
Valeur du coefficient	-0,6	4,19
Erreur type	0,09	0,23
Probabilité que le coefficient soit nul	$4{,}8 \times 10^{-7}$	$2{,}96 \times 10^{-16}$
R^2	0,63	
Erreur type pour y estimé	0,28	
Valeur de Fisher observée	44,1	
Nombre de degrés de liberté	26	
Valeur critique de Fisher	$4{,}8 \times 10^{-7}$	

Après application des formules mathématiques liées aux logarithmes et aux puissances présentées dans la partie 2.4, la relation obtenue est : **montant (€ HT) = 15 488 x $EH^{0,4}$**.

Par ailleurs, l'analyse de variance n'a pu être réalisée de manière pertinente. En effet, le nombre d'actions associées à chaque déterminant qualitatif (contexte urbain/rural, plaine/montagne) est inférieur à 20. Il est donc difficile d'établir l'existence d'une influence de ces paramètres sur les coûts.

Coût de référence proposé : 15 488 x $EH^{0,4}$ *(niveau de fiabilité : bon).*

3.1.12 Regroupement des types actions liés à la réhabilitation du réseau d'assainissement

Définition du type d'action

Par souci de simplification pour l'établissement des coûts de référence, il s'agit de réunir ici les types actions concernant la réhabilitation des canalisations d'assainissement. Les types actions ainsi regroupés sont :

- Etanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place ;
- Chemisage de la canalisation existante ;
- Mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire ;
- Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou pluviales.

Figure 19 à gauche : étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place, en haut à droite : chemisage de la canalisation existante et en bas à droite : mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eau usées
Sources : Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung pour le chemisage de la canalisation existante et Montmasson pour les deux autres (cf. fiches individuelles des types d'actions)

Échantillon exploité

444 actions (dont 252 pour l'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations, qui était le choix par défaut dans la base de données) sont concernées par ce regroupement de types actions. 196 actions sont exploitables (178 issues de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 18 de l'agence de l'eau Loire-Bretagne). Les valeurs des 4 déterminants communs aux types d'actions regroupés sont exposées dans le Tableau 46. Le contexte affiché dans ce tableau se rapporte à un contexte recalculé permettant de définir si la zone concernée par les travaux est plus ou moins urbanisée (dans ce cas, le nombre de branchements au ml est élevé).

Tableau 46 Nombre de valeurs renseignées par déterminant commun pour la réhabilitation des canalisations d'assainissement

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal (ml)	196
Diamètre de la canalisation (mm)	189
Contexte : nombre de branchements par mètre linéaire	132
Nombre d'EH concernés par le projet	154

Influence des paramètres et coût de référence

Le Tableau 47 met en évidence le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage existant entre les déterminants des types actions regroupés. Les coefficients de corrélations exprimés en pourcentages sont tous inférieurs à 60%, indiquant qu'il n'existe pas de forte corrélation entre les déterminants étudiés.

Tableau 47 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des actions liées à la réhabilitation du réseau d'assainissement

	Longueur de la canalisation	Diamètre	Contexte : nombre de branchements/ml	Nombre d'EH
Longueur de la canalisation		-6%	-19%	4%
Diamètre	-6%		-7%	33%
Contexte : nombre de branchements/ml	4%	-7%		-13%
Nombre d'EH	4%	33%	-13%	

En outre, le Tableau 48 expose les coefficients de détermination obtenus après analyse des régressions. Les coefficients les plus élevés concernent les relations entre le log du coût unitaire et le log du nombre d'EH ainsi que le log du coût unitaire et le log du nombre de branchements par ml. La première relation permet d'expliquer la plus grande variation du coût des types d'actions regroupées : 64% contre 62% pour la seconde. L'analyse des régressions multiples n'a pas permis d'améliorer la valeur du coefficient de détermination. La relation avec le nombre d'EH a alors été étudiée pour l'établissement du coût de référence.

Tableau 48 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût des actions de réhabilitation du réseau d'assainissement

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur	0,4	0,4	0,06	0,1
Diamètre de la canalisation	0,03	0,02	0,04	0,07
Contexte : nombre de branchements par ml	0,04	0,05	0,07	0,62
Nombre d'EH	0,02	0,07	0,1	0,64

Nombre d'EH

L'équation de la droite de régression correspondante à la relation entre le log du coût unitaire et le nombre d'EH est : **y = -0,8x + 4,6** (Figure 20).

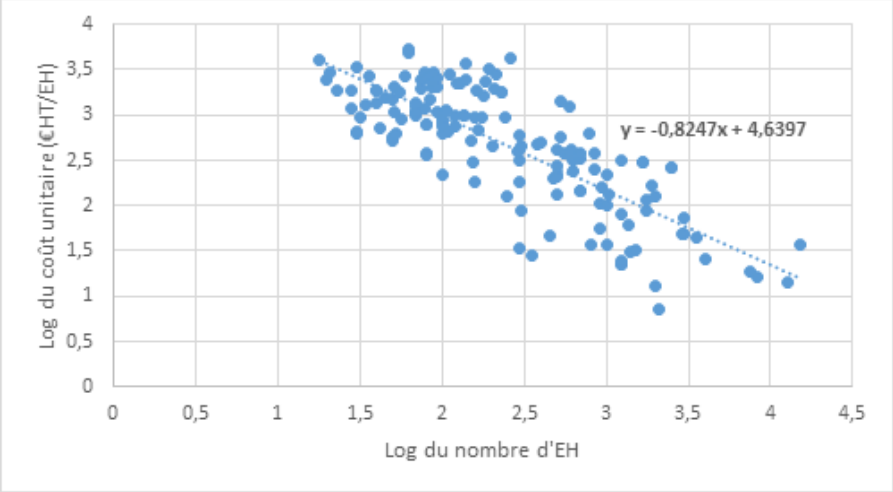

Figure 20 Logaritme du coût unitaire en fonction du log du nombre d'EH

Le Tableau 49 indique que la probabilité que les coefficients soient nuls est très faible ($5,6 \times 10^{-35}$ pour le log du nombre d'EH concernés par le projet et $1,9 \times 10^{-77}$ pour la constante) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($5,6 \times 10^{-35}$). La relation définie entre le logarithme du nombre d'EH concernés par le projet et le logarithme du coût unitaire est donc significative.

Tableau 49 Statistiques de régression pour le log du coût unitaire en fonction du log du nombre d'EH

	Log (nombre d'EH concernés par le projet)	Constante
Valeur du coefficient	-0,8	4,6
Erreur type	0,05	0,12
Probabilité que le coefficient soit nul	$5{,}6 \times 10^{-35}$	$1{,}9 \times 10^{-77}$
R^2	0,64	
Erreur type pour y estimé	0,4	
Valeur de Fisher observée	264	
Nombre de degrés de liberté	151	
Valeur critique de Fisher	$5{,}6 \times 10^{-35}$	

Après application des formules mathématiques liées aux logarithmes et aux puissances présentées dans la partie 2.4, la relation obtenue est : **montant (€ HT) = 39 811 × $EH^{0,2}$**.

Coût de référence proposé : 39 811 x $EH^{0,2}$ *(niveau de fiabilité : excellent).*

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs montre une influence du type action, du contexte urbain/rural [18] ainsi que de la situation géographique plaine/montagne[19] sur les coûts observés. Ces deux derniers déterminants ont alors été étudiés pour la proposition de coûts de référence.

Différenciation du coût (€ HT/EH) en fonction du contexte urbain/rural

Les régressions de ces 2 sous-populations (urbain et rural) ont été étudiées et n'ont pas permis d'établir de relation linéaire significative entre les coûts et le nombre d'EH. En effet, les coefficients de détermination obtenus sont inférieurs à 0,6. Les statistiques descriptives des coûts de ces 2 classes ont alors été analysées (Tableau 50 et Tableau 51).

Tableau 50 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en milieu rural

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / EH en milieu rural						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
73	8	5 231	1 275	940	1 189	0,93	2 274

Le Tableau 50 présente les résultats obtenus en milieu rural. En moyenne, le coût unitaire s'élève à 1 275 € HT/EH et varie de 8 € HT/EH (minimum) à 5 231 € HT/ml (maximum). L'écart-type est de 1 189 € HT/EH et la médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **940 € HT/EH**. Le coefficient de variation de 0,93 traduit des valeurs très dispersées autour de la moyenne.

[18] Probabilité = 0,003 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4
[19] Probabilité = 0,01 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4

Tableau 51 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en milieu urbain

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / EH en milieu urbain						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
83	7	4 220	764	382	927	1,21	1 219

Le Tableau 51 présente quant à lui les statistiques descriptives des coûts unitaires en milieu urbain. Le coût est de 764 € HT/EH en moyenne et la médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **382 € HT/EH**. Les coûts sont inférieurs à ceux observés en milieu rural. Cette situation pourrait s'expliquer par le plus grand nombre d'EH généralement observé en milieu urbain et donc des coûts rapportés à l'EH plus faibles. Le coût unitaire minimum est de 7 € HT/EH, et le maximum, de 4 220 € HT/EH. L'écart-type est de 927 € HT/EH et le coefficient de variation de 1,21 : les valeurs sont fortement dispersées autour de la moyenne.

Coût de référence alternatif 1 proposé : 940 € HT/EH en contexte rural et 382 € HT/EH en contexte urbain *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Différenciation du coût (€ HT/EH) en fonction de la situation géographique plaine/montagne

Les régressions de ces 2 sous-populations (plaine et montagne) ont également été étudiées et n'ont pas permis d'établir de relation linéaire significative entre les coûts et le nombre d'EH (les coefficients de détermination obtenus sont inférieurs à 0,6). Les statistiques descriptives des coûts ont alors été analysées (Tableau 52 et Tableau 53).

Tableau 52 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en zone de plaine

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / EH en zone de plaine						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
96	7	4 220	837	481	913	1,09	1 471

Le Tableau 52 présente les résultats obtenus en zone de plaine. En moyenne, le coût unitaire s'élève à 837 € HT/EH et varie de 7 € HT/EH (minimum) à 4 220 € HT/EH (maximum). L'écart-type est de 913 € HT/EH, et la médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **481 € HT/EH**. Le coefficient de variation de 1,09 traduit des valeurs très dispersées autour de la moyenne.

Tableau 53 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en zone de montagne

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / EH en zone de montagne						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
60	8	5 231	1 269	751	1 278	1,01	2 602

Le Tableau 53 présente quant à lui les statistiques descriptives des coûts unitaires en zone de montagne. Le coût est de 1 269 € HT/EH en moyenne et la médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **751 € HT/EH**. Le coût unitaire minimum est de 8 € HT/EH, et le maximum, de 5 231 € HT/EH. L'écart-type est de 1 278 € HT/EH et le coefficient de variation de 1,01 : les valeurs sont fortement dispersées autour de la moyenne.

Coût de référence alternatif 2 proposé : 481 € HT/EH en zone de plaine et 751 € HT/EH en zone de montagne *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Par souci de simplification et d'homogénéisation avec les résultats du volet 1, il est également proposé d'étudier un coût de référence à partir de la longueur de la canalisation.

Longueur de la canalisation

En l'absence d'une relation linéaire significative entre les coûts observés et la longueur de canalisation (Tableau 48), les statistiques descriptives ont directement été étudiées (Tableau 54).

Tableau 54 Statistiques descriptives du coût unitaire (€ HT/ml) pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement

	Coût unitaire en € HT / mètre linéaire de canalisation						
Nombre d'actions prises en compte	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
191	12	1 828	362	298	293	0,81	470

En moyenne, le coût des actions de réhabilitation des réseaux d'assainissement est de 362 € HT/ml (Tableau 54). Les coûts sont compris entre 12 € HT/ml (minimum) et 1 828 € HT/ml (maximum). La médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **298 € HT/ml**. Les valeurs sont fortement dispersées autour de la moyenne (coefficient de variation égal à 0,81) et cela peut être lié au fait que les types actions regroupés ont des coûts significativement différents.

Coût de référence alternatif 3 proposé : 298 € HT/ml *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Par ailleurs l'analyse de variance a également démontré une influence du contexte urbain/rural[20] sur les coûts rapportés à la longueur de la canalisation. Les statistiques associées sont présentées ci-après.

[20] Probabilité = 0,01

Différenciation du coût (€ HT/ml) en fonction du contexte urbain/rural

L'analyse de la régression ne montrant pas de relation linéaire significative entre les coûts et la longueur de la canalisation pour chaque sous-population (urbain ou rural) (R^2 inférieurs à 0,6), les statistiques descriptives des coûts unitaires ont donc été réalisées en distinguant le caractère urbain ou rural des actions.

Tableau 55 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml en milieu rural

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / ml en milieu rural						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
91	70	1 292	313	267	216	0,7	391

Le Tableau 55 présente les résultats obtenus en milieu rural. En moyenne, le coût unitaire s'élève à 313 € HT/ml et varie de 70 € HT/ml (minimum) à 1 292 € HT/ml (maximum). L'écart-type est de 216 € HT/ml, et la médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **267 € HT/ml**. Le coefficient de variation de 0,7 traduit des valeurs dispersées autour de la moyenne.

Tableau 56 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml en milieu urbain

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / ml en milieu urbain						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
100	40	1 828	420	339	340	0,81	500

Le Tableau 56 présente quant à lui les statistiques descriptives des coûts unitaires en milieu urbain. Le coût est de 420 € HT/ml en moyenne, plus élevé qu'en milieu rural et lié au nombre plus important de contraintes qui peuvent exister en contexte urbain (ex. démolition de chaussée). La médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **339 € HT/ml**. Le coût unitaire minimum est de 40 € HT/ml, et le maximum, de 1 828 € HT/ml. L'écart-type est de 340 € HT/ml et le coefficient de variation de 0,81 : les valeurs sont dispersées autour de la moyenne.

Coût de référence alternatif 4 proposé : 267 € HT/ml en contexte rural et 339 € HT/ml en contexte urbain *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

3.1.13 Regroupement des types actions liés à la création et à la réhabilitation de canalisations

Définition du type d'action

Il s'agit de regrouper les types actions concernant la création et réhabilitation des canalisations d'assainissement par souci de simplification pour la proposition de coûts de référence.
Les types d'actions ainsi regroupés sont :

- La création de canalisations gravitaires ;
- La création de canalisations de refoulement ;
- L'étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place ;
- Le chemisage de la canalisation existante ;
- La mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire ;
- La mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées ou pluviales.

Figure 21 En haut, de gauche à droite : canalisation gravitaire, canalisation de refoulement, chemisage de la canalisation existante. En bas, de gauche à droite : étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place et mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux pluviales.
Sources : Dans le même ordre, Montmasson, Syndicat intercommunal de Marseillan, Swietelsky-Faber GmbH Kanalsanierung et Montmasson pour les deux dernières autres (cf. fiches individuelles des types d'actions)

Échantillon exploité

593 actions se rapportent à ce regroupement de types d'actions (dont 444 concernent le type d'action « étanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place », qui constitue le choix par défaut dans la base de données). 301 actions sont exploitables (dont 276 issues de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 25 de l'agence de l'eau Loire-Bretagne). Le nombre d'actions exploitables pour chacun des 3 déterminants qu'elles possèdent en commun est renseigné dans le Tableau 57.

Tableau 57 Nombre de valeurs renseignées par déterminant commun pour la création et réhabilitation des canalisations

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur du réseau principal (ml)	291
Diamètre de la canalisation (mm)	294
Nombre d'EH concernés par le projet	247

Influence des paramètres et coût de référence

Il n'existe pas de forte corrélation entre les déterminants étudiés (Tableau 58). En effet, les coefficients de corrélations exprimés en pourcentages sont tous inférieurs à 60%.

Tableau 58 Matrice de corrélation existant entre les déterminants testés pour le coût des actions de créations et de réhabilitation des canalisations d'assainissement

	Longueur du réseau principal	Diamètre	Nombre d'EH
Longueur du réseau principal		-8%	4%
Diamètre	-8%		20%
Nombre d'EH	4%	20%	

Les régressions linéaires ont été étudiées pour tous les déterminants (Tableau 59). Les relations concernant la longueur de la canalisation et les coûts présentent des coefficients de détermination faibles (inférieurs à 0,6). Dans ce cas, le coût en fonction de la longueur de la canalisation n'est pas fiable. Certains types d'actions ne présentaient en effet, pas de relation linéaire significative avec ce déterminant (canalisation de refoulement, chemisage de la canalisation, mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de deux canalisations). Cela pourrait expliquer l'absence de relation linéaire significative entre la longueur de la canalisation et les coûts observés pour le regroupement.

La relation présentant le plus fort coefficient de détermination concerne le log du nombre d'EH et le log du coût unitaire. Elle permet d'expliquer 65% des variations du coût observé. La relation sera étudiée pour l'établissement des coûts de référence. Par ailleurs, il s'agira d'être vigilant vis-à-vis des résultats car le test de Student a démontré que les moyennes des coûts unitaires étaient significativement différentes entre certains types actions.

Tableau 59 Valeurs des coefficients de détermination (R^2) obtenus par analyse des régressions

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur	0,4	0,4	0,04	0,1
Diamètre de la canalisation	0,006	0,002	0,08	0,1
Nombre d'EH	0,02	0,09	0,01	0,65

La droite de régression du log du coût unitaire en fonction du log du nombre d'EH a pour équation : **y = -0,8x + 4,57** (Figure 22).

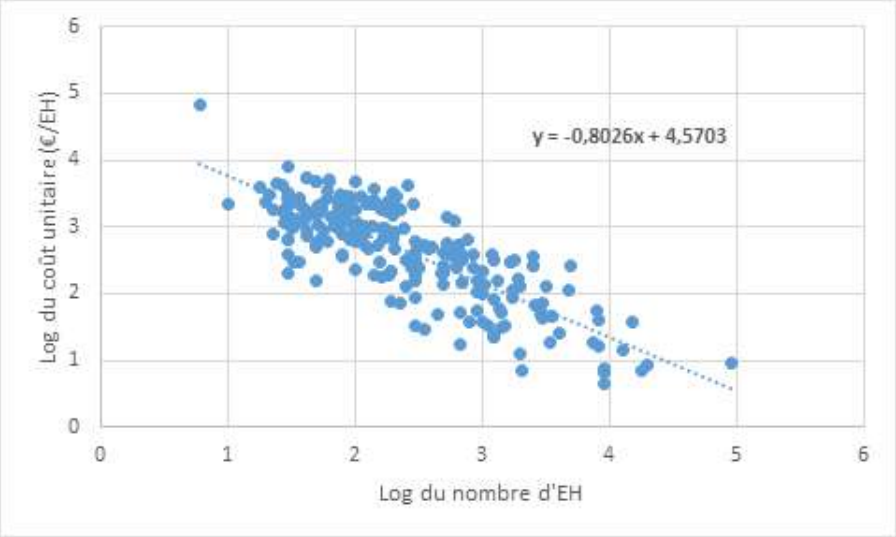

Figure 22 Logaritme du coût unitaire (€ HT/EH) en fonction du log du nombre d'EH

Le Tableau 60 indique que la probabilité que les coefficients soient nuls est très faible ($2,7 \times 10^{-58}$ pour le log du nombre d'EH concernés par le projet et $1,9 \times 10^{-129}$ pour la constante) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($2,7 \times 10^{-58}$). La relation définie entre le logarithme du nombre d'EH concernés par le projet et le logarithme du coût unitaire est donc significative.

Tableau 60 Statistiques de régression pour le log du coût unitaire en fonction du log du nombre d'EH

	Log (nombre d'EH concernés par le projet)	Constante
Valeur du coefficient	-0,8	4,57
Erreur type	0,04	0,09
Probabilité que le coefficient soit nul	$2,7 \times 10^{-58}$	$1,9 \times 10^{-129}$
R^2	0,65	
Erreur type pour y estimé	0,4	
Valeur de Fisher observée	461	
Nombre de degrés de liberté	246	
Valeur critique de Fisher	$2,7 \times 10^{-58}$	

Après application des formules mathématiques présentées en partie 2.4, la formule pour le calcul du coût de référence est : **montant (€ HT) = 37 230 × EH^{0,2}.**

Coût de référence proposé : 37 230 x EH^{0,2} *(niveau de fiabilité : excellent).*

En outre, l'analyse de variance réalisée sur les paramètres qualitatifs a démontré qu'il existait une influence de la situation géographique (plaine/montagne[21]) sur les montants observés. Une différenciation du coût en fonction de ce paramètre a alors été réalisée.

Différenciation des coûts (€ HT/EH) en fonction de la situation plaine/montagne

Dans ce cas, l'analyse de la régression ne montre pas de relation linéaire significative entre les coûts et le nombre d'EH des 2 sous-populations considérées individuellement (zone de plaine ou de montagne). Les statistiques descriptives des coûts unitaires ont donc été étudiées en distinguant ces deux situations géographiques.

Tableau 61 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en zone de plaine

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / EH en zone de plaine						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
156	4,5	7 920	950	463	1 204	1,3	1 784

Le Tableau 61 présente les résultats obtenus pour les travaux effectués en zone de plaine. En moyenne, le coût unitaire s'élève à 950 € HT/EH et varie de 4,5 € HT/EH (minimum) à 7 920 € HT/EH (maximum). L'écart-type est de 1 204 € HT/EH et la médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **463 € HT/EH**. Le coefficient de variation de 1,3 traduit des valeurs très fortement dispersées autour de la moyenne.

Tableau 62 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/EH en zone de montagne

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / EH en zone de montagne						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
90	8,3	5 231	1 422	837	1 392	0,98	2 650

Le Tableau 62 présente quant à lui les statistiques descriptives des coûts unitaires en zone de montagne. Le coût est de 1 422 € HT/EH en moyenne, plus élevé qu'en zone de plaine. La médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **837 € HT/EH**. Le coût unitaire minimum est de 8,3 € HT/EH, et le maximum, de 5 231 € HT/EH. L'écart-type est de 1 392 € HT/EH et le coefficient de variation de 0,98 : les valeurs sont très dispersées autour de la moyenne.

[21] Probabilité = 0,006

Coût de référence alternatif proposé : 465 € HT/EH en zone de plaine et 835 € HT/EH en zone de montagne *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Par ailleurs, un coût de référence peut également être étudié en fonction de la longueur de la canalisation, qui est souvent plus renseignée dans les dossiers et constitue une donnée plus fiable que le nombre d'EH qui est souvent estimé.

Longueur de la canalisation

En l'absence de régression significative entre les coûts et la longueur de la canalisation (Tableau 59), les statistiques descriptives ont alors été analysées. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 63.

Tableau 63 Statistiques descriptives du coût unitaire des actions en € HT/ml

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / ml						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
291	12	2 063	337	265	290	0,86	427

Le coût unitaire moyen des actions de création et de réhabilitation des réseaux d'assainissement est de 337 € HT/ml (Tableau 63). Il varie entre 12 € HT/ml (minimum) et 2 063 € HT/ml (maximum). Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **265 € HT/ml** et l'écart-type, de 290 € HT/ml. Les valeurs sont fortement dispersées autour de la moyenne : le coefficient de variation est proche de 0,9.

Coût de référence alternatif 2 proposé : 265 € HT/ml *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

3.1.14 Création d'un ouvrage de stockage restitution

Définition du type d'action

Ce type d'action regroupe les bassins dont le but est, en cas de pluies, de stocker les effluents les plus chargés pour éviter leur déversement au milieu naturel. Par temps sec, ils restituent les effluents stockés, au réseau, à débit régulé.

Figure 23 Bassin de stockage-restitution
Source : Montmasson

Échantillon exploité

Les renseignements ont été collectés pour 22 actions dont 21 sont exploitables (10 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 8 de Loire-Bretagne et 3 d'Adour-Garonne), selon 7 déterminants (Tableau 64).

Tableau 64 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la création d'ouvrage de stockage restitution

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Volume de stockage (m^3)	21
Ouvrage enterré ou à ciel ouvert	15
Contexte géotechnique (présence de nappe, de terrain rocheux, …)	8
Présence ou absence d'un dégrilleur	10
Présence ou absence d'ouvrages de rinçage	11
Présence ou absence d'un désodorisant	10
Type d'ouvrage (bassin, stockage tuyau ou stockage réseau)	17

Influence des paramètres et coût de référence

La régression a été étudiée pour le seul déterminant comptant au moins 20 actions : le volume de stockage. Les résultats obtenus sont détaillés dans le Tableau 65. Les coefficients de détermination sont très faibles, indiquant qu'il n'existe pas de relation linéaire entre le volume de stockage et les montants observés.

Tableau 65 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du coût de la création d'un ouvrage de stockage-restitution

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Volume de stockage	0,3	0,2	0,002	0,2

Dans l'objectif d'établir un coût de référence pour la création d'ouvrage de stockage-restitution, les statistiques descriptives du coût unitaire ont été analysées.

Tableau 66 Statistiques descriptives pour la création d'ouvrage de stockage-restitution

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m^3						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
20 (1 valeur extrême écartée)	17	2 082	896	965	684	0,76	1 404

D'après le Tableau 66, le coût unitaire moyen est de 896 € HT/m^3. Il varie entre 17 € HT/m^3 (minimum) et 2 082 € HT/m^3 (maximum). Le montant médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, s'élève à 965 € HT/m^3 et l'écart-type est de 684 € HT/m^3. Le coefficient de variation de 0,76 révèle une forte dispersion des valeurs autour de la moyenne.

Les résultats obtenus sont influencés par une grande majorité de petits bassins (de volume inférieur à 1 000 m^3) pour 18 actions. Seulement 2 actions concernent des bassins de volume supérieur à 2 000 m^3.

L'analyse de variance n'a pu être réalisée de manière pertinente. En effet, le nombre d'actions associées à chaque classe (notamment urbain/rural et plaine/montagne) est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 965 € HT/m^3 *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Avis d'expert

Une formule avec une part fixe et une part variable aurait été plus adaptée (mais elle est de moins bonne qualité que la régression sans constante) car le coût rapporté au volume des petits bassins (€/m^3) est plus élevé que pour les gros. Un coût de référence présentant une part fixe permettrait alors de tenir compte de cette réalité en augmentant le coût des petits bassins, par rapport à la relation sans constante.

Les ordres de grandeurs constatés par Montmasson selon 3 catégories sont (en € HT/m^3 de volume de rétention utile) :

- bassins peu ouvragés sans étanchéité : 50 à 500 € HT/m^3
- bassins très ouvragés, bassins enterrés, avec ou sans étanchéité : 500 à 1 000 € HT/m^3
- bassins très ouvragés (y compris bassins enterrés) avec travaux spéciaux (soutènement, palplanches...) : 1 000 à 2 000 € HT/m^3, voire plus.

Les bassins de petits volumes ont souvent des coûts se rapprochant des valeurs hautes des intervalles de coûts définis plus haut pour les 3 catégories d'ouvrages présentés (soit de 500 à 2 000 € HT/m^3).

Par ailleurs, d'après le retour d'expérience de Montmasson, pour un volume utile supérieur à 1 800 m^3, le coût observé est de 1 180 € HT/m^3.

3.2 Volet 2 : Traitement plus poussé pour l'azote et/ou le phosphore pour toutes tailles de stations d'épuration

3.2.1 Installation d'un traitement tertiaire par filtration

Définition du type d'action

Dans cette étude, ont été considérés comme traitement tertiaire par filtration les tambours filtrants ainsi que les filtres à sables (ou lits filtrants). Dans les deux cas, l'objectif principal de ces ouvrages est l'élimination des matières en suspension, lié soit à une exigence de traitement très poussé du phosphore, soit à une exigence de désinfection. Celle-ci peut se faire mécaniquement (cas des tambours filtrants) ou par l'intermédiaire de filtres à sable.

Ce traitement peut être mis en place lors de la création d'une nouvelle station d'épuration ou sur une STEU déjà existante.

Figure 24 Traitement tertiaire par tambours filtrants
Source : Montmasson

Échantillon exploité

Des données n'ont pu être collectées que pour deux actions de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. Une concernait une station existante et une autre, une nouvelle. Les déterminants recherchés et le nombre d'actions concernées sont récapitulés dans le Tableau 67.

Tableau 67 Nombre de valeurs renseignés par déterminant pour l'installation d'un traitement tertiaire par filtration

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Capacité de la station d'épuration (EH)	2
Type de filtration (filtres à sable ou compacts : tambours filtrants)	1
Débit de pointe (m^3/h)	1
Surface de filtration s'il s'agit de filtres à sables (m^2)	0
Alimentation ou pompage à créer	0
Si type de traitement compact : ouvrage à ciel ouvert ou couvert	0
Taux de rejet en azote attendu (mg/L)	1
Taux de rejet en phosphore attendu (mg/L)	1

Le nombre de données collectées étant très faible, il est impossible d'utiliser une approche statistique.

Coût de référence

En l'absence de données statistiques suffisantes, il est proposé de s'appuyer sur les dires d'experts du cabinet Montmasson.

D'après leur retour d'expérience, sur la base d'un filtre (non doublé) livré, alimenté monté (devis d'équipements récents), installé en extérieur, sur dalle béton, les coûts sont de :

- 150 000 € HT pour un débit de pointe de 100 m^3/h ce qui correspond à 6 000 EH, soit 25 € HT/EH ;
- 250 000 € HT pour un débit de 350 m^3/h, ce qui correspond à 20 000 - 25 000 EH, soit 10 à 12,5 € HT/EH.

En bâtiment, il faut ajouter 40 000 à 70 000 € HT, soit environ 5 € HT/EH supplémentaires.

Coût de référence proposé : 10 à 12,5 € HT/EH pour des STEU de 20 000 à 25 000 EH et 25 € HT/EH pour des STEU de 6 000 EH *(niveau de fiabilité : médiocre).*

3.2.2 Traitement physico-chimique du phosphore par ajout de chlorure ferrique

Définition du type action

Ce type action concerne les traitements physico-chimiques du phosphore par injection de sels métalliques favorisant la précipitation du phosphore et donc son élimination. Le surcoût identifié dans ce cas porte uniquement sur la mise en place de la déphosphatation qui était clairement indiquée dans les dossiers. Le surcoût concernant la production de boues à la suite de la précipitation n'a pas été considéré. Ce type d'action se rapporte aux traitements physico-chimiques mis en place sur des STEU déjà existantes mais également ceux installés lors de la création de nouvelles stations d'épuration.

Figure 25 Réserver de chlorure ferrique pour le traitement physico-chimique du phosphore
Source : commune de Vasselay[22]

Échantillon exploité

55 actions sont concernées par ce type action dont 34 sont exploitables (21 sont issues de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 13 de Loire-Bretagne). Les valeurs de 5 déterminants exposés dans le Tableau 68 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible. En particulier, 18 actions ont concerné un traitement mis en place sur une nouvelle STEU et 16, un traitement sur une STEU déjà existante.

[22] http://www.vasselay.fr/les-travaux-en-cours/

Tableau 68 Nombre de valeurs renseignés par déterminant pour la déphosphatation physico-chimique

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Capacité de la STEU (EH)	34
Volume de la cuve de stockage des réactifs chimiques (m^3)	28
Débit de pointe de la STEU (m^3/h)	26
Modalités d'asservissement (sonde en ligne ou débit)	17
Taux de rejet en phosphore attendu (mg/L)	30

En particulier, le déterminant « taux de rejet en phosphore attendu » a été recueilli pour s'assurer qu'il s'agissait bien d'un traitement plus poussé (c'est-à-dire qu'il va au-delà de la réglementation). Il n'a donc pas été traité dans la suite de l'analyse.

Influence des paramètres et coût de référence

Le Tableau 69 présente le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage existant entre les principaux déterminants quantitatifs qui comptent au moins 20 actions. Logiquement, le débit de pointe de la STEU est fortement corrélé avec la capacité de la station. Cependant le volume de stockage des réactifs chimiques avec le débit de pointe ne l'est pas.

Tableau 69 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des actions de déphosphatation physico-chimique

	Capacité de la STEU	Volume de la cuve de stockage des réactifs chimiques	Débit de pointe de la STEU
Capacité de la STEU		-15%	72%
Volume de la cuve de stockage des réactifs chimiques	-15%		3%
Débit de pointe de la STEU	72%	3%	

Les régressions linéaires ont également été réalisées à partir de ces paramètres. Les valeurs des coefficients de détermination obtenues (Tableau 70) montrent l'existence d'une relation entre le log du coût unitaire et le log de la capacité de la STEU car le coefficient de détermination est égal à 0,79. La capacité de la STEU permet ainsi d'expliquer 79% de la variation du coût des actions de traitement physico-chimique du phosphore par ajout de chlorure ferrique.

Tableau 70 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût de la déphosphatation physico-chimique par ajout de chlorure ferrique

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Capacité de la STEU	0,004	0,003	0,25	0,79
Volume de la cuve de stockage	0,08	0,005	0,0145	0,005
Débit de pointe	0,00003	0,002	0,1	0,1

Les statistiques de régression correspondantes à la relation entre le log du coût unitaire et le log de la capacité de la STEU sont exposées ci-dessous (Tableau 71).

Tableau 71 Statistiques de régression pour le log du nombre d'EH et le log du coût unitaire

	Log de la capacité de la STEU	Constante
Valeur du coefficient	-0,9	4,2
Erreur type	0,08	0,3
Probabilité que le coefficient soit nul	$1,6 \times 10^{-12}$	$7,3 \times 10^{-15}$
R²	0,79	
Erreur type pour y estimé	0,17	
Valeur de Fisher observée	123	
Nombre de degrés de liberté	32	
Valeur critique de Fisher observée	$1,6 \times 10^{-12}$	

Le Tableau 71 indique que la probabilité que les coefficients soient nuls est très faible ($1,6 \times 10^{-12}$ pour le log de la capacité de la STEU et $7,3 \times 10^{-15}$ pour la constante) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($1,6 \times 10^{-12}$). La relation définie entre le logarithme de la capacité de la STEU et le logarithme du coût unitaire est donc significative.

La droite de régression a pour équation : **y = -0,9 x + 4,2** (Tableau 71 et Figure 26). Après application des formules mathématiques exposées en partie 2.4, l'équation a pour formule : **montant (€ HT) = 15 849 × $EH^{0,1}$**.

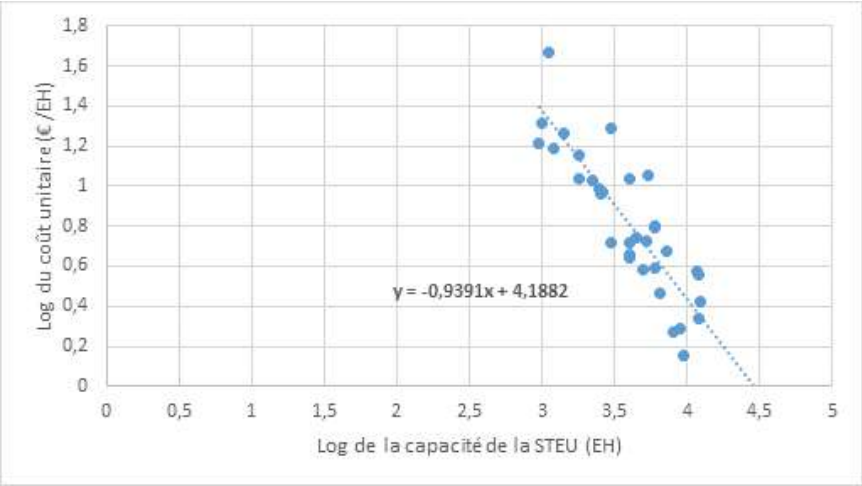

Figure 26 Log du coût unitaire (€ HT/EH) en fonction du log de la capacité de la station d'épuration (EH)

Par ailleurs, l'analyse de variance permettant d'étudier l'influence des paramètres qualitatifs ne peut être réalisée de manière statistiquement pertinente. En effet, le nombre d'actions alors associé à chaque sous population (modalité d'asservissement, contexte urbain/rural et situation plaine/montagne) est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 15 849 × $EH^{0,1}$ *(niveau de fiabilité : bon).*

3.2.1 Traitement membranaire (azote et phosphore simultanément)

Définition du type d'action

Ce type d'action concerne toutes les opérations présentant un traitement membranaire des effluents permettant d'éliminer l'azote et le phosphore.

Figure 27 Traitement membranaire
Source : ARSATESE Loire-Bretagne[23]

Échantillon exploité

4 actions sont concernées par ce type action dont 3 sont exploitables. Elles sont issues de l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. Les valeurs des déterminants exposés dans le Tableau 72 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 72 Nombre d'actions renseignées pour chaque déterminant de l'action traitement membranaire

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Capacité de la station d'épuration (EH)	3
Surface de membranes (m²)	0
Débit de pointe (m^3/h)	2
Volume des réacteurs biologiques (m^3)	1
Taux de rejet en azote attendu (mg/L)	2
Taux de rejet en phosphore attendu (mg/L)	2

[23] http://www.arsatese-loirebretagne.asso.fr/spip2/spip.php?article183

Influence des paramètres et coût de référence

La capacité de la STEU est le déterminant le plus souvent renseigné dans les dossiers et il a pour particularité d'être commun entre tous les types d'actions du volet 2. Le coût unitaire a alors été étudié à partir de ce paramètre pour permettre la comparaison avec les autres types d'actions. Ainsi, sur les 3 actions renseignées, le coût unitaire varie de 159 € HT/EH à 629 € HT/EH et la moyenne est de 395 € HT/EH. Il n'est cependant pas pertinent d'utiliser ces statistiques pour déterminer des coûts de référence, compte tenu de la très faible taille de l'échantillon.

Une étude de l'IRSTEA pour l'Agence de l'eau Adour-Garonne [24] permet d'avoir une comparaison des coûts d'investissement pour des stations en boues activées et à BRM (Bioréacteurs à membranes). Une approche peut consister à retenir le surcoût des BRM par rapport aux boues activées, même si une filtration en traitement tertiaire semble pouvoir coûter presque aussi cher que la filière complète en BRM[25].

Pour cela, les relations linéaires définies pour l'établissement des coûts d'investissement des STEU en boues activées et BRM ont été utilisées. Elles sont respectivement de :

- $3\,395{,}2 \times EH^{-0{,}2488}$ pour les boues activées ;
- $18\,255 \times EH^{-0{,}4279}$ pour les BRM.

Le surcoût a été recalculé en soustrayant, pour des capacités de STEU allant de 500 à 10 000 EH, les coûts d'investissement des STEU à BRM à celui des boues activées. Les régressions linéaires et log-linéaire entre la capacité de la STEU et le coût ont été étudiées. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 73.

Tableau 73 Valeurs de R^2 pour le déterminant quantitatif du surcoût STEU à BRM par rapport à une STEU à boues activées

Déterminant	Surcoût des STEU à BRM par rapport aux STEU à boues activées	Log du surcoût
Capacité de la station d'épuration (EH)	0,7	0,93

La relation entre le log du surcoût et le log de la capacité de la STEU présente un coefficient de détermination le plus élevé (0,93). La relation ainsi établie permet d'expliquer 93% de la variation du coût observé.

Les statistiques de régression associées à cette relation sont exposées dans le Tableau 74. La droite de régression ainsi définie a pour équation : **y = -1,19 x + 6,09**.

[24] Alain Husson & al (2013)
[25] A. GRESLE et al (2007)

Tableau 74 Statistiques de régression pour les STEU à traitement membranaire

	Log de la capacité de la STEU	Constante
Valeur du coefficient	-1,1863	6,09
Erreur type	0,12	0,41
Probabilité que le coefficient soit nul	$2{,}4 \times 10^{-5}$	$1{,}4 \times 10^{-6}$
R^2	0,93	
Erreur type pour y estimé	0,15	
Valeur de Fisher observée	96	
Nombre de degrés de liberté	7	
Valeur critique de Fisher	$2{,}4 \times 10^{-5}$	

Le Tableau 74 indique que la probabilité que les coefficients soient nuls est très faible ($2{,}4 \times 10^{-5}$ pour le log de la capacité de la STEU et $1{,}4 \times 10^{-6}$ pour la constante) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($2{,}4 \times 10^{-5}$). La relation définie entre le logarithme de la capacité de la STEU et le logarithme du surcoût est donc significative.

Après application des formules mathématiques liées aux logarithmes et aux puissances présentées dans la partie 2.4, la relation obtenue est : **montant du surcoût (€ HT) = 1 233 000 × $EH^{-0,1863}$**

Coût de référence proposé : 1 233 000 × $EH^{-0,1863}$ *(niveau de fiabilité : médiocre car méthode très indirecte).*

Ce surcoût correspond à environ 340 € HT/EH pour 1 000 EH et à environ 30 € HT/EH pour 7 500 EH.

Avis d'expert

Le cabinet Montmasson n'a pas de retour sur l'osmose inverse ni sur la filtration terminale par membrane type BRM (traitement simultané des pollutions solubles carbonées et azotées et rétention des boues, matières sèches et du phosphore précipité), d'autant moins que le coût de cette technologie dépend grandement de l'hydraulique. Cependant, le coût d'investissement d'une STEU complète en BRM est probablement de 500 à 600 € HT/EH.

Les coûts observés sur le bassin Artois-Picardie sont de 412 € HT/EH et 1 263 € HT/EH pour la STEU complète.

3.2.2 Filtres plantés de roseaux pour le traitement de l'eau

Définition du type d'action

Les opérations de ce type d'action concernent la création de STEU à filtres plantés de roseaux pour un traitement de l'eau. L'épuration est réalisée de manière biologique en milieux granulaires. Les filtres peuvent être à écoulement vertical et/ou horizontal. Ils fonctionnent généralement par alternance et sont alimentés séquentiellement par bâchées via un siphon, une pompe de relevage ou une chasse.

Cette filière de traitement est composée, pour la plupart, de 2 étages :

- Le 1er traite majoritairement les matières carbonées et permet une nitrification partielle de l'effluent ;
- Le 2ème étage a pour objectif d'affiner le traitement des matières carbonées et des matières en suspension. Il permet par ailleurs un complément de la nitrification[26].

Les coûts présentés dans cette partie concernent la création complète de la STEU.

Figure 28 Filtre planté de roseaux
Source : commune d'Epersy[27]

Échantillon exploité

137 actions sont concernées par ce type action dont 112 sont exploitables. 29 actions proviennent de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 48 de Loire Bretagne et 35 de Rhin-Meuse. Les valeurs de 9 déterminants exposés dans le Tableau 75 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

[26] http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/guideexploitFPRfinal.pdf
[27] http://www.sint.fr/filtre-roseaux-epersy.html

Tableau 75 Nombre d'actions renseignées pour chaque déterminant du type d'action « filtres plantés de roseaux pour traitement de l'eau »

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Capacité de la station d'épuration (EH)	112
Nombre de lits	88
Surface totale de lits (m²)	92
Nombre d'étages	105
Type de lits (vertical, horizontal ou les deux)	75
Présence ou absence d'un filtre d'apatite[28]	77
Type d'alimentation (gravitaire ou par pompage)	77
Taux de rejet en azote attendu (mg/L)	60
Taux de rejet en phosphore attendu (mg/L)	51

Les valeurs des taux de rejet en azote et phosphore attendus étant hétérogènes, ils n'ont pas été pris en compte dans le calcul des coûts. A la base, ces déterminants ont été mis en place pour déterminer si le traitement était bien plus poussé, c'est-à-dire qu'il allait au-delà de la réglementation.

Influence des paramètres et coût de référence

Le Tableau 76 présente le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage existant entre les déterminants quantitatifs. La capacité de la station d'épuration est ainsi étroitement liée à la surface totale des lits : ils sont corrélés à 81%.

Tableau 76 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des filtres plantés de roseaux pour le traitement de l'eau

	Capacité de la STEU	Nombre de lits	Nombre d'étages	Surface totale de lits
Capacité de la STEU		37%	21%	81%
Nombre de lits	37%		39%	54%
Nombre d'étages	21%	39%		42%
Surface totale de lits	81%	54%	42%	

En outre, le Tableau 77 met en évidence les valeurs des coefficients de détermination obtenus pour ces mêmes paramètres.

[28] L'apatite est une roche naturelle de phosphates de calcium. La présence d'un filtre d'apatite dans le système de traitement permet de précipiter le phosphore, favorisant alors son élimination des eaux.

Tableau 77 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût de la création de filtres plantés de roseaux

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Capacité de la STEU	0,5	0,6	0,2	0,4
Nombre de lits	0,3	0,2	0,004	0,01
Nombre d'étages	0,1	0,1	0,0002	2×10^{-6}
Surface de lits	0,7	0,6	0,2	0,4

La capacité de la STEU et la surface de lits présentent les plus forts coefficients de détermination avec les montants observés (0,6 et 0,7), mais ils sont fortement corrélés entre eux et donc redondants. Ces 2 déterminants ne pourront donc pas être inclus ensemble au modèle. La relation entre le log du montant de l'action et le log de la surface des lits présente néanmoins le coefficient de détermination le plus élevé (0,7). La surface des lits permet donc d'expliquer à 70% les variations du coût des filtres plantés de roseaux. L'analyse statistique privilégiera alors cette relation.

Comme vu précédemment, la surface et la capacité sont fortement corrélées et donc redondantes. L'analyse de la régression de la surface par la capacité de la STEU donne une relation de la forme : **surface (m²) = 1,75 × capacité (EH)** avec un coefficient de détermination R^2 de 0,8. La capacité de la STEU permet ainsi d'expliquer à 80% les variations de la surface. Cette loi a été utilisée pour compléter les données de surface dans les analyses qui suivent.

Des régressions multiples ont également été réalisées afin d'étudier si l'intégration d'une nouvelle variable permettait d'améliorer l'explication de la variabilité du coût. Pour cela, la régression a été étudiée en intégrant à la surface de lits (qui présente le meilleur coefficient de détermination), le nombre de lits, puis le nombre d'étages. L'ajustement linéaire prenant en compte la surface de lits et le nombre de lits permet d'obtenir un coefficient de détermination de 0,9. La surface et le nombre de lits expliquent donc à 90% les variations du coût de la création de filtre planté de roseaux.

La régression avec constante a été étudiée mais la relation établie ne permet d'expliquer que 76% de la variation du coût observé (coefficient de détermination de 0,76). La relation sans constante a alors été privilégiée.

Tableau 78 Statistiques de régression pour la création de filtres plantés de roseaux

	Surface totale de lits	Nombre de lits
Valeur du coefficient	167,6	31 116
Erreur type	13,1	4 154
Probabilité que le coefficient soit nul	$1{,}3 \times 10^{-21}$	$5{,}6 \times 10^{-11}$
R²	0,9	
Erreur type pour y estimé	131 671	
Valeur de Fisher observée	453	
Nombre de degrés de liberté	86	
Valeur critique de Fisher	$4{,}45 \times 10^{-46}$	

Le Tableau 78 indique que la probabilité que les coefficients soient nuls est très faible ($1{,}3 \times 10^{-21}$ pour la surface totale de lits et $5{,}6 \times 10^{-11}$ pour le nombre de lits) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($4{,}45 \times 10^{-46}$). La relation définie entre le montant des actions, la surface totale de lits et le nombre de lits est donc significative.

Un coût de référence pour la création de filtres plantés de roseaux peut donc être proposé selon la formule suivante : **montant (€ HT) = 168 × surface (m²) + 31 000 × nombre de lits**.

Pour les valeurs qualitatives, notamment le contexte urbain/rural[29] et plaine/montagne[30], l'analyse de variance a été réalisée. Celle-ci a démontré que les paramètres qualitatifs n'avaient pas d'influence sur les coûts observés. Concernant les déterminants « type de lits » et « présence ou absence de filtres d'apatite », l'analyse de variance n'est pas statistiquement pertinente car les données sont relativement homogènes : 89% des lits sont verticaux et 97% des actions ne présentaient pas de filtre d'apatite.

Coût de référence proposé : 168 € HT/m² + 31 000 € HT/lit *(niveau de fiabilité : excellent).*

Avis d'expert

Pour Montmasson, les coûts sont généralement compris entre 295 et 513 € HT/m² en considérant une surface de 2 à 2,5 m²/EH. Cependant, pour des petites installations, le coût peut être supérieur à 513 € HT/m². L'intégration d'une constante dans le calcul pourrait améliorer l'approche (afin d'intégrer des frais fixes qui s'appliquent à toutes les stations quelle que soit leur taille).

[29] Probabilité = 0,8
[30] Probabilité = 0,78

3.2.3 Traitement poussé de l'azote par nitrification et/ou dénitrification

Définition du type d'action

Sont regroupées au sein de ce type d'action toutes les opérations de traitement plus poussé de l'azote par nitrification et/ou dénitrification. Elles peuvent concerner des techniques extensives (boues activées) ou compactes (biofiltres, Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)). Dans le premier cas, le processus de dénitrification de l'azote peut se faire dans un bassin distinct sans aération, appelé zone d'anoxie, ou dans un même bassin d'aération, par syncopage (alternance de conditions aérobies et anoxiques par un fonctionnement discontinu du processus d'aération).

Dans ce type action, seul le surcoût du traitement plus poussé a été analysé. Celui-ci a été défini de deux façons différentes en fonction du type de traitement :

- S'il existe une **zone d'anoxie**, le surcoût comprend le coût du bassin d'aération au prorata du $(\frac{volume\ de\ la\ zone\ d'anoxie}{volume\ du\ bassin\ d'aération})$ + la recirculation des liqueurs mixtes + une part des études + une part des travaux préparatoires.

- S'il s'agit de **syncopage**, la méthodologie empirique et à dire d'expert consiste à dire que le bassin d'aération est augmenté de 10%. A ce chiffre sont rajoutés 10% des surpresseurs ainsi qu'une partie des études et une partie des travaux préparatoires.

Figure 29 Traitement de l'azote par boues activées
Source : Montmasson

Échantillon exploité

58 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 25 sont exploitables. Sur ces 25, 16 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 8 de Loire Bretagne et une de Rhin Meuse. Les valeurs de 8 déterminants exposés dans le Tableau 79 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 79 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour le traitement de l'azote par nitrification et/ou dénitrification

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Capacité de la station d'épuration (EH)	24
Volume de réacteurs biologiques (m^3)	19
Puissance totale installée d'aération (kW)	12
Type d'installation (extensif ou compact)	23
Type d'ouvrage (couvert ou à ciel ouvert)	23
Type de traitement (syncopage ou zone d'anoxie dédiée)	21
Type d'aération (turbines ou insufflation d'air)	21
Taux de rejet en azote attendu (mg/L)	22

En particulier, le déterminant « taux de rejet en azote attendu » a été recueilli pour s'assurer qu'il s'agit bien d'un traitement plus poussé, c'est-à-dire qu'il dépasse la réglementation imposée. . Il n'a donc pas été exploité lors de l'analyse statistique.

Influence des paramètres et coût de référence

La régression a été étudiée à partir du déterminant quantitatif comptant au moins 20 actions : la capacité de la STEU. Le Tableau 80 met en évidence les coefficients de détermination obtenus.

Tableau 80 Valeurs de R^2 pour le déterminant quantitatif du coût du traitement de l'azote par nitrification et/ou dénitrification

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Capacité de la STEU	0,7	0,2	0,03	0,3

Le coefficient de détermination est le plus élevé (0,7) pour la relation entre le montant de l'action et la capacité de la STEU (Tableau 80). La capacité de la STEU permet d'expliquer à 70% les variations du coût des traitements poussés de l'azote par nitrification et/ou dénitrification. L'établissement du coût de référence est alors basé sur cette relation.

La droite de régression du montant des actions en fonction de la capacité de la station d'épuration est présentée dans la Figure 30. La formule de la droite de régression ainsi établie est : **y = 14,4 x – 12 800**.
Très peu d'actions portent sur des tailles de stations supérieures à 10 000 EH et une action concerne une STEU d'une capacité de 45 000 EH, présentant alors le coût le plus élevé. Si celui-ci est rapporté au nombre d'EH, le coût unitaire est semblable aux coûts unitaires des autres stations d'épuration, c'est pourquoi cette valeur extrême a été conservée.

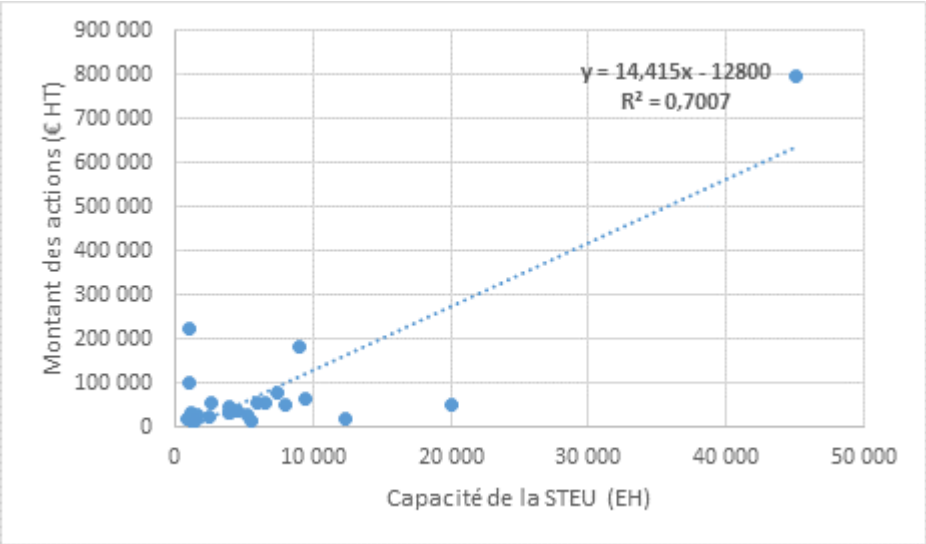

Figure 30 Montant des actions de traitement de l'azote par nitrification et/ou dénitrification en fonction de la capacité de la STEU

Les statistiques de régression du montant en fonction du nombre d'EH ont été calculées avec et sans constante. Le coefficient de détermination obtenu est meilleur sans constante (0,77 contre 0,7) et les résultats dans ce cas sont présentés dans le Tableau 81.

Tableau 81 Statistiques de régression sans constante sur les traitements plus poussés de l'azote par nitrification et/ou dénitrification

Pente de la droite	Erreur type	R^2	Erreur type pour y estimé	Probabilité que le coefficient soit nul	Valeur de Fisher observée	Nombre de degrés de liberté	Valeur critique de Fisher
13,7	11,6	0,77	87 716	$9,6 \times 10^{-9}$	76	23	$1,4 \times 10^{-8}$

La courbe associée au Tableau 81 est présentée dans la Figure 31.

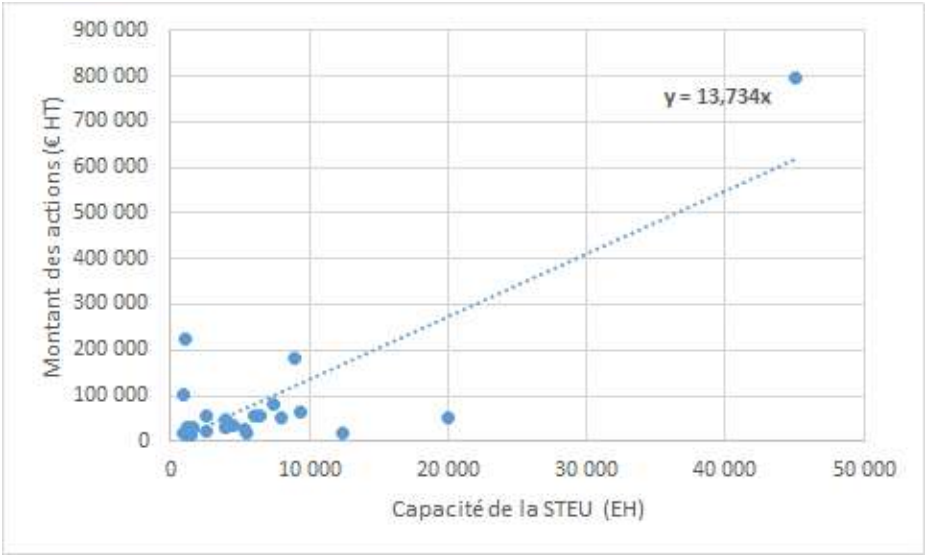

Figure 31 Montant actions de traitement de l'azote par nitrification et/ou dénitrification en fonction de la capacité de la STEU (régression sans constante)

Les statistiques obtenues d'après le Tableau 81 et la Figure 31 donnent une équation de droite de régression **y = 13,7x**.

De plus, le Tableau 81 indique que la probabilité que le coefficient soit nul est très faible ($9,6 \times 10^{-9}$) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($1,4 \times 10^{-8}$). La relation définie entre le montant de l'action et la capacité de la STEU est donc significative.

L'analyse de variance, qui a pour but d'étudier l'influence des déterminants qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne, ouvrage couvert/ciel ouvert, installation extensive/compacte, syncopage/zone d'anoxie et insufflation de l'air/turbines) sur les coûts ne peut être réalisée de manière statistiquement pertinente. En effet, le nombre d'actions alors associé à chaque classe est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 13,7 € HT/EH *(niveau de fiabilité : bon).*

Avis d'expert

Selon le cabinet Montmasson, l'identification des surcoûts pour un traitement poussé de l'azote est complexe en raison de l'étroite imbrication avec, de fait, un surdimensionnement du réacteur biologique et des dispositifs d'aération en général peu identifiables dans les dossiers. Idéalement, il faudrait refaire une étude technique de dimensionnement et de chiffrage d'une STEU type avec et sans traitement poussé et en déduire le surcoût, ce qui ne peut relever du cadre de cette étude.

3.2.4 Traitement poussé biologique du phosphore

Définition du type d'action

Ce type action regroupe les opérations de traitement poussé biologique du phosphore par alternance de phases anaérobie (sans oxygène) et aérobie (avec oxygène). Il peut s'agir de traitement de type extensif (traitement par boue activée) ou compact.

Le surcoût de ce type action a été défini en prenant en compte le coût du bassin d'aération au prorata du ($\frac{volume\ de\ la\ zone\ d'anoxie}{volume\ du\ bassin\ daération}$) + la recirculation des liqueurs mixtes + une part des études + une part des travaux préparatoires.

Figure 32 Station d'épuration à boues activées avec traitement biologique du phosphore
Source : Hydro Europe Service[31]

Échantillon exploité

11 actions ont été identifiées comme correspondant à ce type action, dont 7 sont exploitables. La totalité des opérations a été récoltée à l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. Les valeurs de 5 déterminants exposés dans le Tableau 82 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

[31] http://hydroeuropeservice.fr/reference/type/eaux-usees/page/3/

Tableau 82 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour le traitement poussé biologique du phosphore

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Capacité de la station d'épuration (EH)	7
Volume de réacteurs anaérobies (m^3)	5
Type de traitement (extensif ou compact)	7
Type d'ouvrage (couvert ou à ciel ouvert)	6
Taux de rejet en phosphore attendu (mg/L)	5

Coût de référence

Compte tenu du faible nombre d'actions concernant ce type action (Tableau 82), aucun coût de référence fiable ne peut être proposé. La capacité de la STEU étant le déterminant quantitatif le plus souvent renseigné pour le traitement poussé biologique du phosphore ainsi que pour les autres types d'actions de ce volet, les statistiques descriptives des coûts unitaires ont néanmoins été calculés à partir de celui-ci (Tableau 83).

Tableau 83 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour le traitement poussé biologique du phosphore

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / EH						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
7	0,16	503	278	272	213	0,77	465

D'après le Tableau 83, le coût unitaire moyen et le coût médian sont relativement proches (respectivement 278 € HT/EH et 272 € HT/EH). Les montants sont compris entre 0,16 et 503 € HT/EH et la dispersion des données autour de la moyenne est élevée (coefficient de variation égal à 0,77).

Les valeurs recueillies ne semblent pas concerner uniquement le surcoût du traitement plus poussé. En effet, certaines intègrent la création de STEU dans sa totalité. C'est pour cela que les coûts présentés sont beaucoup plus élevés que ceux étudiés dans les autres types d'actions du volet 2.

Coût de référence proposé : 50 € HT/EH *(niveau de fiabilité : médiocre car très peu de données).*

Avis d'expert

Le cabinet Montmasson n'a pas de retour statistiquement fiable car ce type d'action a été mis en œuvre une fois, dans un contexte hydraulique particulier. D'après leurs retours d'expérience, un coût de 50 € HT/EH est néanmoins plus plausible.

3.2.5 Regroupement des types actions « traitement plus poussé pour l'azote et le phosphore »

Définition du type d'action

Par souci de simplification pour l'établissement de coûts de référence, l'étude d'un coût global pour le volet 2 a été réalisée. Cette analyse repose particulièrement sur le regroupement des types d'actions :

- Traitement physico-chimique du phosphore par ajout de chlorure ferrique ;
- Traitement poussé de l'azote par nitrification et/ou dénitrification.

En effet, le nombre d'actions associées à ces deux types d'actions est supérieur à 20 et le surcoût a bien été identifié. De plus, les moyennes des coûts de chacun de ces deux types d'actions ne sont pas significativement différentes.

Figure 33 A gauche : réserve de chlorure ferrique pour le traitement physico-chimique du phosphore et à droite : traitement de l'azote par boues activées
Sources : Dans le même ordre, commune de Vasselay et Montmasson (cf. fiches individuelles des types d'actions)

Échantillon exploité

113 actions sont concernées par ce regroupement de types d'actions. Parmi celles-ci, 58 sont exploitables : 37 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 20 de Loire-Bretagne et 1 de Rhin-Meuse. Un seul déterminant est commun aux types action regroupés : la capacité de la STEU (EH). Celui-ci est renseigné dans toutes les actions exploitables.

Coût de référence

Compte tenu des résultats présentés dans le Tableau 84, aucune relation linéaire significative ne peut être établie entre la capacité de la station d'épuration et les coûts observés (le coefficient de détermination est systématiquement inférieur à 0,6).

Tableau 84 Valeurs de R^2 pour le déterminant quantitatif du coût du traitement physico-chimique du phosphore par ajout de chlorrure ferrique et du traitement poussé de l'azote par nitrification et/ou dénitrification

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Capacité en EH	0,5	0,08	0,04	0,5

Afin de proposer un coût de référence pour le regroupement des types d'actions du volet 2, les statistiques descriptives des coûts unitaires ont été étudiées (Tableau 85).

Tableau 85 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/EH) obtenus pour le regroupement des types d'actions « traitement par nitrification et/ou dénitrification » et « traitement physico-chimique du phosphore »

	Coût unitaire en € HT / EH						
Nombre d'actions prises en compte	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
56 (2 valeurs extrêmes écartées)	1	46	10	8	8	0,8	15

Les coûts sont compris entre 1 € HT/EH au minimum et 46 € HT/EH au maximum (Tableau 85). La moyenne est de 10 € HT/EH et la médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, de **8 € HT/EH**. Le coefficient de variation, qui est égal à 0,8, traduit des valeurs très dispersées autour de la moyenne.

L'analyse de variance sur le contexte urbain/rural ne montre pas d'influence de celui-ci sur les coûts observés[32]. De plus, la situation géographique (plaine/montagne) ne peut être étudiée de façon pertinente, le nombre d'actions en montagne étant inférieur à 20.

Coût de référence proposé : 8 € HT/EH *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

[32] Probabilité = 0,86 cf. analyse des paramètres qualitatifs en partie 2.4

3.2.6 Démolition de l'ancienne station d'épuration

Définition du type d'action

Les opérations prises en compte dans ce type action concernent toutes celles se rapportant à la démolition de l'ancienne station d'épuration dans le but d'en reconstruire une nouvelle. Ce type action a été défini afin d'isoler les coûts relatifs à la démolition.

Figure 34 Démolition de l'ancienne STEU
Source : commune de Pigny[33]

Échantillon exploité

6 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 6 sont exploitables. 2 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 4 de Loire Bretagne. Les valeurs de 3 déterminants exposés dans le Tableau 86 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 86 Nombre de valeurs renseignées par déterminant pour la démolition de l'ancienne STEU

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Capacité de l'ancienne station d'épuration (EH)	6
Nombre d'ouvrages ou de bâtiments	6
Surface totale d'ouvrages et de bâtiments à démolir (m²)	0

[33] http://www.pigny.fr/fr/information/47744/station-epuration

Les statistiques descriptives des coûts unitaires sont présentées (à titre informatif) dans le Tableau 87. Ces derniers ont été étudiés à partir de la capacité de la STEU car il s'agit d'un des déterminants les plus souvent renseignés. Il présente également une plus grande variabilité des données renseignées. En effet, le déterminant « nombre d'ouvrages ou de bâtiments » étant, d'après les données recueillies, toujours égal à 1.

Tableau 87 Statistiques descriptives (€ HT/EH) pour la démolition de l'ancienne station d'épuration

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / EH						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
6	8	62	25	19	20,6	0,82	34

Ainsi, d'après le Tableau 87, le coût moyen est de 25 € HT/EH. Il varie entre 8 € HT/EH (minimum) et 62 € HT/EH (maximum). Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de 19 € HT/EH. La dispersion des données autour de la moyenne est très forte car le coefficient de variation est égal à 0,82.

Compte tenu de l'objectif premier de ce type action (isoler les coûts de démolition), aucun coût de référence n'est proposé.

3.3 Volet 3 : techniques alternatives de gestion des eaux pluviales

3.3.1 Noues d'infiltration (végétalisées ou avec massif drainant)

Définition du type d'action

Ce type action regroupe les noues d'infiltration végétalisées et celles comportant un massif drainant. Il s'agit de dépressions végétalisées de faible profondeur creusées dans le sol servant à récupérer les eaux pluviales, les stocker et dans le cadre de l'étude, les infiltrer. Elles peuvent être accompagnées d'un massif drainant en fond de noue (enrochement linéaire) servant à augmenter la capacité de stockage.

Figure 35 Noue
Source : Montmasson

A la base, les noues végétalisées et celles avec un massif drainant ont été considérées comme distinctes. Par la suite, il a été constaté que la moyenne de leurs coûts n'était pas significativement différente (test de Student).

Échantillon exploité

50 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 31 sont exploitables. 5 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 26 de l'agence de l'eau Artois Picardie. 12 des actions concernent des noues avec massif drainant et 19 des noues végétalisées. Les valeurs de 9 déterminants exposés dans le Tableau 88 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 88 Nombre d'actions par déterminant et types d'actions

Déterminant	Nombre d'actions dont les déterminants ont été renseignés pour les noues végétalisées	Nombre d'actions dont les déterminants ont été renseignés pour les noues avec massif drainant	Total
Longueur de la noue (ml)	13	12	25
Volume utile de rétention (m^3)	14	6	20
Surface de plantation (m^2)	11		11
Volume du fossé de traitement (m^3)		4	4
Hauteur (m)		5	5
Longueur du réseau raccordé (ml)	3	2	5
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage (m^2)	16	10	26
Pluie de retour (nombre d'années)	3	4	7
Type de végétation (herbe ou essences)	9		9

Certains déterminants ne concernent qu'un type de noue : la surface de plantation et le type de végétation ne sont relatifs qu'aux noues végétalisées ; la hauteur et le volume du fossé de traitement n'ont été recherchés que pour les noues avec un massif drainant.

Influence des paramètres et coût de référence

Le Tableau 89 indique qu'il n'existe pas de corrélation entre les 3 paramètres comptant au moins 20 actions. En effet, les coefficients de corrélation exprimés en pourcentages obtenus sont inférieurs à 60%.

Tableau 89 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des noues d'infiltration

	Longueur de la noue	Volume utile de rétention	Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage
Longueur de la noue		-9%	38%
Volume utile de rétention	-9%		21%
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	38%	21%	

La régression a également été étudiée pour les déterminants comptant au moins 20 actions. Seule la relation entre le montant de l'action et le volume utile présente un R^2 supérieur à 0,6 et égal à 0,79 (Tableau 90). Ainsi, le volume utile de rétention permet d'expliquer à 79% les variations du coût des noues d'infiltration. Le graphique correspondant est présenté en Figure 36.

Tableau 90 Valeurs de R² pour les déterminants quantitatifs du coût des noues d'infiltration

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur de la noue	0,4	0,2	0,04	0,09
Volume utile de rétention	0,79	0,4	0,5	0,04
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	0,0041	0,003	0,02	0,1

Volume utile de rétention

La Figure 36 présente une droite de régression ayant pour équation **y = 776,55 x – 25141**. La valeur extrême correspondant à un volume utile de 1 105 m^3 a été conservée car le coût rapporté au volume utile n'est pas très différent du coût unitaire des autres actions.

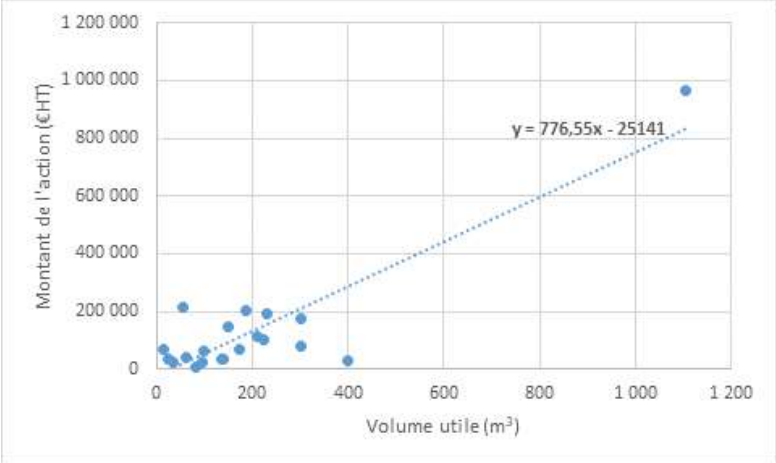

Figure 36 Montant des actions de création de noues en fonction du volume utile

La régression a également été étudiée sans constante dans le but de simplifier la formule. Il a été constaté que le coefficient de détermination obtenu est meilleur : il est égal à 0,84. Le graphique et les statistiques de régression associés sont présentés respectivement dans la Figure 37 et le Tableau 91. La formule de la droite ainsi déterminée est **y = 722 x**.

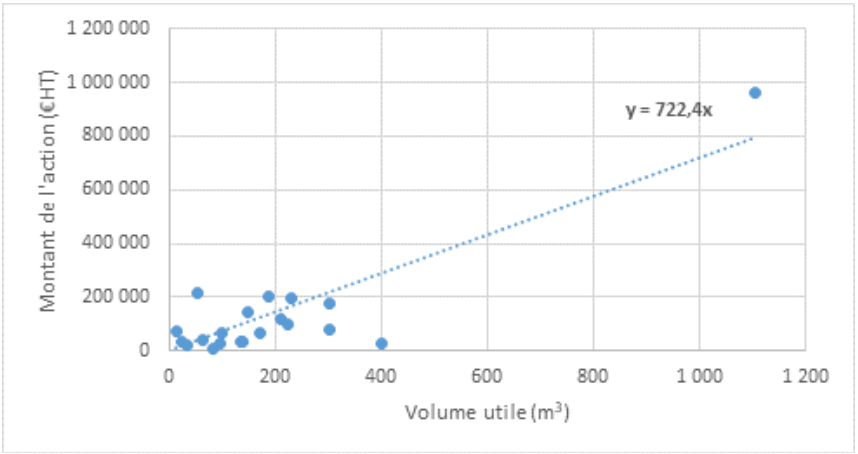

Figure 37 Montant des actions de création de noues en fonction du volume utile (régression sans constante)

Tableau 91 Statistiques de régression du montant des créations de noues en fonction du volume utile

Pente de la droite	Erreur type	R^2	Erreur type pour y estimé	Probabilité que le coefficient soit nul	Valeur de Fisher observée	Nombre de degrés de liberté	Valeur critique de Fisher
722	71	0,84	97 235	4×10^{-9}	103	19	$6,7 \times 10^{-9}$

Le Tableau 91, indique que la probabilité que le coefficient soit nul est très faible (4×10^{-9}) et que la valeur critique de Fisher est proche de 0 ($6,7 \times 10^{-9}$). La relation définie entre le montant de l'action et le volume utile de rétention est donc significative.

Par ailleurs, il est complexe d'étudier l'influence des paramètres qualitatifs, notamment du contexte urbain/rural et de la situation de plaine/montagne car le nombre d'actions associées à chaque sous-population est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 722 € HT/m^3 *(niveau de fiabilité : bon).*

Par souci d'homogénéisation avec les autres types actions du volet 3, un coût de référence peut également être proposé en fonction de la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage.

Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage

Le Tableau 90 a montré qu'il n'existait pas de relation linéaire significative entre la surface imperméabilisée et les montants étudiés. Dans le but d'établir un coût de référence en fonction de ce déterminant, les statistiques descriptives ont été analysées (Tableau 92).

Tableau 92 Statistiques descriptives sur les coûts unitaires (€ HT/m²) pour les noues

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
26	0,1	87	24	15	22	0,93	41

D'après le Tableau 92, les coûts sont compris entre 0,1 € HT/m² (minimum) et 87 € HT/m² (maximum). Le coût moyen est de 24 € HT/m² et la médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est égale à **15 € HT/m²**. Le coefficient de variation est très élevé (0,93) indiquant une forte dispersion des données autour de la moyenne.

Coût de référence alternatif proposé : 15 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

3.3.2 Bassins et mares d'infiltration

Définition du type d'action

Il s'agit des ouvrages à ciel ouvert permettant de recueillir les eaux pluviales, de les stocker puis de les infiltrer dans le sol. Sont exclus de ce type action les bassins empêchant volontairement l'infiltration de l'eau.

Figure 38 Bassin d'infiltration
Source : Montmasson

Échantillon exploité

46 projets correspondent à ce type action et 32 sont exploitables. 6 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2 de l'agence de l'eau Seine Normandie et 24 de l'agence de l'eau Artois Picardie. Les valeurs de 5 déterminants exposés dans le Tableau 93 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 93 Nombre d'actions concernées par déterminant

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Surface de l'ouvrage (m²)	23
Volume utile de rétention (m^3)	26
Hauteur de l'ouvrage (m)	11
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage (m²)	23
Pluie de retour (nombre d'années)	3

Influence des paramètres et coût de référence

D'après le Tableau 94, les déterminants étudiés ne sont pas fortement corrélés entre eux. En effet, le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage est inférieur à 60%.

Tableau 94 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des bassins et mares d'infiltration

	Surface de l'ouvrage	Volume utile de rétention	Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage
Surface de l'ouvrage		6%	-15%
Volume utile de rétention	6%		20%
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	-15%	20%	

Les coefficients de détermination des régressions linéaires portant sur les déterminants comptant au moins 20 actions sont présentés en Tableau 95. Aucun coefficient de détermination n'est suffisamment élevé pour pouvoir établir une relation linéaire significative (R^2 tous inférieurs à 0,6).

Tableau 95 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût des bassins et mares d'infiltration

	Montant de l'action	**Log du montant de l'action**	**Coût unitaire**	**Log du coût unitaire**
Surface de l'ouvrage	0,08	0,11	0,1	0,5
Volume utile de rétention	0,003	0,18	0,18	0,4
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	0,07	0,09	0,09	0,4

Il est complexe d'étudier l'influence des paramètres qualitatifs, notamment du contexte urbain/rural et de la situation de plaine/montagne car le nombre d'actions associées à chaque catégorie est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Le coût de référence sera alors étudié à partir des statistiques descriptives des coûts unitaires du paramètre le plus souvent renseigné (volume utile de rétention) ainsi que de la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage, par souci d'homogénéisation avec les autres types actions du volet 3.

Volume utile de rétention

Tableau 96 Statistiques descriptives sur les coûts unitaires (€ HT/m³) pour les bassins et mares d'infiltration

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m³ de volume utile de rétention						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
22 (4 valeurs extrêmes écartées)	9	2 048	706	605	605	0,86	1 121

D'après le Tableau 96, le coût unitaire moyen des travaux de création de bassins et mares d'infiltration est de 706 € HT/m³. Il varie entre 9 € HT/m³ (minimum) et 2 048 € HT/m³ (maximum). Le coût unitaire médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, s'élève à **605 € HT/m³** et l'écart-type est de 605 € HT/m³. Le coefficient de variation est égal à 0,86, traduisant des valeurs très dispersées autour de la moyenne.

Coût de référence proposé : 605 € HT/m³ *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage

Tableau 97 Statistiques descriptives sur les coûts unitaires (€ HT/m²) pour les bassins et mares d'infiltration

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
20 (3 valeurs extrêmes écartées)	0,1	103	30	23	31	1,04	58

Le coût unitaire moyen pour les bassins et mares d'infiltration, calculé sur la base de 20 actions, s'élève à 30 € HT/m² (Tableau 97). Il varie entre 0,1 € HT/m² (minimum) et 103 € HT/m² (maximum). Le coût unitaire médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **23 € HT/m²** et l'écart-type est de 31 € HT/m². Enfin, le coefficient de variation est de 1,04 traduisant des valeurs fortement dispersées autour de la moyenne.

Coût de référence alternatif proposé : 23 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Avis d'expert

Selon Montmasson, l'incertitude statistique pour les coûts au m^3 est peut-être liée à la nature des projets et notamment au caractère d'infiltration en profondeur éventuelle de certains ouvrages, voire éventuellement à une fonction de stockage associée (dont le coût s'apparente alors au coût de bassins de stockage restitution).

Pour l'ADOPTA, les coûts des bassins dépendent de la fonction visée (bassin d'agrément utilisant les eaux pluviales ou bassin réutilisant le marnage pour gérer les eaux pluviales). Les coûts peuvent varier entre 3 000 et 6 000 € HT par bassin.

3.3.3 Chaussées réservoirs

Définition du type d'action

Les opérations regroupées au sein de ce type d'action concernent la création de chaussées à structure réservoir. Il s'agit d'ouvrages souterrains destinés à recueillir, stocker et restituer les eaux de pluie tombant sur les espaces publics[34]. Leur revêtement peut être végétalisé, poreux ou encore étanche (ce dernier cas nécessitant l'installation de bouches d'injection pour collecter les eaux pluviales). La chaussée réservoir peut être mise en place au niveau d'une rue, d'une place, d'un parking, …

Figure 39 Parking avec enrobés poreux à structure réservoir
Source : Lille Métropole[8]

Échantillon exploité

26 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 20 sont exploitables. La totalité des données ont été récoltées à l'agence de l'eau Artois Picardie. Les valeurs des déterminants exposés dans le Tableau 98 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

[34] http://services-urbains.lillemetropole.fr/public/doc/eauxPluviales/08_Fiche_Technique_5.pdf

Tableau 98 Nombre d'actions de création de chaussée réservoir dont les déterminants sont renseignés

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Surface des chaussées réservoirs (m²)	20
Type de revêtement : classique (étanche), poreux ou végétalisé	17
Volume utile (m^3)	13
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage (m²)	16
Fonction : tamponnement avec infiltration, infiltration partielle ou sans infiltration	6
Cloisonnement (existence d'une pente)	0
Pluie de retour (nombre d'années)	6

La « surface des chaussées réservoirs » est le seul déterminant comptant au moins 20 actions. L'analyse de la régression portera donc sur celui-ci.

Influence des paramètres et coût de référence

Surface de la chaussée réservoir

Le Tableau 99 met en évidence qu'il n'existe pas de relation linéaire significative entre la surface des chaussées réservoirs et le coût des actions. En effet, les coefficients de détermination sont systématiquement inférieurs à 0,6.

Tableau 99 Valeurs de R² pour le déterminant quantitatif du coût de la création de chaussées réservoirs

Déterminant	Montant retenu	Log du montant retenu	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Surface de la chaussée réservoir	0,01	0,001	0,07	0,56

Afin de proposer un coût de référence pour les chaussées à structure réservoir, les statistiques descriptives sur les coûts unitaires ont alors été analysées (Tableau 100).

Tableau 100 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/m²) obtenus pour la création de chaussées réservoirs

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m² de surface de la chaussée réservoir						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
18 (2 valeurs extrêmes écartées)	5	220	73	59	61	0,83	105

Le coût unitaire moyen des créations de chaussées réservoirs, calculé sur la base de 18 actions, s'élève à 73 € HT/m². Il varie entre 5 € HT/m² (minimum) et 220 € HT/m² (maximum). Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **59 € HT/m²** et l'écart-type vaut 61 € HT/m². Le coefficient de variation qui est égal à 0,83 traduit des valeurs fortement dispersées autour de la moyenne.

Concernant les paramètres qualitatifs, aucune analyse de variance statistiquement fiable ne peut être faite compte tenu du faible nombre de données (systématiquement inférieur à 20) (Tableau 98).

Coût de référence proposé : 59 € HT/m² *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Il est également proposé d'étudier les coûts de référence en fonction de la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage, qui est le déterminant commun à tous les types actions de gestion des eaux pluviales et le plus souvent renseigné.

Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage

L'étude de la régression ne peut être réalisée de manière pertinente pour ce déterminant car le nombre d'actions est inférieur à 20. Les statistiques descriptives du coût unitaire sont alors exposées dans le Tableau 101.

Tableau 101 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/m²) obtenus pour la création de chaussées réservoirs

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
16	11	115	45	31	36	0,8	67

D'après le Tableau 101, le coût unitaire des travaux est compris entre 11 € HT/m² (minimum) et 115 € HT/m² (maximum). Il est en moyenne de 45 € HT/m². Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **31 € HT/m²**. La dispersion des valeurs autour de la moyenne est importante puisque le coefficient de variation est de 0,8.

Coût de référence alternatif proposé : 31 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Avis d'expert

Pour l'ADOPTA, les coûts des chaussées réservoirs dépendent du type de revêtement, de la surface, de la présence de systèmes de filtration et du système de collecte ou d'injection des eaux pluviales. En général, les enrobés poreux sont 10% moins chers que les revêtements classiques sur la totalité des travaux VRD. Un coût pourrait être de 2 500 € HT par 50 ml (soit 50 € HT/ml) pour un système avec bouches d'injection mais reste fortement dépendant des paramètres indiqués précédemment.

3.3.4 Puits d'infiltration

Définition du type d'action

Les opérations présentes dans cette catégorie concernent la création de puits d'infiltration. Ces derniers permettent le stockage temporaire des eaux pluviales ainsi que leur évacuation par infiltration dans les couches perméables du sol. Les puits d'infiltration peuvent être accompagnés d'un puisard de décantation afin de récolter les déchets et résidus.

Figure 40 Puits d'infiltration
Source : Montmasson

Échantillon exploité

25 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 20 sont exploitables. 18 données proviennent de l'agence de l'eau Artois Picardie, 1 de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 1 de l'agence de l'eau Seine Normandie. Les valeurs de 7 déterminants exposés dans le Tableau 102 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 102 Nombre d'actions de création de puits d'infiltration dont les déterminants sont renseignés

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Volume du puits (m^3)	12
Nombre de puits	20
Surface totale au sol (m^2)	7
Profondeur (m)	11
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	14
Présence/absence d'un puisard de décantation	9
Pluie de retour (nombre d'années)	4

Le déterminant « nombre de puits » est le seul paramètre comptant au moins 20 actions. La régression sera alors étudiée à partir de celui-ci.

Influence des paramètres et coût de référence

Les coefficients de détermination des régressions portant sur le nombre de puits sont présentés dans le Tableau 103. Ils sont relativement faibles (inférieurs à 0,6), ce qui signifie qu'il n'existe pas de relation significative entre le nombre de puits et les coûts étudiés.

Tableau 103 Valeurs de R^2 pour le déterminant quantitatif du coût des puits d'infiltration

Déterminant	Montant retenu	Log du montant retenu	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Nombre de puits	0,5	0,3	0,1	0,5

Nombre de puits

Dans le but d'établir un coût de référence pour les puits d'infiltration, les statistiques descriptives ont alors été étudiées (Tableau 104).

Tableau 104 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/puits) obtenus pour la création de puits d'infiltration

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / puits						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
18 (2 valeurs extrêmes écartées)	1 502	36 723	12 074	8 699	10 900	0,9	17 900

D'après le Tableau 104, le coût unitaire varie entre 1 502 € HT/puits au minimum et 36 723 € HT/puits au maximum. En moyenne, le coût est de 12 074 € HT/puits. Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **8 699 € HT/puits** et l'écart-type est égal à 10 900 € HT/puits. La dispersion des valeurs autour de la moyenne est très forte car le coefficient de variation est égal à 0,9.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente car le nombre d'actions associées à chaque sous-population est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 8 700 € HT/puits *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage

Il est également proposé d'étudier le coût unitaire en fonction de la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage qui est le déterminant commun à tous les types action du volet 3 et le plus souvent renseigné. Les statistiques descriptives obtenues sont exposées dans le Tableau 105.

Tableau 105 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/m²) obtenus pour la création de puits d'infiltration

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
13 (1 valeur extrême écartée)	2,7	42	16	10	13	0,8	20

Le coût unitaire varie entre 2,7 € HT/m² au minimum et 42 € HT/m² au maximum avec un coût moyen de 16 € HT/m² (Tableau 105). Le coût unitaire médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, s'élève à **10 € HT/m²** et l'écart-type est égal 13 € HT/m². La dispersion des valeurs autour de la moyenne est très forte car le coefficient de variation est égal à 0,8.

Coût de référence alternatif proposé : 10 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique)* **à 15 € HT/m²** *(avis d'expert).*

Avis d'expert

Selon l'ADOPTA, le coût d'un puits d'infiltration dépend de la profondeur. Les coûts de référence généralement observés sont plutôt de l'ordre de 2 000 € HT/puits et 15 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage.

3.3.5 Tranchées d'infiltration

Définition du type d'action

Les actions concernées ici sont celles portant sur la création de tranchées d'infiltration dont le but est de récupérer, écrêter le débit et infiltrer les eaux pluviales. Il s'agit de structures linéaires superficielles généralement remplies de matériaux poreux.

Figure 41 Tranchée d'infiltration
Source : Montmasson

Échantillon exploité

50 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 29 sont exploitables. La totalité des données proviennent de l'agence de l'eau Artois Picardie. Les valeurs de 6 déterminants exposés dans le Tableau 106 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 106 Nombre d'actions de création de tranchées d'infiltration dont les déterminants sont renseignés

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Longueur des tranchées (ml)	29
Largeur des tranchées (m)	23
Profondeur des tranchées (m)	17
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage (m²)	24
Pluie de retour (nombre d'années)	6
Volume de la tranchée (m^3)	18

Tableau 107 Matrice de corrélation entre les déterminants testés pour le coût des tranchées d'infiltration

	Longueur des tranchées	Largeur des tranchées	Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage
Longueur des tranchées		-4%	52%
Largeur des tranchées	-4%		35%
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	52%	35%	

Le Tableau 107 indique le coefficient de corrélation exprimé en pourcentage entre les déterminants quantitatifs comptant au moins 20 actions. La corrélation la plus importante est observée entre la longueur des tranchées et la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage avec un pourcentage de la variance expliquée de 52%.

Influence des paramètres et coût de référence

Le Tableau 108 met en évidence les coefficients de détermination obtenus par analyse des régressions des déterminants comptant au moins 20 actions. Ils sont tous inférieurs à 0,6 indiquant qu'il n'existe pas de relation linéaire significative entre les différentes variables quantitatives étudiées.

Tableau 108 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût des tranchées d'infiltration

Déterminant	Montant retenu	Log du montant retenu	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Longueur des tranchées	0,01	0,1	0,07	0,1
Largeur des tranchées	0,02	0,3	0,04	0,01
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	0,09	0,2	0,07	0,02

Afin de définir le coût de référence, il est proposé de réaliser une analyse descriptive des coûts unitaires sur les déterminants comptant le plus grand nombre d'actions : la longueur des tranchées et la surface imperméabilisée (qui est le déterminant commun à tous les types actions de gestion des eaux pluviales).

Longueur de la tranchée

Tableau 109 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/ml) pour la réalisation de tranchées d'infiltration en fonction de la longueur de la tranchée

	Coût unitaire en € HT / ml de tranchées						
Nombre d'actions prises en compte	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
26 (3 valeurs extrêmes écartées)	14	1 850	642	411	576	0,9	1 167

Le coût unitaire moyen des travaux de création de tranchées d'infiltration, calculé à partir de 26 actions est de 642 € HT/ml (Tableau 109). Il varie entre 14 € HT/ml (minimum) et 1 850 € HT/ml (maximum). Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est égal à **411 € HT/ml**. L'écart-type est de 576 € HT/ml. Le coefficient de variation est fort car il est égal à 0,9 et indique une importante dispersion des données autour de la moyenne.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente car le nombre d'actions associées à chaque sous-population est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 410 € HT/ml *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage

Tableau 110 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour la réalisation de tranchées d'infiltration en fonction de la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage

	Coût unitaire en € HT / m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage						
Nombre d'actions prises en compte	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
24	1,7	236	60	28	66	1,1	95

D'après le Tableau 110, le coût unitaire moyen de création de tranchées d'infiltration est de 60 € HT/m^2. Il varie entre 1,7 € HT/m^2 (minimum) et 236 € HT/m^2 (maximum). Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, s'élève à 28 € HT/m^2 et l'écart-type est de 66 € HT/m^2. Le coefficient de variation, de l'ordre de 1,11 traduit une forte dispersion des données autour de la moyenne.

Coût de référence proposé : 30 € HT/m^2 *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

3.3.6 Mise en place de SAUL (Structures Alvéolaires Ultra Légères)

Définition du type d'action

Les opérations consistent en la mise en place de SAUL, appelées aussi « structure en nid d'abeilles » qui permettent la rétention et l'infiltration des eaux pluviales. Ces structures sont caractérisées par un indice de vide très important (de l'ordre de 95%).

Figure 42 Mise en place de SAUL
Source : Montmasson

Échantillon exploité

13 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 11 sont exploitables. La totalité des données provient de l'agence de l'eau Artois Picardie. Les valeurs des déterminants exposés dans le Tableau 111 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 111 Nombre d'actions de mise en place de SAUL dont les déterminants sont renseignés

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Volume de stockage (m^3)	11
Surface de la structure (m^2)	5
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage (m^2)	10
Longueur du réseau raccordé (ml)	1
Pluie de retour (nombre d'années)	3
Type de conception (visitable ou non)	0
Usage du sol	7

Coût de référence

Le nombre d'actions par déterminant est trop faible (inférieur à 20) pour étudier la régression. L'étude des coûts sera alors réalisée à partir des statistiques descriptives présentées dans le Tableau 112 et le Tableau 113 portant sur les déterminants comptant le plus grand nombre d'actions.

Volume de stockage

Tableau 112 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour la mise en place de SAUL en fonction du volume de stockage de l'ouvrage

	Coût unitaire en € HT / m³ du volume de stockage de l'ouvrage						
Nombre d'actions prises en compte	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
11	94	2 578	638	530	675	0,95	699

Le coût unitaire moyen des travaux de création de SAUL, calculé sur la base de 11 actions, est de 638 € HT/m^3 (Tableau 112). Il varie entre 94 € HT/m^3 (minimum) et 2 578 € HT/m^3 (maximum). Le coût unitaire médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, s'élève à 530 € HT/m^3 et l'écart-type est égal à 675 € HT/m^3. Le coefficient de variation de 0,95 traduit des valeurs fortement dispersées autour de la moyenne.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente car le nombre d'actions est systématiquement inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 530 € HT/m^3 *(niveau de fiabilité : bon car validation à dire d'expert cf. fin de chapitre).*

Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage

Tableau 113 Statistiques sur les coûts unitaires obtenus pour la mise en place de SAUL en fonction de la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage

	Coût unitaire en € HT / m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage						
Nombre d'actions prises en compte	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
10	3,8	28	17	18	7,6	0,45	22

Le coût unitaire moyen des travaux de création de SAUL, calculé sur la base de 10 actions, est de 17 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage (Tableau 113). Il varie entre 4 € HT/m² (minimum) et 28 € HT/m² (maximum). Le montant médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, s'élève à 18 € HT/m² et l'écart-type est égal à 8 € HT/m². Enfin, le coefficient de variation de 0,45 traduit des valeurs peu dispersées autour de la moyenne.

Coût de référence alternatif proposé : 18 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique, mais valeurs peu dispersées et moyenne proche de la médiane).*

Avis d'expert

Montmasson possède peu de retour d'expérience sur ce type d'action. Le coût de référence par m^3 est validé : il correspond à la moyenne courante des projets que Montmasson a pu réaliser.

3.3.7 Mise en place de surfaces désimperméabilisées

Définition du type d'action

Les opérations concernées par ce type d'action concernent la mise en place de surfaces désimperméabilisées. Il peut s'agir par exemple de la mise en place d'une surface enherbée à la place d'un terrain de basket.

Figure 43 Surface désimperméabilisée
Source : commune de Laveyron[35]

Échantillon exploité

9 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 7 sont exploitables. 3 actions ont été recueillies à l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 3 à l'agence de l'eau Artois Picardie et 1 à l'agence de l'eau Seine Normandie. Les valeurs de 5 déterminants exposés dans le Tableau 114 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 114 Nombre d'actions de création de surface désimperméabilisée dont les déterminants sont renseignés

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Surface de la structure désimperméabilisée (m²)	7
Longueur du réseau raccordé (ml)	1
Pluie de retour (nombre d'années)	0
Usage du sol (ex. parking, terrain de sport, …)	7
Volume de matériau enlevé (m^3)	3

[35] http://www.agencempu.com/realisations/projets-urbains-et-espaces-publics/parc-des-berges-du-rhone-et-place-de-la-promenade-des-bordes-laveyron-26

Coût de référence

Le nombre d'actions par déterminant est trop faible pour pouvoir proposer un coût de référence à partir d'une régression linéaire (moins de 20 actions) (Tableau 114).

Les statistiques descriptives des coûts unitaires des actions de désimperméabilisation de surface sont présentées dans le Tableau 115. L'analyse a été basée sur la surface désimperméabilisée car il s'agit du déterminant quantitatif comptant le plus grand nombre d'actions.

Tableau 115 Statistiques sur les coûts unitaires pour la création de surfaces désimperméabilisées

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m² de surface désimperméabilisée						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
6 (1 valeur extrême écartée)	12	74	45	44	25	0,55	73

Ainsi, le coût unitaire moyen des travaux de création de surfaces désimperméabilisées, calculé sur la base de 6 actions, s'élève à 45 € HT par m². Il varie entre 12 € HT/m² et 74 € HT/m². Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **44 € HT/m²** et l'écart-type est égal à 25 € HT/m². Le coefficient de variation qui est égal à 0,55 traduit des valeurs assez dispersées autour de la moyenne.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente car le nombre d'actions est systématiquement inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 45 € HT/m² *(niveau de fiabilité : bon car validé à dire d'expert).*

Avis d'expert

Pour Montmasson, le coût de référence est validé. Il correspond à la moyenne courante techniquement réaliste, tout en notant le faible retour d'expérience sur ces opérations.

3.3.8 Regroupement des types actions des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales

Définition du type d'action

Les opérations concernées par ce regroupement de types d'actions sont :

- Les noues ;
- Les bassins et mares d'infiltration ;
- Les chaussées réservoirs ;
- Les puits d'infiltration ;
- Les tranchées d'infiltration ;
- Les SAUL ;
- Les surfaces désimperméabilisées.

Figure 44 En haut, de gauche à droite : noue d'infiltration, bassin d'infiltration et chaussée réservoir. En bas, de gauche à droite : puits d'infiltration, tranchée d'infiltration, mise en place de SAUL et surface désimperméabilisée

Sources : Montmasson pour les noues, le bassin, le puis, la tranchée et la mise en place de SAUL, Lille Métropole pour la chaussée réservoir et la commune de Laveyron pour la surface désimperméabilisée (cf. fiches individuelles des types d'actions)

Échantillon exploité

219 actions sont concernées par ce regroupement de types d'actions. 115 actions ont réellement été exploitées (11 sont issues de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 101 de l'agence de l'eau Artois-Picardie et 3 de Seine-Normandie). Il s'agit des actions dont la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage a été renseignée et qui ne présentaient pas de valeurs extrêmes. Les types actions regroupés ont en effet en commun un seul déterminant quantitatif suffisamment renseigné dans les dossiers : la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage. Le nombre d'actions dont le déterminant a été renseigné par type action est présentée dans le Tableau 116.

Tableau 116 Nombre d'actions par types actions regroupés prises en compte pour l'analyse statistique

Types actions regroupés	Nombre d'actions prises en compte pour tester l'influence de la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage sur les variations de coûts
Noue d'infiltration végétalisée ou avec massif drainant	26
Bassin et mare d'infiltration	20
Chaussée réservoir	16
Puits d'infiltration	13
Tranchées d'infiltration (rétention infiltration)	24
Surface désimperméabilisée	6
Mise en place de SAUL	10
Total	**115**

Influence des paramètres et coût de référence

L'analyse de la régression a permis d'obtenir les coefficients de détermination présentés dans le Tableau 117. Ceux-ci sont systématiquement inférieurs à 0,6, indiquant qu'il n'y a pas de relation significative entre les coûts observés la surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage.

Tableau 117 Valeurs de R^2 pour le déterminant quantitatif du coût des actions liées aux techniques alternatives de gestion des eaux pluviales

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	0,1	0,2	0,05	0,3

Afin d'établir un coût de référence pour les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales, les statistiques descriptives ont été analysées (Tableau 118).

Tableau 118 Statistiques descriptives pour le regroupement des types actions du volet 3

	Coût unitaire en € HT / m² de surface imperméabilisée						
Nombre d'actions prises en compte	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
115	0,07	236	35	20	40	1,15	54

Le coût unitaire moyen des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales est de 35 € HT/m² et les coûts sont compris entre 0,07 € HT/m² (minimum) et 236 € HT/m² (maximum) (Tableau 118). Le coût médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **20 € HT/m²**. Le coefficient de variation est très élevé (1,15) et traduit une forte dispersion des données autour de la moyenne.
La forte dispersion des données autour de la moyenne peut être due à des moyennes significativement différentes entre les types d'actions regroupés.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente car le nombre d'actions associées au contexte rural est de 18 et de 4 pour la zone de montagne. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 20 € HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

3.3.9 Toitures végétalisées

Définition du type d'action

Les toitures végétalisées sont généralement mises en place sur des toits plats ou à faible pente. Elles permettent la récupération des eaux pluviales et leur rétention de manière plus ou moins efficace. En effet, cette dernière dépend de différents paramètres tels que le type de substrat, de végétaux ou encore la surface totale de plantation.

Les opérations de création de toitures végétalisées peuvent également être accompagnées par la création de puits d'infiltrations vers lesquels les eaux sont renvoyées.

Figure 45 Toiture végétalisée
Source : CEREMA[36]

Échantillon exploité

13 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 9 sont exploitables. 7 actions proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 1 de l'agence de l'eau Seine Normandie et 1 de l'agence de l'eau Artois Picardie. Les valeurs des 5 déterminants exposés dans le Tableau 119 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 119 Nombre d'actions de création de toitures végétalisées dont les déterminants sont renseignés

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Surface des toitures végétalisées (m²)	9
Complexe de végétalisation	8
Nombre de puits d'infiltration vers lesquels les eaux sont renvoyées	7
Volume de stockage si l'ouvrage est stockant (m^3)	4
Pluie de retour (nombre d'années)	0

[36] https://www.cerema.fr/fr/actualites/toitures-vegetalisees-quels-effets-depolluants

Coût de référence

La faible taille de l'échantillon ne permet pas de réaliser une régression linéaire statistiquement fiable (Tableau 119). Une analyse des statistiques descriptives (Tableau 120) a alors été effectuée à partir des coûts unitaires basés sur la surface des toitures (qui est le déterminant le plus souvent renseigné dans la base de données).

Tableau 120 Statistiques sur les coûts unitaires (€ HT/m²) obtenus pour la création de toitures végétalisées

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m² de surface des toitures végétalisées						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
9	37	202	116	112	56	0,48	159

Le coût unitaire moyen des travaux de création de toitures végétalisées, calculé sur la base de 9 actions, s'élève à 116 € HT/ m². Il varie entre 37 € HT/m² (minimum) et 202 € HT/m² (maximum). Le coût unitaire médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **112 € HT/m²** et l'écart-type est égal à 56 € HT/m². Enfin, le coefficient de variation est de 0,48 traduisant une dispersion moyenne des valeurs autour de la moyenne.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente car le nombre d'actions associées à chaque sous-population est inférieur à 20. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 110 € HT/m² *(niveau de fiabilité : bon car validation à dire d'expert).*

Avis d'expert

Les coûts de référence proposés sont validés par le cabinet Montmasson et correspondent à une plus-value sur la structure de la toiture. La création de toitures n'est en effet pas comprise dans les coûts proposés.

3.3.10 Réservoir de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation

Définition du type d'action

Ce type d'action concerne la création de réservoir de stockage des eaux pluviales dans le but de les réutiliser pour l'arrosage ou en intérieur (WC, machine à laver). Il peut aussi bien s'agir de réservoirs enterrés ou à ciel ouvert. En cas de trop-plein, les eaux de pluie peuvent néanmoins être renvoyées au réseau ou dirigées vers des puits d'infiltration.

Figure 46 Réservoirs de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation
Source : Montmasson

Échantillon exploité

34 actions ont été identifiées comme correspondantes à ce type action dont 28 sont exploitables. 23 proviennent de l'agence de l'eau Artois Picardie, 4 de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse et 1 de l'agence de l'eau Seine Normandie. Les valeurs de 7 déterminants exposés dans le Tableau 121 ont ainsi été renseignées quand l'information était disponible.

Tableau 121 Nombre d'actions renseignées par déterminant pour la création de réservoirs de régulation

Déterminant	Nombre d'actions pour lesquelles le déterminant a été renseigné
Capacité de la cuve de stockage (m^3)	28
Type de réservoir (enterré ou à ciel ouvert)	14
Longueur du réseau de collecte jusqu'à l'ouvrage (ml)	7
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage (m^2)	25
Pluie de retour (nombre d'années)	0
Devenir de la fonction de trop plein (réseau d'eaux pluviales, puits d'infiltration, …)	9
Présence ou absence de toiture végétalisée	9

Sur les 7 déterminants, seulement 2 (capacité de la cuve de stockage et surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage) concernent des données chiffrées et suffisamment nombreuses pour être exploitables (plus de 20 actions).

Influence des paramètres et coût de référence

Le coefficient de corrélation (exprimé en pourcentage) des déterminants « capacité de la cuve » et « surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage » est de 37%. Ces deux déterminants ne sont donc pas fortement corrélés.

Tableau 122 Valeurs de R^2 pour les déterminants quantitatifs du coût des réservoirs de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation

Déterminant	Montant retenu	Log du montant retenu	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Capacité de la cuve de stockage	0,01	0,08	0,04	0,3
Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage	0,3	0,4	0,04	0,04

De plus, d'après le Tableau 122, il n'existe pas de relation significative entre les déterminants et les coûts étudiés. En effet, le R^2 est systématiquement inférieur à 0,6. Dans le but de proposer des coûts de référence pour ce type action, les statistiques descriptives ont alors été analysées (Tableau 123 et Tableau 124).

Capacité de la cuve de stockage

Tableau 123 Coût unitaire (€ HT/m³) pour la création de réservoirs de régulation

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m³ de capacité de la cuve de stockage						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
25 (3 valeurs extrêmes écartées)	196	10 603	2 236	930	3 051	1,4	2 704

D'après le Tableau 123, le coût unitaire moyen des travaux de création de réservoirs de régulation pour une réutilisation, calculé sur la base de 25 actions, s'élève à 2 236 € HT/m³. Il varie entre 196 € HT/m³ (minimum) et 10 603 € HT/m³ (maximum). Le coût unitaire médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de 930 € HT/m³ et l'écart-type est égal à 3 051 € HT/m³. Les valeurs sont fortement dispersées autour de la moyenne car le coefficient de variation est égal à 1,4.

Concernant les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural et zone de plaine/montagne), il est complexe de réaliser une analyse de variance car le nombre de données en contexte rural et en zone montagneuse est très faible (respectivement 3 et 5 actions). L'influence de ces variables sur les coûts ne peut donc pas être démontrée de manière pertinente.

Pour les experts, le coût de référence à prendre en compte est le même que celui des bassins de stockage restitution, c'est-à-dire **965 € HT/m³** (cf. partie 3.1.14 et avis d'expert en fin de partie). Celui-ci est relativement proche de la médiane pour la création des réservoirs de réutilisation des eaux pluviales, qui est de 930 € HT/m³ (Tableau 123). Il est alors proposé de suivre l'avis des experts et de retenir le même coût de référence que celui des bassins de stockage restitution.

Coût de référence proposé : 965 € HT/m³ *(niveau de fiabilité : bon car validé à dires d'expert)*

Surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage

Tableau 124 Coût unitaire (€ HT/m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage) pour la création de réservoirs de régulation pour une réutilisation des eaux pluviales

Nombre d'actions prises en compte	Coût unitaire des actions en € HT / m² de surface imperméabilisée contrôlée par l'ouvrage						
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Percentile 80
24 (1 valeur extrême écartée)	7,8	240	51	22	62	1,2	67

Si la surface désimperméabilisée est considérée pour le calcul du coût unitaire (Tableau 124), le montant moyen, calculé sur la base de 24 actions, est de 51 € HT/m². Il varie entre 7,8 € HT/m² (minimum) et 240 € HT/m² (maximum). La médiane, qui est moins dépendante des valeurs extrêmes que la moyenne, est égale à **22 € HT/m²** et l'écart-type est de 62 € HT/m². La dispersion des valeurs autour de la moyenne est très forte puisque le coefficient de variation est égal à 1,2.

Coût de référence alternatif proposé : 22 € HT/m² *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique)*

Avis d'expert

Les coûts de référence concernant le volume de stockage à prendre en compte sont identiques à ceux des bassins de stockage restitution. En effet, il n'y a pas de raisons techniques pour que le coût de ces ouvrages soit significativement différent de ceux des bassins de stockage restitution. Le coût élevé provient certainement de la difficulté d'identifier plus précisément les coûts des réservoirs dans les dossiers et /ou de l'agrégation de nombreux autres travaux connexes.

3.3.11 Regroupement « création d'un ouvrage de stockage restitution et réservoir de régulation pour une réutilisation »

Définition du type d'action

Deux types d'actions ont été regroupés ici afin de proposer des coûts de référence communs :

- La création d'un ouvrage de stockage restitution (volet 1) ;
- La création de réservoir de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation (volet 3).

Figure 47 A gauche : ouvrage de stockage-restitution et à droite : réservoir de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation
Source : Montmasson

Échantillon exploité

56 actions sont concernées par ce regroupement de types d'actions. 49 actions sont exploitables (14 proviennent de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 23 d'Artois-Picardie, 8 de Loire-Bretagne, 3 d'Adour Garonne et 1 de Seine-Normandie).

Un seul déterminant est commun à ces deux types d'actions regroupés et sera étudié dans ce chapitre : le volume de stockage (m^3). Il s'agira d'être vigilant vis-à-vis des résultats présentés ci-après car le test de Student a démontré que les moyennes des coûts unitaires entre les deux types d'actions étaient significativement différentes.

Coût de référence

L'analyse des régressions linéaires à partir du volume de stockage ne donne aucun coefficient de régression R^2 supérieur à 0,6 (Tableau 125). Il n'existe donc pas de relation linéaire significative entre les coûts et le volume de stockage.

Tableau 125 Valeurs de R^2 pour le déterminant quantitatif du coût des ouvrages de stockage-restitution et des réservoirs de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation

Déterminant	Montant de l'action	Log du montant de l'action	Coût unitaire	Log du coût unitaire
Volume de stockage	0,1	0,25	0,02	0,3

Dans le but d'établir un coût de référence, les statistiques descriptives ont également été étudiées (Tableau 126).

Tableau 126 Statistiques descriptives sur les coûts unitaires en fonction du volume de stockage pour la création d'ouvrage de stockage restitution et le réservoir de régulation pour une réutilisation

	Coût unitaire en € HT / m^3 du volume de stockage						
Nombre d'actions prises en compte	**Minimum**	**Maximum**	**Moyenne**	**Médiane**	**Ecart-type**	**Coefficient de variation**	**Percentile 80**
47 (2 valeurs extrêmes écartées)	17	24 987	2 262	993	4 205	1,86	1 946

Le Tableau 126 met en évidence un coût unitaire moyen des travaux de création d'ouvrage de stockage restitution et de réservoir de régulation pour une réutilisation de 2 262 € HT/m^3. Il varie entre 17 € HT/m^3 (minimum) et 24 987 € HT/m^3 (maximum). Le montant médian, qui est moins dépendant des valeurs extrêmes que la moyenne, est de **993 € HT/m^3** et l'écart-type est de 4 205 € HT/m^3. Le coefficient de variation de 1,86 traduit des valeurs très fortement dispersées autour de la moyenne, probablement dû au regroupement des 2 types d'actions présentant des coûts unitaires moyens déjà différents.

Par ailleurs, l'analyse de variance pour les paramètres qualitatifs (contexte urbain/rural, plaine/montagne) ne peut être réalisée de manière pertinente car le nombre d'actions associées au contexte rural est de 14 et de 1 pour la zone de montagne. Il est donc difficile de déduire une influence de ces paramètres sur les coûts observés.

Coût de référence proposé : 993 € HT/m^3 *(niveau de fiabilité : médiocre car incertitude statistique).*

4 LIMITES ET PERSPECTIVES

4.1 Limites

Fiabilité des résultats

Les coûts de référence sont très importants pour l'agence de l'eau car ils permettent d'avoir une estimation du coût des actions qu'elle subventionne en fonction de certains déterminants (par exemple, la longueur de canalisation, le nombre d'EH). Il est donc essentiel qu'elle dispose de résultats les plus fiables et représentatifs possibles. Cependant, certains coûts proposés dans cette étude ont un niveau de fiabilité « médiocre » voire « douteux », dû, par exemple, à un nombre d'actions trop faibles ou à des données très dispersées. Il s'agira alors d'être vigilant lors de l'utilisation de ces résultats.

Dans de nombreux dossiers, il a été complexe d'extraire le coût des différents postes (études préalables, maîtrise d'œuvre, frais annexes, …), et même parfois des différentes actions contenues dans une opération. En particulier, ces coûts pouvaient être détaillés dans le projet estimatif, mais pas dans le DGD. Dans ce cas, seul le montant estimatif a été considéré dans l'analyse statistique.

Cependant, il reste complexe d'établir des coûts de référence généraux pouvant s'appliquer aux opérations d'assainissement collectif. En effet, de nombreux paramètres sont à prendre en compte dans la détermination des coûts des actions étudiées et il est complexe de tous les appréhender. Certains éléments sont difficilement quantifiables et qualifiables et peuvent fortement influencer les coûts observés : contraintes de sites, de sol, ...

Limites rencontrées lors de la collecte des données

La recherche des déterminants et des coûts nécessaires à l'établissement de la base de données pour l'analyse statistique, a été réalisée de manière plus ou moins facile selon les dossiers papiers. En effet, d'un dossier à l'autre, les mêmes informations n'étaient pas renseignées aux mêmes endroits ou sur les mêmes documents, voire pas du tout dans certains dossiers. Cela a pu entrainer des manques dans la base de données ou des actions considérées non exploitables.

Limites présentées par volet

Pour le **volet 1 (création et réhabilitation de réseaux d'assainissement)**, peu d'opérations analysées ont concerné d'importants chantiers, c'est-à-dire, des canalisations de gros diamètres, des contextes très difficiles (ex. travaux en centre urbain historique) ou des bassins de stockages restitution de volumes importants. Les coûts présentés dans cette étude tiennent donc peu, voire pas du tout, compte de ce genre d'opérations. Il est donc important, pour de très gros chantiers, de relativiser la pertinence des prix de référence.

Concernant le **volet 2 (traitement plus poussé pour l'azote et/ou le phosphore)**, la difficulté a porté sur l'identification du surcoût associé au traitement plus poussé. Celui-ci a été identifié selon une méthode empirique à dire d'expert Montmasson. Il aurait été intéressant de pouvoir disposer d'une étude comparant le coût de STEU standards à des STEU comportant un traitement plus poussé pour l'azote et/ou le phosphore.

Très peu d'informations ont pu être collectées à l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse sur le **volet 3 (techniques alternatives de gestion des eaux pluviales)**. La plupart des données sont issues de l'agence de l'eau Artois-Picardie qui a mis en œuvre sur son bassin, depuis plusieurs années, les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales « en routine ». Les coûts sont donc représentatifs de techniques suffisamment développées et mises en place par des entreprises locales expertes. Ceux-ci peuvent alors être différents de ceux qui s'appliquent actuellement sur le bassin Rhône Méditerranée Corse.

4.2 Perspectives

Actualiser les coûts

Les coûts présentés dans cette étude sont actualisés au mois de janvier 2018. Afin qu'ils puissent être applicables dans les années à venir, il est essentiel de les actualiser tous les 2 à 3 ans a minima, sur la même base que celle présentée en partie 2.3.

Poursuivre le travail sur les coûts de référence des STEU à traitement plus poussé pour l'azote et/ou le phosphore

Les STEU à traitement plus poussé en azote et/ou phosphore sont de plus en plus courantes et imposées par la réglementation (extension des zones sensibles à l'eutrophisation). La question qui se pose alors est de savoir s'il ne serait pas plus pertinent de revoir le coût des STEU en intégrant systématiquement le coût du traitement plus poussé.

Fiabiliser les résultats

La fiabilité des résultats présentés dans cette étude pourrait être améliorée, en complétant régulièrement la base de données avec les informations techniques et financières se rapportant aux nouvelles opérations soldées.

Un travail de comparaison et de consolidation des coûts de référence inter-agences permettrait également d'améliorer la fiabilité des résultats présentés. La cohérence des déterminants explicatifs des coûts définis et des montants associés pourrait ainsi être vérifiée. Dans la mesure du possible, il s'agirait de compléter la base de données avec les informations des nouvelles opérations des autres agences de l'eau.

Faciliter le travail de collecte des données

La prise en compte du coût réel des différents postes (maîtrise d'œuvre, études préalables, frais annexes, …) pourrait être améliorée en réalisant un travail en amont, au moment de la récolte des données nécessaires à l'instruction des dossiers. Pour cela, il pourrait être demandé aux maîtres d'ouvrage un détail financier un peu plus précis permettant d'extraire le coût réel de ces différents postes.

Par la suite, le travail de collecte des données nécessaires à l'établissement des coûts de référence pourrait être facilité en proposant aux maîtres d'ouvrages de renseigner directement en ligne les informations nécessaires à l'instruction de leur dossier de demande d'aide. Ce système ferait gagner du temps aux chargés d'instruction de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse qui n'auraient notamment plus à saisir à nouveau ces éléments pour la demande d'aide.

La télédéclaration pourrait également rendre possible la fixation d'un certain nombre de contraintes de base, dans le but de recueillir des données les plus homogènes possibles. Il pourrait s'agir par exemple, de fixer l'unité dans laquelle doit être renseignée l'information, d'imposer une valeur numérique dans certains champs, de demander certains justificatifs de travaux ou de montants sous une forme prédéfinie. Ce travail s'inscrirait dans une logique de simplification de l'instruction des dossiers, dans le contexte actuel de limitation des effectifs des agences de l'eau.

BIBLIOGRAPHIE

Dubol M., Guinaudeau, M. et Hanues F. Evolution et suivi des coûts d'investissement en assainissement (épuration et réseaux) : analyse de la situation et recommandations, 2005.

Gresle A., Lazarova V. et Suty H. Intérêts techniques et économiques du traitement membranaire en vue du recyclage, TSM n° 12 – 2007.

Hussson A., Stricker A-E., Senechal M. et Racault Y. Bioréacteurs à Membrane pour le traitement des eaux résiduaires urbaines - retours d'expérience, Etude IRSTEA pour AEAG, 2013.

Canalisation : choisir un matériau adapté aux contraintes, Revue l'eau, l'industrie, les nuisances, 2014.
Accessible à : http://www.hobas.fr/fileadmin/Daten/HobasFrance/Documents/2014-10-07_EIN_Canalisations_choisir_un_materiau_adapte_aux_contraintes.pdf

ANNEXE

Tableau 127 Nombre d'actions exploitables pour les analyses statistiques par type d'action et par agence de l'eau

	Type d'action	Nombre de dossiers exploitables						
		Rhône Méditerranée Corse	Adour Garonne	Artois-Picardie	Loire-Bretagne	Rhin-Meuse	Seine-Normandie	**Total**
Volet 1	Création de canalisations gravitaires	76	0	0	2	0	0	**78**
	Création de canalisations de refoulement	22	0	0	5	0	0	**27**
	Poste de relèvement ou de refoulement	16	0	0	14	0	0	**30**
	Travaux spéciaux	2	0	0	1	0	0	**3**
	Etanchéification d'un réseau par changement des canalisations en lieu et place	54	0	0	4	0	0	**58**
	Chemisage de la canalisation existante	25	0	0	14	0	0	**39**
	Mise en séparatif par création d'une canalisation à côté de la canalisation unitaire	63	0	0	0	0	0	**63**
	Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux usées	21	0	0	0	0	0	**21**
	Mise en séparatif par destruction de la canalisation unitaire et création de la canalisation d'eaux pluviales	15	0	0	0	0	0	**15**
	Création d'un ouvrage de stockage-restitution	10	3	0	8	0	0	**21**
Volet 2	Installation d'un traitement tertiaire par filtration	2	0	0	0	0	0	**2**
	Traitement physico-chimique du phosphore par ajout de chlorure ferrique	21	0	0	13	0	0	**34**
	Traitement membranaire (azote et phosphore simultanément)	3	0	0	0	0	0	**3**
	Filtres plantés de roseaux pour le traitement de l'eau	29	0	0	48	35	0	**112**
	Traitement poussé de l'azote par nitrification et/ou dénitrification	16	0	0	8	1	0	**25**
	Traitement poussé biologique du phosphore	7	0	0	0	0	0	**7**
	Démolition de l'ancienne station d'épuration	2	0	0	4	0	0	**6**
Volet 3	Noues d'infiltration (végétalisées ou avec massif drainant)	5	0	26	0	0	0	**31**
	Bassins et mares d'infiltration	6	0	24	0	0	2	**32**
	Chaussées réservoirs	0	0	20	0	0	0	**20**
	Puits d'infiltration	1	0	18	0	0	1	**20**
	Tranchées d'infiltration	0	0	29	0	0	0	**29**
	Mise en place de SAUL	0	0	11	0	0	0	**11**
	Mise en place de surfaces désimperméabilisées	3	0	3	0	0	1	**7**
	Toitures végétalisées	7	0	1	0	0	1	**9**
	Réservoir de régulation des eaux pluviales pour une réutilisation	4	0	23	0	0	1	**28**
Total		410	3	155	121	36	6	**731**

Observatoire des coûts

ASSAINISSEMENT COLLECTIF
RÉSEAUX, STATIONS, PLUVIAL

Ce rapport présente les coûts de référence des travaux d'assainissement collectif pour la création et la réhabilitation de réseaux d'assainissement, le traitement plus poussé pour l'azote et/ou le phosphore pour toutes tailles de stations d'épuration et les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales. Il a été réalisé pour le compte de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, dans le cadre de son observatoire des coûts, à partir de l'analyse de plus de 600 opérations financées entre 2009 et 2017 par les 6 agences de l'eau.
Cette étude vise à mieux connaître les coûts et leur variabilité. Elle repose sur une analyse statistique et identifie pour chaque opération les coûts de référence et les paramètres influant sur les coûts : linéaire de réseau posé aidé, nombre d'équivalents-habitants, débit, surface désimperméabilisée, volume de stockage, situation géographique, etc.

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE
établissement public de l'État

Ecodecision
conseil en environnement

Montmasson
INGÉNIEURS CONSEILS

© Crédits photos : Grand Lyon, Certu, J. Leone, K. Pojer