



OBSERVATOIRE
DÉPARTEMENTAL

OBSERVATOIRE DE L'EAU 2015

ENVIRONNEMENT



Les coûts des opérations dans le domaine de l'eau en Seine-et-Marne

2015

seine-et-marne.fr  

SEINE & MARNE 
LE DÉPARTEMENT

Table des matières

Préface	3
Synthèse	4
I. Un observatoire des coûts dans le domaine de l'eau.....	8
A. Mieux appréhender les enjeux financiers dans le domaine de l'eau.....	8
1) Contexte.....	8
2) Accompagnement des maîtres d'ouvrage par le Département	8
3) Objectif de l'outil	9
B. Construction de l'outil	10
1) Définitions.....	10
2) Méthodologie	11
II. Les opérations en eau potable	14
A. Les enjeux liés à l'eau potable en Seine-et-Marne	14
B. Interconnexion de réseaux d'eau potable.....	14
1) Description.....	14
2) Critique de l'analyse	15
C. Création d'une usine de traitement des pesticides.....	19
1) Description.....	19
2) Critique de l'analyse	20
D. La réhabilitation des réservoirs d'eau potable	24
1) Description.....	24
2) Critique de l'analyse	25
E. Les diagnostics de réseaux d'eau potable comprenant une sectorisation	29
1) Description.....	29
2) Critique de l'analyse	30
F. Protection des captages	34
1) Description.....	34
2) Critique de l'analyse	35
G. Synthèse.....	37
III. Les opérations en assainissement	38
A. Les enjeux liés à l'assainissement en Seine-et-Marne	38
B. La création de réseaux d'assainissement collectif	39
1) Description.....	39
2) Critique de l'analyse	40
C. Création d'une station d'épuration – Boues activées et filtres plantés de roseaux	44
1) Description.....	44
2) Critique de l'analyse	46
D. La création d'un bassin d'orage.....	60

1) Description.....	60
2) Critique de l'analyse	61
E. Traitement des boues d'épuration par lit à macrophytes.....	64
1) Description.....	64
2) Critique de l'analyse	66
F. Réhabilitation des filières en assainissement non collectif.....	71
1) Description.....	71
2) Critique de l'analyse	73
G. Synthèse.....	77

IV. Les opérations en rivière 79

A. Les enjeux liés aux opérations en rivière en Seine-et-Marne	79
B. Les opérations d'entretien de rivières.....	80
1) Description.....	80
2) Critique de l'analyse	82
C. Synthèse.....	90

Le Département de Seine-et-Marne intervient, tant d'un point de vue financier que technique, dans de nombreuses opérations liées au domaine de l'eau, que ce soit sur les thématiques de l'eau potable, de l'assainissement ou encore de l'entretien des rivières.

D'un point de vue réglementaire, l'amélioration de la transparence de la vie publique est un enjeu repris dans la loi du 7 août 2015 portant Nouvelle organisation territoriale de la république (NOTRe), afin de favoriser la transmission d'informations relatives à la gestion des collectivités territoriales. Dans le même esprit que les Agences de l'eau qui, dans le cadre de la circulaire DCE 2007/18 du 16 janvier 2007, doivent « *mettre en œuvre dans chaque bassin un observatoire des coûts afin de mettre à disposition les données disponibles sur les coûts unitaires des travaux, compléter l'information des maîtres d'ouvrages, et assurer le suivi des coûts des ouvrages inscrits au programme de mesures et, en métropole, au programme d'intervention de l'Agence de l'eau* », le Département a souhaité la mise en place d'un observatoire départemental des coûts d'opérations dans le domaine de l'eau. Il faut noter que ce document n'existe pas de manière formelle à l'Agence de l'eau Seine-Normandie.

L'objectif de cet observatoire est de mettre à disposition une analyse des données disponibles sur les coûts d'opération (travaux et frais annexes) dans les différentes thématiques de l'eau pour améliorer la connaissance des dépenses en investissement pour les collectivités, les financeurs et les usagers du service de l'eau. Il doit permettre d'assurer la transparence des projets, et de fournir un outil d'aide à la réflexion qui aidera les collectivités à faire des choix d'orientations budgétaires, afin de gérer au mieux les contraintes des dépenses d'investissement.

Ce document présente les résultats de l'analyse statistique qui a été menée sur les coûts d'opérations dans le domaine de l'eau, sur la base des opérations retenues et financées par le Département sur une plage de temps allant de 2004 à 2015.

Synthèse

Méthodologie de l'analyse

Les données sont issues des opérations financées par le Département sur une plage de temps allant de 2004 à 2015. Dans chaque cas, un échantillon a été constitué pour obtenir le meilleur niveau de représentativité. Puis un indicateur technique influençant les coûts a été choisi, sur la base duquel une analyse statistique a été réalisée, aboutissant à une formule simple d'estimation des coûts. Les plages de validité des formules ont été indiquées ainsi que les éventuelles limites et précautions à prendre dans l'utilisation de l'outil. L'analyse ainsi réalisée permet de définir, pour chacune des opérations citées, une fourchette de coûts HT minimaux et maximaux sur la base de ce qui a été observé dans les dossiers passés.

Coûts des opérations d'eau potable

Opération	Variable technique	Intervalle de confiance	Formule
Interconnexion de réseau	Linéaire de réseau (en m)	De 450 à 67 000 m	Prix théorique = $225,8 (+ \text{ ou } - 9,9) \times \text{linéaire de réseau} + 299\,881 (+ \text{ ou } - 169\,697)$
Usine de traitement des pesticides	Capacité de traitement (en m ³ /h)	De 60 à 550 m ³ /h	Prix théorique = $23\,713 (+ \text{ ou } - 1\,920) \times \text{capacité de traitement} - 849\,257 (+ \text{ ou } - 463\,462)$
Réhabilitation de réservoir	Volume du réservoir (en m ³)	De 60 à 1 500 m ³	Prix théorique = $140,2 (+ \text{ ou } - 21,5) \times \text{volume du réservoir} + 109\,798 (+ \text{ ou } - 13\,276)$
Diagnostic de réseau d'eau potable	Nombre de compteurs de sectorisation	De 0 à 9 compteurs	Prix théorique = $6\,708,4 (+ \text{ ou } - 800) \times \text{nombre de compteurs} + 23\,770 (+ \text{ ou } - 3\,340)$
Etude environnementale des périmètres de protection de captage	-	-	Le coût de l'étude environnementale peut être compris entre 10 000 € HT et 27 400 € HT.

Exemple : Réhabilitation de réservoir de 1 000 m³

Fourchette de prix

- **Mini** : $(140,2 - 21,5) \times 1\,000 + 109\,798 - 13\,276 = 215\,222$ € HT soit 215 000 € HT
- **Maxi** : $(140,2 + 21,5) \times 1\,000 + 109\,798 + 13\,276 = 284\,774$ € HT soit 285 000 € HT

Coûts des opérations d'assainissement

Opération		Variable technique	Intervalle de confiance	Formule
Création de réseau d'assainissement		Linéaire de réseau (en m)	De 65 à 9 600 m	Prix théorique = 558 (+ ou - 25) x linéaire de réseau + 114 414 (+ ou - 36 186)
Station d'épuration	Capacité inférieure à 2 000 EH, sans bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	350 à 1 700 EH	Prix théorique = 744 (+ ou - 155) x capacité de traitement + 314 583 (+ ou - 191 134)
	Capacité supérieure à 2 000 EH, sans bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	2 500 à 33 300 EH	Prix théorique = 316 (+ ou - 11) x capacité de traitement + 961 797 (+ ou - 138 528)
	Capacité inférieure à 2 000 EH, avec bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	600 à 1 800 EH	Prix théorique = 765 (+ ou - 95) x capacité de traitement + 518 228 (+ ou - 120 170)
	Capacité de la station supérieure à 2 000 EH, avec bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	2 165 à 60 000 EH	Prix théorique = 388 (+ ou - 9) x capacité de traitement + 1 045 912 (+ ou - 156 263)
Station d'épuration	Avec bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	50 à 1 500 EH	Prix théorique = 589 (+ ou - 45) x capacité de traitement + 137 245 (+ ou - 23 732)
Type Filtres plantés de roseaux	Sans bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	720 à 1 200 EH	Prix théorique = 612 (+ ou - 217) x capacité de traitement + 171 773 (+ ou - 211 981)

Opération		Variable technique	Intervalle de confiance	Formule
Traitement des boues par lit à macrophytes	en génie civil, sans fondations spéciales	Capacité de traitement (en EH)	617 à 2 500 EH	Prix théorique = 99 (+ ou - 30) x capacité de traitement + 204 455 (+ ou - 40 653)
	en génie civil, avec fondations spéciales	Capacité de traitement (en EH)	350 à 1 000 EH	Prix théorique = 452 (+ ou - 37) x capacité de traitement – 124 444 (+ ou – 29 397)
Réhabilitation des filières d'assainissement	Filière compacte	Coûts moyens		16 167 €
	Filière filtre vertical			12 995 €
	Micro-stations			15 183 €

Exemple : Création d'une station d'épuration de 900 EH, avec bassin d'orage

Fourchette de prix

- **Mini** : $(765 - 95) \times 900 + 518\,228 - 120\,170 = 1\,001\,058 \text{ €}$ soit 1 000 000 €
- **Maxi** : $(765 + 95) \times 900 + 518\,228 + 120\,170 = 1\,412\,398 \text{ €}$ soit 1 410 000 €

Coûts des opérations d'entretien de rivière

Opération		Variable technique	Intervalle de confiance	Formule
Entretien de rivière	Cours d'eau temporaires	Linéaire de rivière entretenu (en m)	De 2 400 m à 9 500 m	Prix théorique = 2,74 (+ ou - 0,3) x linéaire de rivière - 2 146 (+ ou - 2 002)
	Petits cours d'eau	Linéaire de rivière entretenu (en m)	De 500 à 21 300 m	Prix théorique = 2,56 (+ ou - 0,15) x linéaire de rivière + 2 831 (+ ou - 1 107)
	Grands cours d'eau	Linéaire de rivière entretenu (en m))	De 1 350 à 13 400 m	Prix théorique = 7,39 (+ ou - 0,9) x linéaire de rivière - 2 003 (+ ou - 7 124)

Exemple : Entretien de 15 000 m d'un petit cours d'eau

Fourchette de prix

- **Mini :** $(2,56 - 0,15) \times 15\ 000 + 2\ 831 - 1\ 107 = 37\ 874\ \text{€}$ soit 38 000 €
- **Maxi :** $(2,56 + 0,15) \times 15\ 000 + 2\ 831 + 1\ 107 = 44\ 588\ \text{€}$ soit 45 000 €

I. Un observatoire des coûts dans le domaine de l'eau

A. Mieux appréhender les enjeux financiers dans le domaine de l'eau

1) Contexte

Dans le cadre de sa Politique de l'eau, le Département de Seine-et-Marne est un partenaire financier des collectivités pour la réalisation de certaines opérations dans les différentes thématiques de l'eau : eau potable, assainissement et cours d'eau.

L'Agence de l'Eau Seine-Normandie est également un partenaire financier de premier ordre concernant les opérations mentionnées. En effet, dans le cadre de son 10^{ème} programme, qui s'inscrit dans la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE), les objectifs poursuivis sont d'atteindre le bon état écologique des eaux de surface, et de financer les ouvrages et actions qui contribuent à préserver les ressources et à lutter contre les pollutions.

L'amélioration de la transparence de la vie publique est un enjeu repris dans la loi NOTRe, afin de favoriser la transmission d'informations relatives à la gestion des collectivités territoriales. Dans ce contexte, il est important de mettre à disposition les données sur les coûts d'opération dans les différentes thématiques de l'eau pour améliorer la connaissance des dépenses en investissement pour les collectivités, les financeurs et les usagers du service de l'eau. On entend par coûts d'opération l'ensemble des coûts à déployer pour mener à bien un projet (AMO, maîtrise d'œuvre, frais annexes, travaux, etc...).

De plus, d'un point de vue financier, disposer d'une base de données et d'un outil d'évaluation simplifié des coûts permet d'accompagner les collectivités et l'ensemble des partenaires de l'eau dans les décisions à prendre en termes d'orientation et de définition des politiques d'investissements. L'outil d'aide à la réflexion ainsi réalisé permet de faire des choix d'orientations budgétaires les plus proches possibles de la réalité de terrain, afin de gérer au mieux les contraintes des dépenses d'investissement, dans un contexte national où les ressources financières des collectivités diminuent.

2) Accompagnement des maîtres d'ouvrage par le Département

La mission d'Assistance Technique Départementale (ATD), et l'animation auprès des collectivités dans les domaines de l'eau et des milieux aquatiques, apportent aux collectivités un conseil technique sur les opérations engagées. Par ailleurs, le Département, dans le cadre de sa politique de l'eau, leur apporte également un soutien financier pour la réalisation des projets mis en œuvre.

L'assistance technique que le Département peut proposer aux collectivités est encadrée par un décret spécifique (le décret du 26 décembre 2007) qui en fixe le contenu, les bénéficiaires potentiels et le mode de rémunération de ce service.

Dans ce cadre, le Département intervient aussi bien :

- sur des **missions d'assistance à maître d'ouvrage** : lancement de schéma directeur d'eau potable ou d'assainissement, assistance et accompagnement sur la mise en place de périmètres de protection de la ressource, assistance sur l'exploitation des stations d'épuration, conseils techniques...

- sur des **missions d'assistance au fonctionnement** : visites diagnostics des stations d'épurations, mesure-bilans sur 24h...
- sur des **actions de sensibilisation, de communication et d'informations** auprès des communes pour favoriser notamment l'émergence d'opérations concourant à la préservation de la ressource en eau et à la lutte contre la pollution des milieux
- pour un **appui au montage des dossiers administratifs**
- pour assister les collectivités à se substituer aux riverains en vue d'assurer l'entretien et l'aménagement des cours d'eau lorsque les travaux présentent un caractère d'intérêt général.

L'observatoire des coûts s'est intéressé à l'ensemble des missions exercées par le Département, mais n'intègre pas de manière exhaustive toutes les opérations aidées par le Département. En effet, pour pouvoir être étudiées, il faut que le Département dispose d'assez de dossiers pour constituer un échantillon suffisamment représentatif pour une étude statistique.

3) Objectif de l'outil

L'objectif de l'outil construit dans cet observatoire est d'être un outil d'aide à la réflexion, qui permet de définir, à partir de formules simples, des fourchettes de coûts HT minimaux et maximaux sur la base de ce qui a été observé dans les dossiers passés. L'outil permet donc d'évaluer sommairement les coûts d'investissements à prévoir pour une opération, et le cas échéant de pouvoir appréhender le montant du marché à lancer (lorsqu'aucune étude antérieure ne vient fournir de chiffrage plus précis).

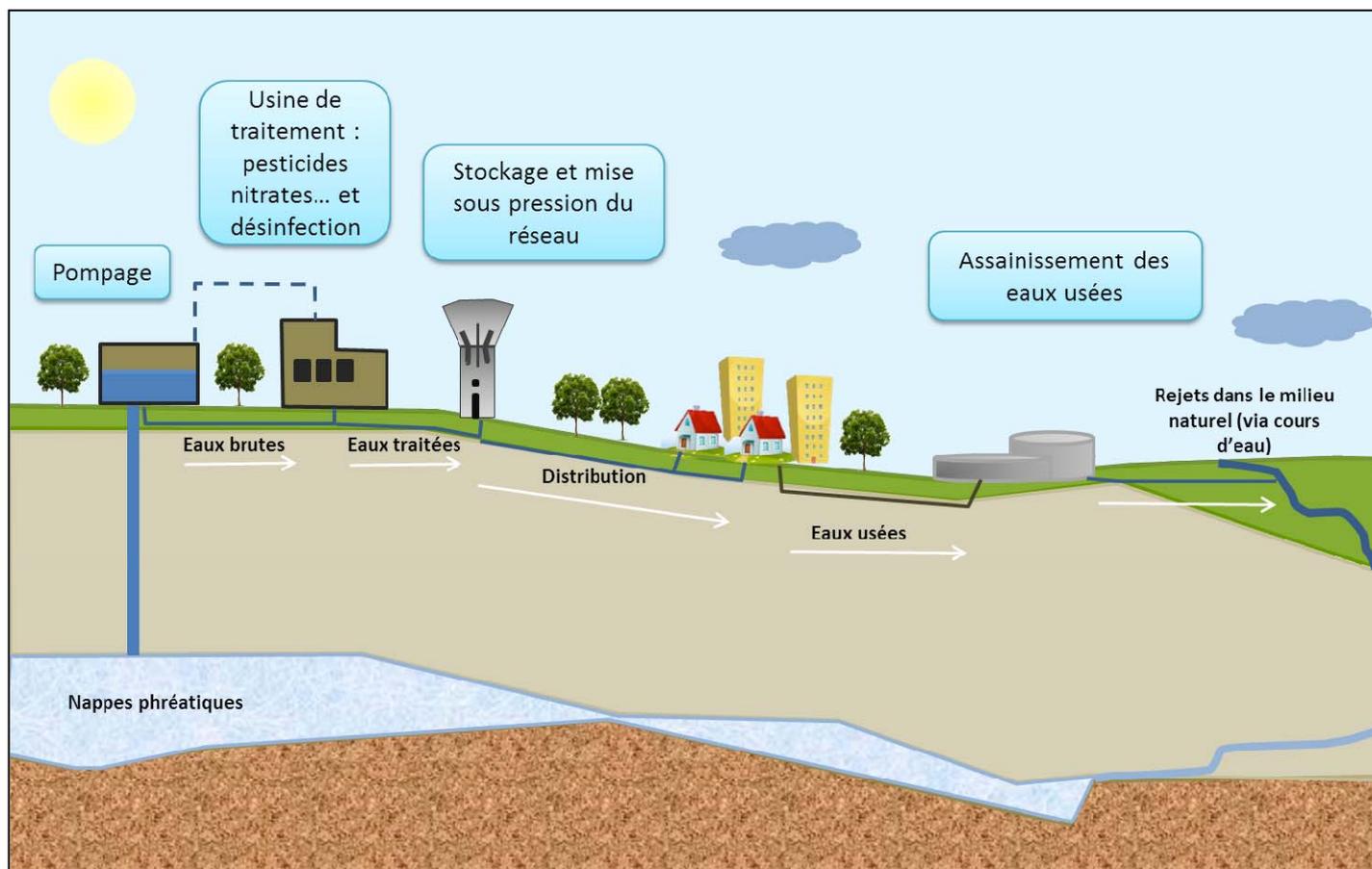
Cependant, l'outil construit ne fournit qu'une estimation et en aucun cas un chiffrage précis du type étude d'avant-projet. Il convient donc de rester prudent dans l'utilisation des formules proposées. En effet, du fait de la méthodologie de construction de l'outil, les cas particuliers qui peuvent entraîner des surcoûts importants selon le contexte, ne sont pas pris en compte pour l'estimation des coûts moyens. De même, les éléments chiffrés sont détaillés dans chaque partie, et ne prennent pas forcément en compte toutes les composantes d'une opération. C'est pour cela que la formule de calcul produit un intervalle de prix possible plus ou moins important selon la complexité de l'opération.

Il faut donc manipuler les résultats obtenus avec précaution.

B. Construction de l'outil

1) Définitions

Le petit cycle de l'eau potable est le cycle qui permet de prélever puis d'apporter de l'eau potable aux consommateurs, avant de la rejeter, après dépollution, dans le milieu naturel.



L'eau destinée à la consommation humaine suit les étapes suivantes :

- **Etape 1 - Le captage ou le pompage de l'eau brute :** L'eau destinée à la consommation provient du milieu naturel. Elle est le plus souvent prélevée dans les nappes souterraines ou bien dans des cours d'eau. Les ressources utilisées pour l'alimentation en eau font l'objet d'une surveillance particulière afin de limiter les risques de distribution d'une eau de mauvaise qualité.
- **Etape 2 - Le transport :** Une fois prélevée, l'eau brute peut être refoulée vers une usine de traitement en cas d'eau non conforme aux normes sanitaires.
- **Etape 3 - La production et le traitement :** Une fois acheminée à l'usine, l'eau brute pompée subit des traitements physiques, chimiques et parfois biologiques. Elle est clarifiée, filtrée, et désinfectée afin d'être rendue potable.
- **Etape 4 - Le stockage et la distribution :** Rendue potable par l'usine de traitement, l'eau part dans des lieux de stockage comme les châteaux d'eau et les réservoirs. Elle peut ainsi être distribuée aux consommateurs grâce à un réseau de canalisations qui fait l'objet d'une surveillance particulière pour préserver la qualité de l'eau.
- **Etape 5 - La collecte et la dépollution :** Après usage, l'eau est récupérée grâce aux canalisations du réseau d'assainissement. Elle est ensuite conduite vers les stations d'épuration ou usines de dépollution des eaux usées pour être ensuite rendue à la nature. Les stations d'épuration

dépolluent les eaux sales (domestiques, et parfois industrielles) pour éviter qu'elles dégradent les cours d'eau.

A chacune de ces étapes, des infrastructures sont nécessaires afin d'assurer un service satisfaisant pour les administrés. Ces infrastructures doivent être entretenues, et cela génère des coûts qui peuvent impacter les budgets des collectivités.

L'objectif de l'Observatoire départemental est de fournir un outil simplifié d'évaluation des coûts, qui pourrait permettre de planifier au mieux les financements à prévoir.

Les thématiques qui seront étudiées dans ce rapport sont les suivantes :

- **Eau potable** : Interconnexion de réseaux, mise en place de périmètres de protection de captage, usine de traitement des pesticides, diagnostic de réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP) ou encore réhabilitation de réservoirs.
- **Assainissement** : Création de réseaux d'assainissement collectif, réhabilitation de filière d'assainissement non collectif, création de bassins d'orage, création de stations d'épuration (par boues activées et filtres plantés de roseaux), traitement des boues d'épuration.
- **Rivières** : Entretien des berges.

D'une manière générale, les opérations se décomposent entre des **coûts d'études** et des **coûts de travaux**. Les différentes prestations varient selon les opérations et seront détaillées dans chaque sous-partie.

2) Méthodologie

Constitution de l'échantillon

L'ensemble des données utilisées pour les différentes analyses a été récolté dans les opérations financées et suivies par le Département de Seine-et-Marne sur une période allant de 2004 à 2015. Le travail de recueil a été réalisé par un tri dans les données issues du suivi des dossiers de demande de subventions apportées aux collectivités dans le domaine de l'eau. Dans la majorité des cas, les données sont issues du coût réel des opérations. En revanche, dans certains cas et afin d'élargir l'échantillon quand celui-ci était trop faible, l'ensemble des montants proposés par les bureaux d'études lors de la consultation a été pris en compte : c'est le cas par exemple des études environnementales dans le cadre de la protection de captage.

Le niveau de représentativité des données a été étudié afin de déterminer si l'échantillon est suffisamment important et cohérent pour constituer un modèle robuste de prévision des coûts. Pour ce faire, différents paramètres sont précisés dans le présent document : la taille de l'échantillon, le taux de refus de dossier, les limites de l'intervalle de confiance.

Actualisation

Afin de pouvoir comparer les différentes opérations, qui se sont déroulées sur une plage de temps étendue, il a été décidé d'actualiser les coûts, en dissociant, d'une part, les coûts des études et d'autre part, les coûts des travaux. De fait, les coûts « travaux » sont actualisés par l'indice travaux TP02 – travaux de génie civil et d'ouvrages d'art neuf ou rénovation et les coûts « études et maîtrise d'œuvre » sont actualisés par l'indice ING - Ingénierie.

Année	INDEX TRAVAUX: Index Travaux Publics - TP02 - Ouvrages d'art en site terrestre, fluvial ou maritime et fondations spéciales
2015	105,7
2014	107,4
2013	107,3
2012	105,3
2011	102,4
2010	96,3
2009	94,7
2008	90,4
2007	86,6
2006	82,2
2005	79,5
2004	75,1

Année	INDEX ETUDES : ING - Ingénierie
2015	107,7
2014	106,8
2013	106,5
2012	104,6
2011	101,8
2010	99,6
2009	98,4
2008	96,5
2007	93,9
2006	91
2005	88,9
2004	87,6

Analyse statistique

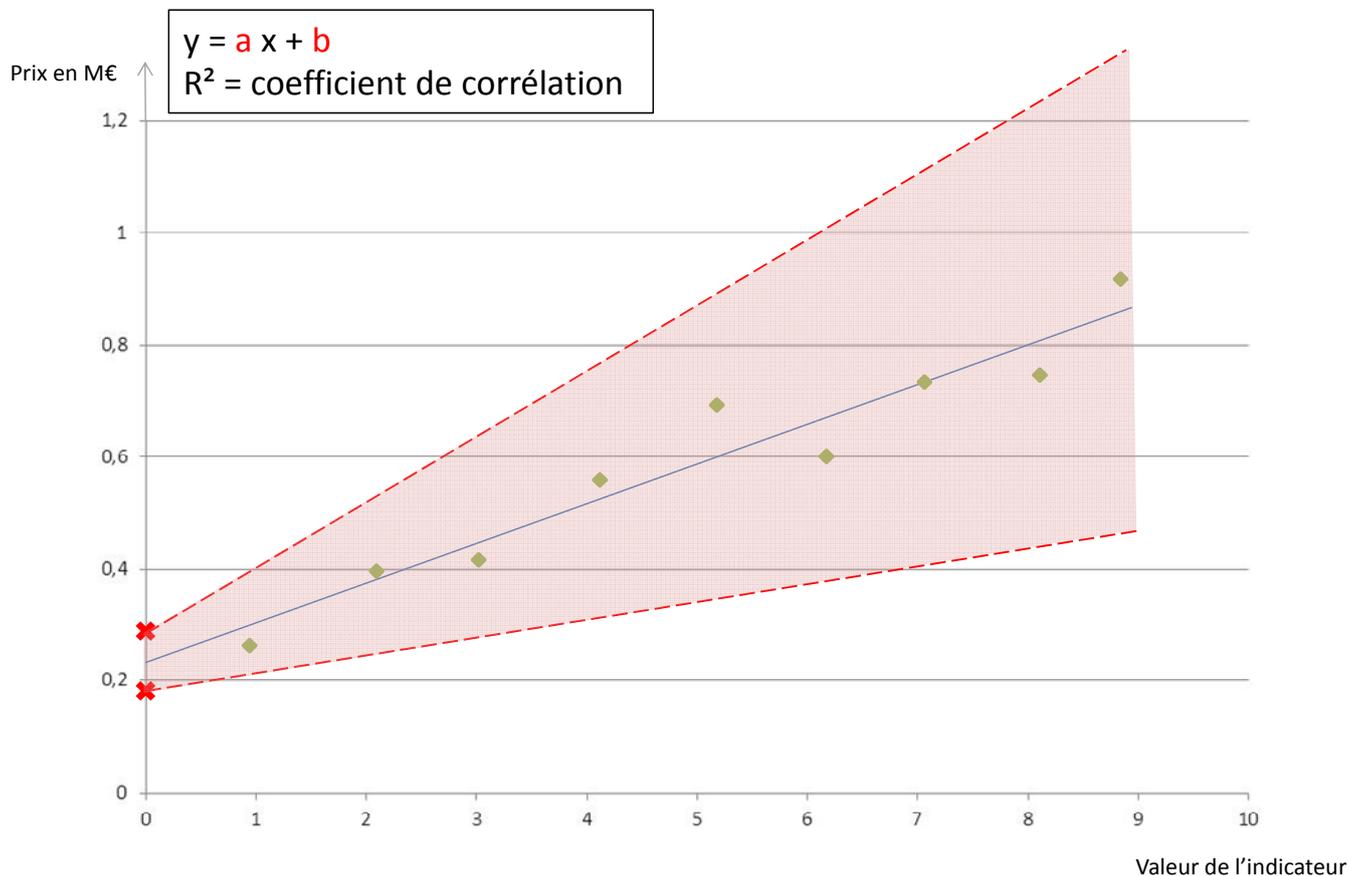
Pour chaque opération, il a été fait le choix de ne retenir, à dire d'expert, qu'un indicateur technique conditionnant le montant de l'opération. En effet, l'objectif est de définir une formule sur la base d'un seul critère de manière à ce qu'elle soit simple d'utilisation. Cependant, il est évident que selon la complexité de l'opération, d'autres critères interviennent. Plus ceux-ci sont nombreux et plus la fourchette de prix calculée sera importante.

L'analyse statistique des données permet ainsi de déterminer une corrélation entre la valeur de l'indicateur technique et le coût et ainsi obtenir une formule mathématique, pouvant être représentée graphiquement par une courbe, permettant de faire ce lien.

Dans la plupart des cas, cette courbe de tendance est une régression linéaire, sous la forme « $y = a.x + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables. Le modèle de régression linéaire est utilisé pour chercher à prédire un phénomène et pour chercher à l'expliquer. Pour chaque courbe, un coefficient de corrélation est calculé (R^2) permettant de juger de la qualité de cette corrélation : plus R^2 est proche de 1 plus la relation entre le coût et la variable technique est forte.

Graphiquement, le coefficient « a » est le coefficient directeur de la droite, autrement dit sa pente. Le coefficient « b » est l'ordonnée à l'origine, c'est-à-dire le coût de l'opération lorsque l'indicateur technique choisi est égal à zéro.

S'agissant d'une simulation, il existe inévitablement une marge d'erreur qui s'applique sur les coefficients « a » et « b ». Cette variation a été calculée statistiquement et se traduit par une valeur « d'erreur type » qui peut se schématiser sous la forme graphique ci-après.



La formule de calcul finale obtenue sera de la forme suivante :

$$Y = a (+ \text{ou } - \text{ erreur-type sur } a).X + b (+\text{ou } - \text{ erreur-type sur } b)$$

Avec Y = prix et X = valeur de l'indicateur technique

L'objectif est de déterminer, pour une valeur donnée de l'indicateur, une **fourchette de coûts** la plus proche de la réalité possible, tout en laissant une marge d'erreur suffisante.

Afin d'obtenir une telle fourchette, on se place donc dans les deux cas les plus extrêmes :

Estimation basse : $Y = (a - \text{erreur-type sur } a).X + (b - \text{erreur type sur } b)$

Estimation haute : $Y = (a + \text{erreur-type sur } a).X + (b + \text{erreur type sur } b)$

II. Les opérations en eau potable

A. Les enjeux liés à l'eau potable en Seine-et-Marne

Les réseaux d'eau potable et les différents organes qui les constituent (captage, réservoirs, canalisations et objets de régulation) sont un patrimoine communal qu'il convient d'entretenir. En effet, les réseaux ont pour majorité été posés dans les années 70, et atteignent de fait leur durée de vie. Les réseaux doivent souvent être diagnostiqués afin de déterminer les principales causes de dysfonctionnement et ainsi améliorer leur rendement. Les réservoirs d'eau potable doivent également faire l'objet de réhabilitation.

De plus, la qualité de l'eau captée pouvant se dégrader sur des paramètres tels que les nitrates ou les pesticides, les collectivités doivent mettre en place des solutions pour rendre l'eau distribuée conforme : construire des unités de traitement ou encore changer de ressource en s'interconnectant avec d'autres communes environnantes.

Enfin, la procédure de protection des captages d'eau potable est une obligation réglementaire depuis la Loi sur l'Eau du 3 janvier 1992, qui fixe la mise en place de périmètres de protection sur les points de prélèvements destinés à l'eau potable, avec des dispositions afin de protéger la ressource de pollutions accidentelles.

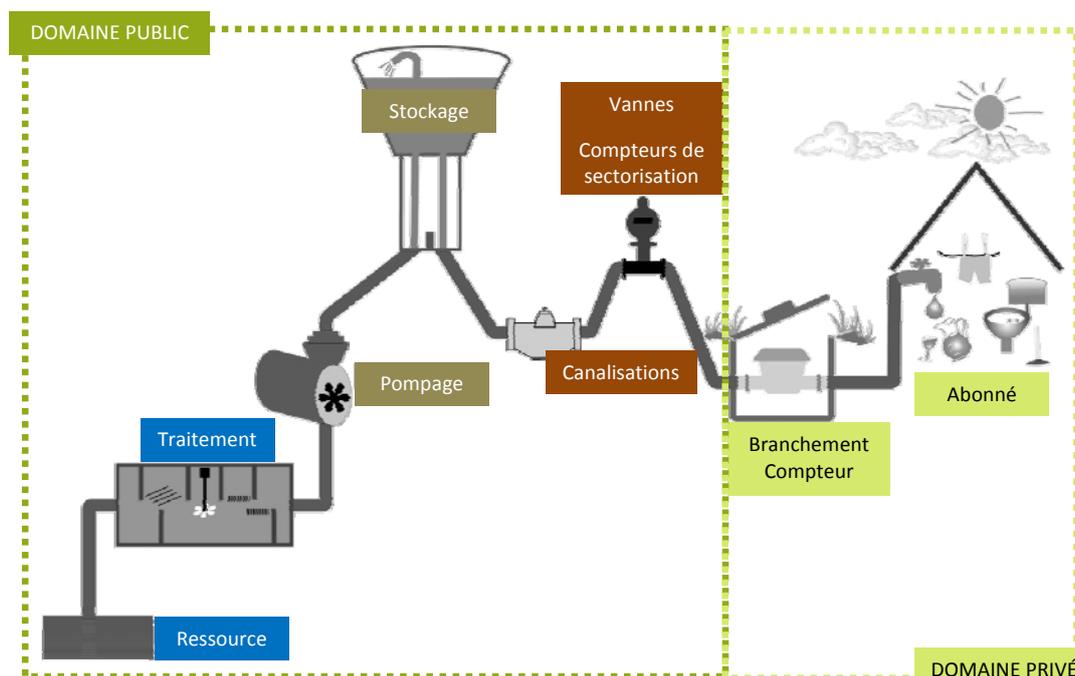
L'ensemble de ces opérations entraînent des coûts importants, en partie financés par les recettes générées par la facturation de l'eau, mais également par les subventions apportées par les financeurs publics. Cependant les coûts restants à la charge des collectivités sont souvent très importants, suivant les opérations mises en œuvre, et les collectivités doivent faire face à des problématiques de financements dans la thématique de l'eau potable.

L'anticipation de ces coûts passe par des enveloppes prévisionnelles à intégrer dans les budgets des collectivités.

B. Interconnexion de réseaux d'eau potable

1) Description

Le réseau d'eau potable d'une collectivité est en général construit selon le schéma suivant :



Afin d'assurer la sécurisation de l'alimentation en eau potable tant d'un point de vue quantitatif (dans le cas d'une rupture d'approvisionnement) que d'un point de vue qualitatif (dans le cas d'une dégradation de la qualité de la ressource), la collectivité peut faire le choix d'interconnecter son réseau avec celui d'une collectivité voisine, selon des critères techniques et financiers.

Une interconnexion comprend notamment la pose de canalisations reliant deux portions de réseaux indépendants, mais également la pose de surpression ou la remise en service de réservoir. Dans le cas présent, seule la partie pose de canalisation a été étudiée, dans un souci de cohérence et afin d'homogénéiser autant que possible les données à disposition. En effet, la mise en place de surpression ou encore de stockage diffère selon les cas (topologie, réservoir déjà existant ou à réhabiliter, ...)

Les opérations d'interconnexion financées par le Département comprennent une partie « Etudes » qui permet d'établir un projet cohérent de raccordement de réseau et une partie « Travaux » qui sont détaillées dans le schéma suivant :

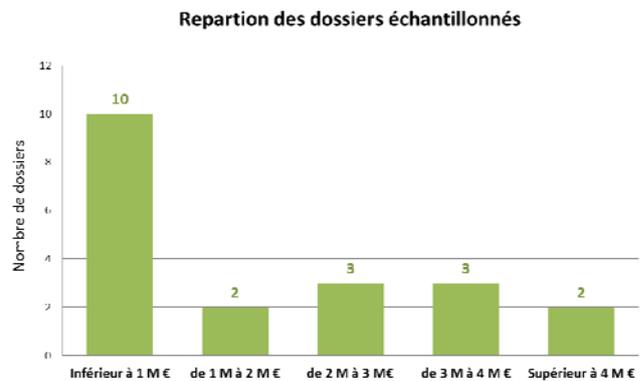
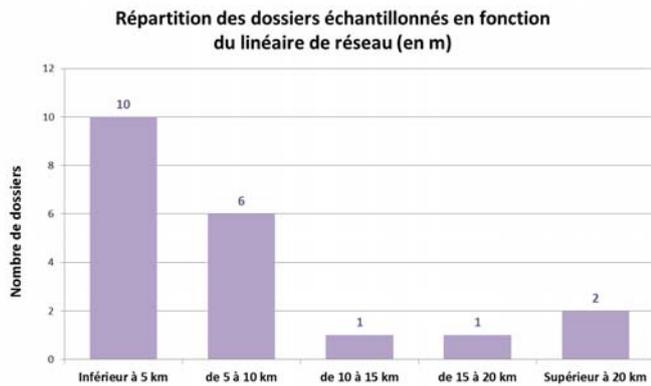


2) Critique de l'analyse

a) Présentation de l'échantillon

Échantillon	Nombre de dossiers examinés	25
	Nombre de dossiers retenus	20
	Taux de refus	20 %
Indicateur technique	Indicateur	Longueur de réseau en m
	Indicateur : valeur minimum	450
	Indicateur : valeur maximum	66 573
Coût opération	Montant mini	143 546 €
	Montant maxi	15 269 241 €
	Médiane ¹	913 695 €
	Moyenne	2 319 788 €

¹ La **médiane** d'un ensemble de valeurs est une valeur m qui permet de couper l'ensemble des valeurs en deux parties égales la moitié des valeurs sont toutes inférieures ou égales à m et l'autre moitié des valeurs sont toutes supérieures ou égales à m



L'échantillon comprend 20 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. La plage des données s'étend de 2006 à 2015. Les montants des interconnexions de réseaux sont compris entre 143 546 euros HT et 15 269 241 euros HT.

La longueur de réseau AEP posée a été identifiée comme indicateur technique principal, variable influençant le coût global d'opération. En effet, si d'autres paramètres comme le diamètre ou le type de matériau des canalisations peuvent intervenir, il a été constaté que c'est le linéaire posé qui aura le plus grand impact sur les coûts engendrés. De plus, de par la distribution du nombre de dossiers en fonction soit des coûts, soit du linéaire de réseau, les tendances sont relativement proches. Il semble donc qu'il y ait une certaine cohérence entre l'indicateur technique choisi et les coûts observés, les variations pouvant être expliquées par le fait que d'autres variables (dans la pose de canalisation) peuvent entrer en ligne de compte pour expliquer les coûts des interconnexions de réseau.

On constate que la médiane est éloignée de la moyenne, ce qui indique qu'une ou plusieurs valeurs particulières tirent la moyenne vers le haut.

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 2,5 dossiers/an. Le linéaire moyen posé dans les dossiers étudiés est de 8 945 m.

b) Critique des données

Les limites de l'indicateur sont les suivantes :

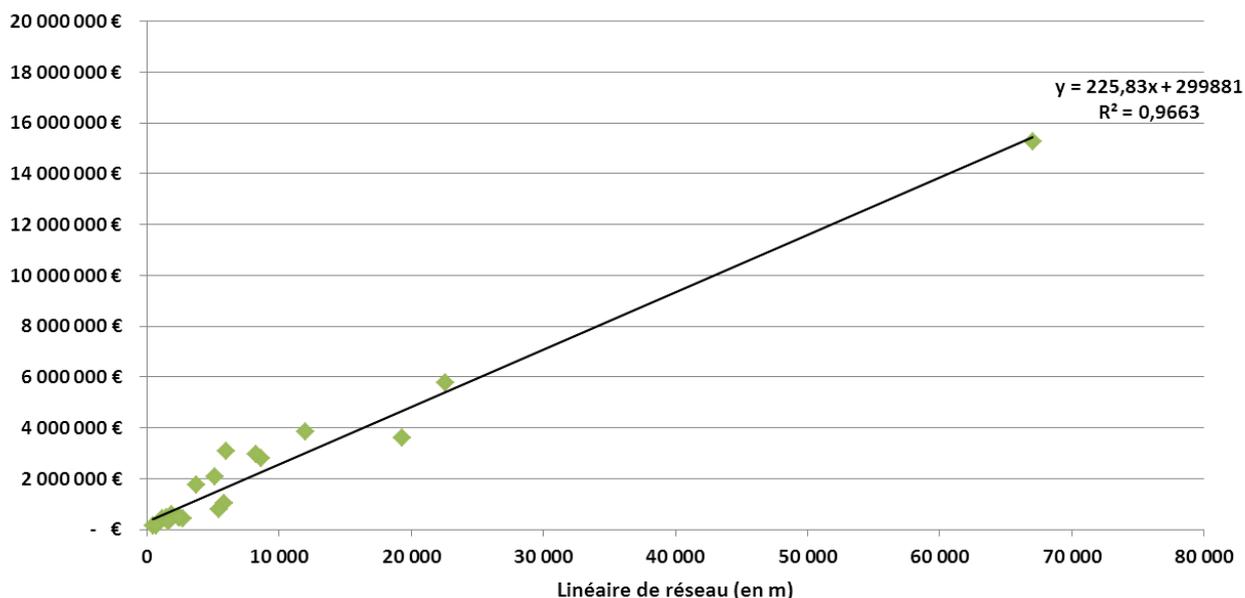
- Comme indiqué au paragraphe précédent, plusieurs paramètres peuvent entrer en ligne de compte. Cela peut s'expliquer par la nature des travaux mis en œuvre. En effet, si, dans la mesure du possible, seuls les coûts de travaux de pose de canalisations ont été retenus dans l'étude, ces travaux peuvent également être hétérogènes en fonction du contexte de pose (diamètre et matériau des canalisations, traversées de rivières ou de routes qui peuvent engendrer des surcoûts importants).
- De plus, par le choix de l'échantillonnage de ne conserver que les travaux de pose de canalisation, la simulation du coût d'une interconnexion de réseau sera ici partielle, car elle ne prendra pas en compte la mise en place de suppression ou encore la mise en service de stockage complémentaire si nécessaire.

Sur cette opération, 20 dossiers sur les 25 recueillis ont été retenus pour former l'échantillon. Le taux de refus est donc de 20 %.

La plage de validité est bornée par les valeurs suivantes : de 450 m à 67 km. Au-delà de ces valeurs, la fiabilité de la formule n'est plus assurée.

c) Résultats obtenus et fiabilité

**Coûts d'investissements des interconnexions de réseau d'eau potable
en fonction du linéaire de réseau (en m)**



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 299 881 euros HT représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une opération d'interconnexion de réseau (installation de chantier, études préparatoires...)

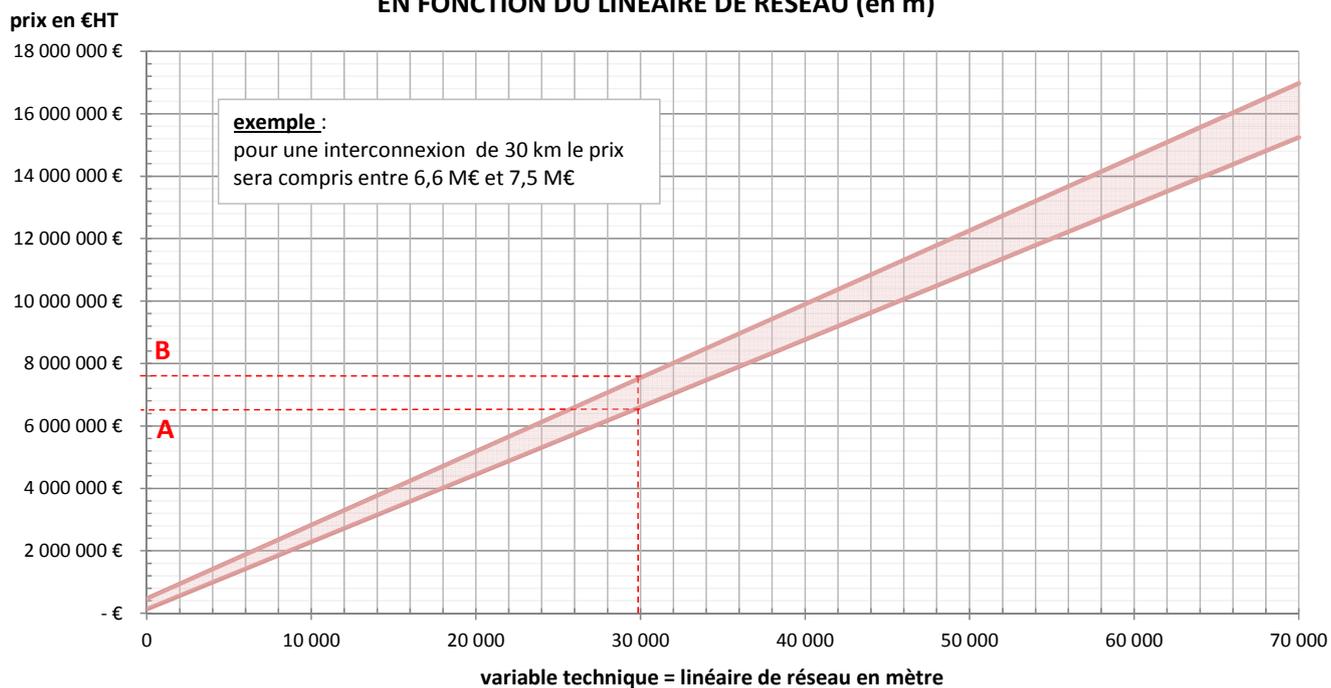
On obtient un coefficient de corrélation R^2 de 0,97, ce qui est très satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une interconnexion de réseau, tout en prenant les précautions nécessaires quand le linéaire de réseau est supérieur à 67 km (borne supérieure de la plage de validité).

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = 225,8 (+ ou - 9,9) x linéaire de réseau + 299 881 (+ ou - 169 697)
Formule estimation haute	(225,8 + 9,9) x linéaire de réseau + (299 881 + 169 697)
Formule estimation basse	(225,8 - 9,9) x linéaire de réseau + (299 881 - 169 697)
Variable technique	Linéaire de réseau (en mètre linéaire)
Taux de fiabilité	80 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 450 à 67 000 (m)

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT D'UNE INTERCONNEXION AEP EN FONCTION DU LINÉAIRE DE RÉSEAU (en m)



A titre d'exemple, pour une interconnexion de réseau de 30 000 m, le coût serait compris entre 6 610 000 euros HT et 7 540 000 euros HT.

Rentrer le linéaire de réseau	30 000 mètres		
Estimation haute	7 542 512 €	arrondie à	7 540 000 €
Estimation basse	6 606 856 €	arrondie à	6 610 000 €
Le prix sera compris entre	6 610 000 €	et	7 540 000 €

C. Création d'une usine de traitement des pesticides

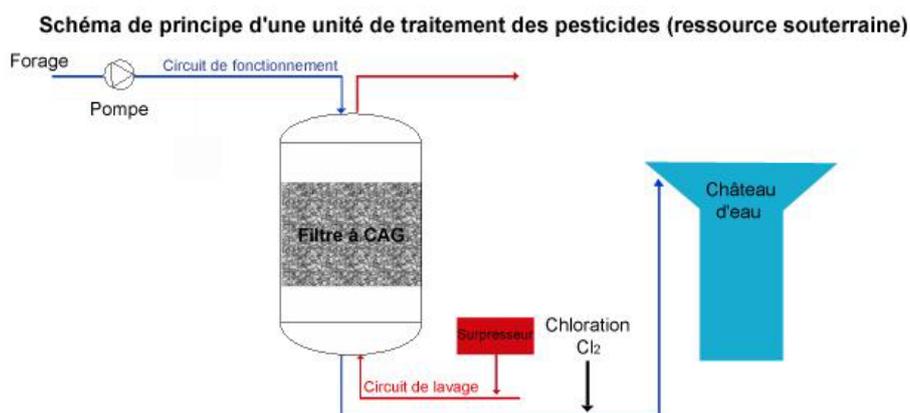
1) Description

En Seine-et-Marne, la pollution par les pesticides est la principale source de non-conformité de l'eau. Les pesticides regroupent de manière générale les insecticides, les fongicides, les herbicides, ou encore les parasitocides. Cette pollution est d'origine anthropique, et nécessite un traitement spécifique lorsque l'eau distribuée ne respecte pas les normes de qualité imposées par les contrôles sanitaires (0,1 µg /litre par pesticides).

Les techniques d'élimination des pesticides pour l'eau potable sont des traitements spécifiques comme **l'adsorption sur charbon actif** ou **la filtration membranaire**. En effet, les pesticides étant solubles dans l'eau, les procédés classiques de traitement de l'eau comme la clarification, la filtration sur sable ou la désinfection sont inefficaces.

La grande capacité d'adsorption des matières organiques et des pesticides par le charbon est liée à sa forte porosité. Afin d'augmenter encore sa microporosité et sa capacité d'adsorption, on l'active par traitement thermique. Le charbon devient alors du Charbon Actif.

➤ **Charbon Actif en Grain (CAG) :** Pour retenir et fixer les pesticides, on utilise, en fin de chaîne de traitement, un filtre cylindrique contenant du Charbon Actif en Grain (dit lit filtrant au CAG)



➤ **Charbon Actif en Poudre (CAP) :** Le Charbon Actif en Poudre est composé de particules de charbon actif très fines. Il est utilisé en injection en amont de la filière de traitement (avant l'étape de clarification) et doit être séparé de l'eau (par décantation/filtration) après avoir adsorbé les pesticides. Ce procédé implique un usage unique du CAP (éliminé avant d'être saturé) et engendre un coût important de fonctionnement.

➤ **Filtration membranaire :** Une seconde technique consiste à filtrer l'eau sur une membrane semi-perméable qui retient les micropolluants dont les pesticides, et laisse passer l'eau. Deux types de techniques, se différenciant par le diamètre des pores des membranes, peuvent être utilisés : la nanofiltration et l'osmose inverse. Ces techniques, peu utilisées car très coûteuses (particulièrement la nanofiltration), peuvent être intéressantes dans le cas d'une eau brute avec plusieurs paramètres à traiter (dureté, pesticides, nitrates,...). En effet, la filtration membranaire n'est pas encore la solution optimale pour un traitement exclusif de ce paramètre.

Les collectivités doivent donc s'équiper de station de traitement des pesticides, afin de distribuer une eau de qualité. Ces stations de traitement peuvent être de différente envergure en fonction du niveau de pollution de l'eau brute.



Filtre à charbon (Usine de Saints)



Résine échangeuse d'ions (Usine de Saints)

Les constructions d'usines de traitements des pesticides financées par le Département comprennent une partie « Etudes » qui permet d'établir un projet cohérent de traitement de l'eau brute en fonction des paramètres de qualité initiaux et du débit d'eau à fournir, et une partie « Travaux » afin de réaliser l'usine, qui sont détaillées dans le schéma suivant :

Coûts opération – Unité de traitement des pesticides

Coûts études

- Assistance au maître d'ouvrage.
- Etudes préliminaires : études de faisabilité, étude de conception
- Etudes topographique
- Etudes géotechniques
- Maîtrise d'œuvre
- Contrôle technique
- Coordination sécurité protection de la santé (SPS)

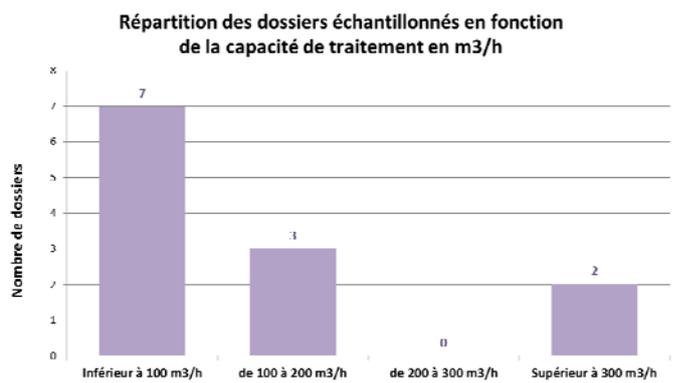
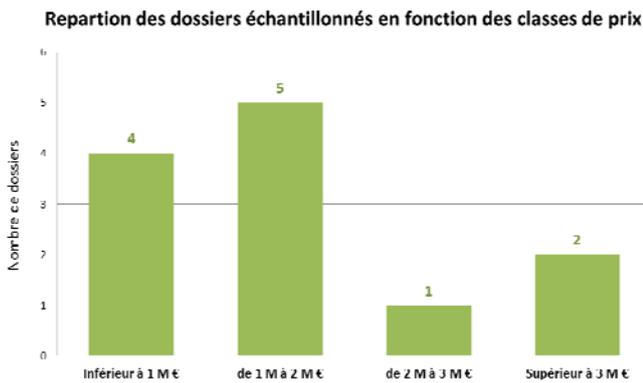
Coûts travaux

- Travaux préparatoires sur la parcelle
- Terrassements
- Construction d'un bâtiment
- Equipement de l'unité de traitement et acheminement de l'eau et de l'électricité
- Supervision
- Divers

2) Critique de l'analyse

a) Présentation de l'échantillon

Échantillon	Nombre de dossiers examinés	13
	Nombre de dossiers retenus	12
	Taux de refus	8 %
Indicateur technique	Indicateur	Capacité de traitement en m ³ /h
	Indicateur : valeur minimum	50
	Indicateur : valeur maximum	550
Coût opération	Montant mini	396 356 €
	Montant maxi	14 668 392 €
	Médiane	1 341 934 €
	Moyenne	3 122 624 €



L'échantillon comprend 12 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. La taille de l'échantillon étant limitée, l'interprétation des données sera donc réalisée avec précaution. La plage des données s'étend de 2006 à 2013. Les montants de la création d'usines de traitement des pesticides sont compris entre 369 356 euros HT et 14 668 392 euros HT.

L'indicateur technique identifié est la capacité de traitement de la station en m³/h, c'est-à-dire le débit que la station est en mesure de traiter en fonctionnement normal. Au vu de la complexité de cette opération, à dire d'expert, cet indicateur semble être le plus pertinent dans le cadre de l'étude. En effet, la distribution du nombre de dossiers en fonction soit des coûts, soit de la capacité de traitement montre des tendances qui ne sont pas complètement similaires quoiqu'assez semblables. Il semble donc qu'il y ait une certaine cohérence entre l'indicateur technique choisi et les coûts observés. Les variations peuvent être expliquées par le fait que d'autres variables peuvent entrer en ligne de compte pour expliquer les coûts de la création d'une usine de traitement. De plus la taille de l'échantillon ne permet pas d'arrêter une interprétation définitive.

On constate que la médiane est relativement éloignée de la moyenne, ce qui indique qu'une ou plusieurs valeurs particulières tirent la moyenne vers le haut.

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 1,7 dossier/an. La capacité de traitement moyenne constatée dans les dossiers étudiés est de 168 m³/h.

b) Critique des données

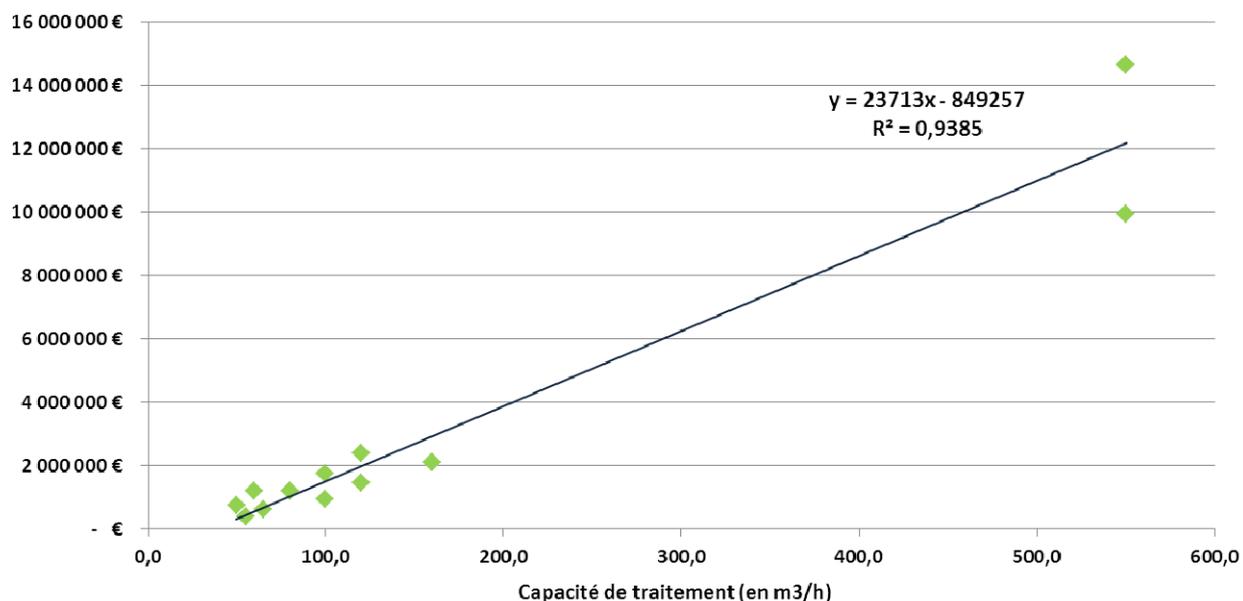
Il existe des limites à cet indicateur qui peuvent influencer les résultats de l'analyse statistique. En effet, comme indiqué au paragraphe précédent, plusieurs paramètres peuvent entrer en ligne de compte pour expliquer les coûts de mise en place d'une usine de traitement, notamment la charge en pesticides. En effet, si le volume d'eau traité par l'unité de traitement est important, la qualité de l'eau brute à traiter influence également les caractéristiques de l'usine. Le calcul des incertitudes en tient compte, ce qui réduit d'autant plus la précision et augmentera la taille de l'enveloppe de prix au final.

Sur cette opération, 12 dossiers sur les 13 recueillis ont été retenus pour former l'échantillon. Le taux de refus est donc de 8 %.

La plage de validité est bornée par les valeurs suivantes : de 60 m³/h à 550 m³/h. Au-delà de ces valeurs, la fiabilité de la formule n'est plus assurée.

c) Résultats obtenus et fiabilité

Coûts d'investissements des usines de traitement des pesticides en fonction de la capacité de traitement de l'usine (en m³/h)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient un coefficient de corrélation R^2 de 0,94, ce qui est très satisfaisant mais l'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, est négative avec une valeur de - 849 257 euros HT. Ceci indique qu'en deçà d'une certaine valeur de capacité de traitement, le modèle construit n'est pas pertinent pour estimer les coûts de construction de l'usine. En effet, d'après les données à disposition, en dessous de 60 m³/h, le prix sera systématiquement au maximum évalué par le modèle. Il est difficile de linéariser les coûts de construction de l'usine, car il y a un effet seuil, du fait de la taille de la cuve de traitement, qui traite des plages de volume.

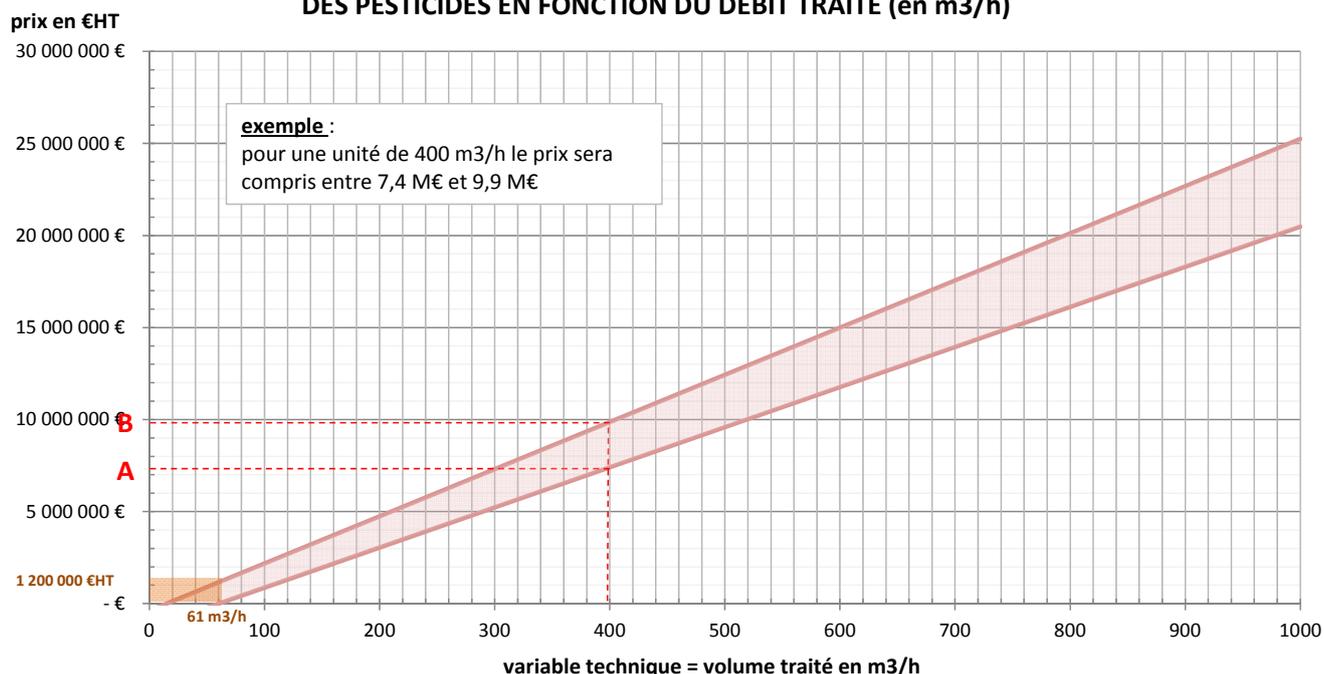
Le modèle construit est donc à utiliser avec beaucoup de précautions, car au vu de la taille de l'échantillon et des données à disposition, le modèle ne peut pas être plus affiné.

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique =
	$23\ 713 (+ \text{ou} - 1\ 920) \times \text{capacité de traitement} - 849\ 257 (+ \text{ou} - 463\ 462)$
Formule estimation haute	$(23\ 713 + 1\ 920) \times \text{capacité de traitement} - (849\ 257 + 463\ 462)$
Formule estimation basse	$(23\ 713 - 1\ 920) \times \text{capacité de traitement} - (849\ 257 - 463\ 462)$
Variable technique	Capacité de traitement (en m ³ /h)
Taux de fiabilité	92 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 60 à 550 (m ³ /h)

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT D'UNE UNITÉ DE TRAITEMENT DES PESTICIDES EN FONCTION DU DÉBIT TRAITÉ (en m³/h)



A titre d'exemple, pour une usine de traitement des pesticides de 400 m³/h, le coût serait compris entre 7 400 000 euros HT et 9 870 000 euros HT.

Rentrer la capacité de traitement	400 m ³ /h		
Estimation haute	9 867 327 €	arrondie à	9 870 000 €
Estimation basse	7 404 337 €	arrondie à	7 400 000 €
Le prix sera compris entre	7 400 000 €	et	9 870 000 €

D. La réhabilitation des réservoirs d'eau potable

1) Description

Les réservoirs d'eau potable doivent assurer l'autonomie hydraulique du service, en remplissant une double fonction :

- assurer un stockage d'eau suffisant afin de pouvoir assurer un approvisionnement en eau continu, même lors d'interventions sur le réseau. Ils permettent la régulation entre la production d'eau et la demande des habitants (demande moyenne ou de pointe, lorsque les consommations sont les plus fortes).
- mettre sous pression les canalisations du réseau afin de fournir une alimentation gravitaire auprès des habitants, à une pression satisfaisante pour une utilisation normale au robinet. Pour ce faire, les réservoirs au sol ou enterrés sont situés sur des points haut géographiques et les châteaux d'eau sont construits pour créer une différence artificielle du niveau d'eau.

Il existe plusieurs types de réservoir : les réservoirs sur tour ou château d'eau, les réservoirs au sol et les réservoirs enterrés.



Réservoirs sur tour : réservoir de Tousson et de Boissy-aux-Cailles et bache au sol (à droite): réservoir de Paroy

Comme toute infrastructure, les ouvrages de stockage ont une durée de vie limitée, et doivent subir des réhabilitations plus ou moins poussées afin de conserver un stockage de l'eau dans les meilleures conditions de maintien de qualité.

Ces travaux de réhabilitation sont divers : étanchéité intérieure des cuves, étanchéité externe du réservoir, reprise du ferrailage, consolidation de structures, renouvellement des équipements de pompage et tuyauterie, réfection du revêtement intérieur en contact avec l'eau potable...

Les réhabilitations de réservoir financées par le Département comprennent une partie « Etudes » qui permet notamment d'établir un diagnostic précis des interventions nécessaires sur le réservoir, et une partie « Travaux », qui sont détaillées dans le schéma suivant :

Coûts opération – Réhabilitation d'un réservoir

Coûts études

- Assistance au maître d'ouvrage.
- Diagnostic du réservoir : (reconnaissance géométrique, reconnaissance des éléments structurels ainsi que des rebouchages, connaissance des caractéristiques des bétons ou des aciers, leur état de corrosion, type et âge du compteur et surpresseur...)
- Maîtrise d'œuvre
- Frais de publicité
- Contrôle technique
- Coordination sécurité protection de la santé (SPS)

Coûts travaux

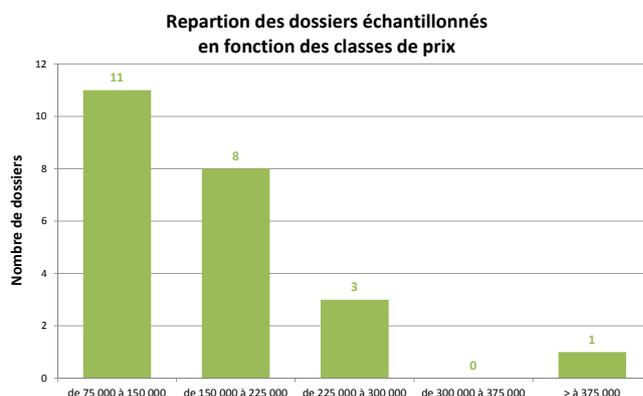
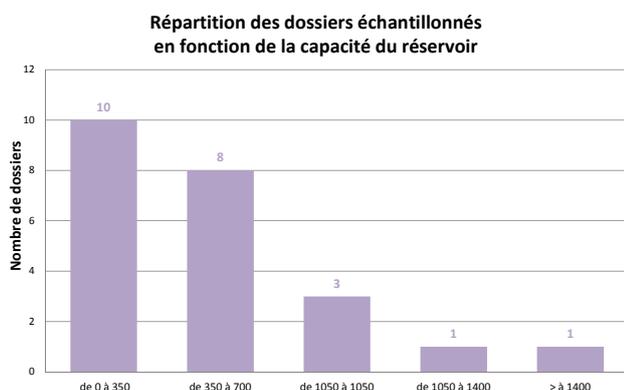
Selon les résultats des études préalables :

- Renforcement de la structure
- Entretien ou le remplacement de certains équipements
- Etanchéité intérieure/extérieure de la cuve
- Travaux sur la ventilation du réservoir
- Remise en état des voies circulées,
- Signalétique sécurité...

2) Critique de l'analyse

a) Présentation de l'échantillon

Échantillon	Nombre de dossiers examinés	32
	Nombre de dossiers retenus	23
	Taux de refus	28 %
Indicateur technique	Indicateur	Capacité du réservoir en m ³
	Indicateur : valeur minimum	60
	Indicateur : valeur maximum	1 500
Coût opération	Montant mini	101 686 €
	Montant maxi	396 512 €
	Médiane	150 449 €
	Moyenne	176 686 €



L'échantillon comprend 23 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. La plage des données s'étend de 2006 à 2015.

Les montants des réhabilitations de réservoirs sont compris entre 101 686 euros HT et 369 512 euros HT.

La capacité du réservoir en m³ a été identifiée comme l'indicateur principal influençant le coût global d'opération. En effet, l'étendue des travaux augmente avec la capacité (ou volume) du réservoir. Plus le réservoir est grand, plus les surfaces à traiter et les quantités de matériaux à mettre en œuvre sont importantes. Ainsi, plus la capacité du réservoir est grande, plus le coût est élevé. De plus, de par la distribution du nombre de dossiers en fonction soit des coûts, soit de la capacité des réservoirs, les tendances sont très proches. Il semble donc qu'il y ait une bonne cohérence entre l'indicateur technique choisi et les coûts observés.

On constate que la médiane est relativement proche de la moyenne, ce qui indique que la répartition des montants est globalement symétrique autour de la valeur moyenne, mais une des valeurs particulières tire toutefois la moyenne vers le haut.

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 2,3 dossiers/an. La capacité moyenne des réservoirs étudiés est de 477 m³.

b) Critique des données

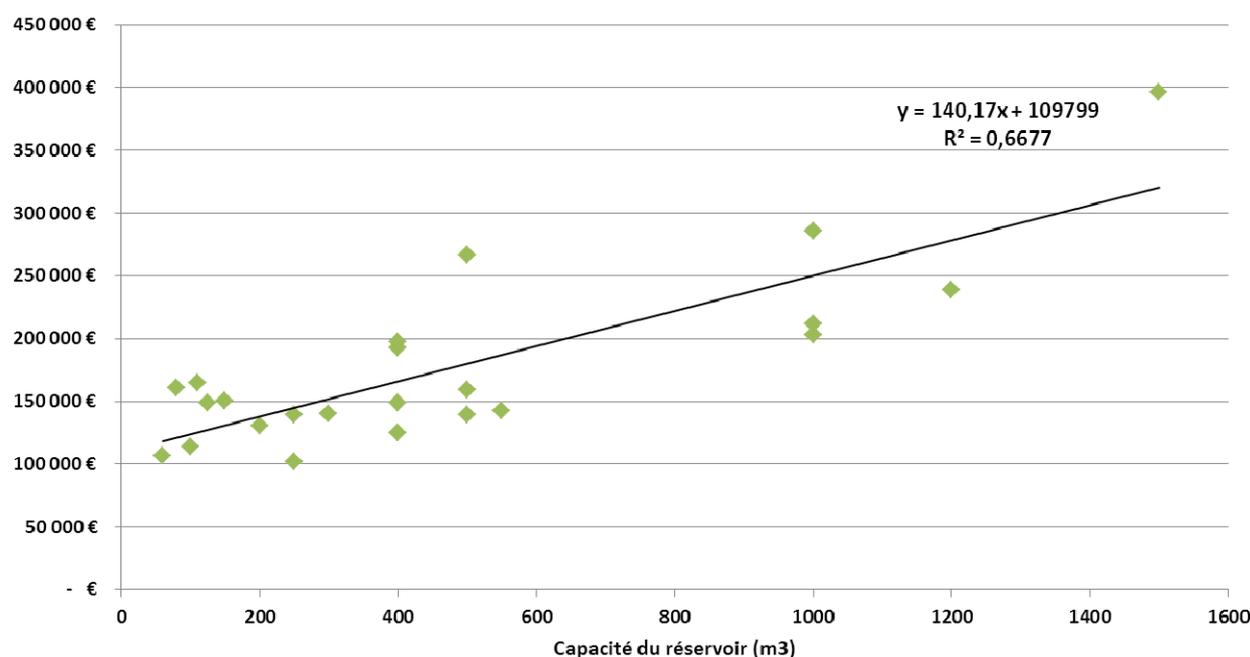
Il existe des limites à cet indicateur qui peuvent influencer les résultats de l'analyse statistique. En effet, les opérations de réhabilitations de réservoirs d'eau potable sont très variables, en fonction du niveau de dégradation de l'ouvrage, et du type de travaux préconisés. En effet, un réservoir de grande capacité ayant une étanchéité seule à refaire engendrera un programme de travaux moins coûteux qu'un réservoir de plus petite capacité mais qui devra mettre en œuvre des travaux sur les structures internes de l'ouvrage. Toutefois, l'analyse statistique et plus précisément le calcul de l'erreur type permettra d'intégrer ces autres variables dans l'écart défini par la fourchette du coût estimé.

Sur cette opération, 23 dossiers sur les 32 recueillis ont été retenus pour former l'échantillon. Le taux de refus est donc de 26 %.

La plage de validité est bornée par les valeurs suivantes : de 60 à 1 500 m³. Au-delà de ces valeurs, la fiabilité de la formule n'est plus assurée.

c) Résultats obtenus et fiabilité

Coûts de réhabilitation des réservoirs en fonction de leur capacité (en m3)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 109 799 euros HT représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une opération de réhabilitation de réservoir (missions SPS, assistance à maîtrise d'ouvrage, installation de chantier ...).

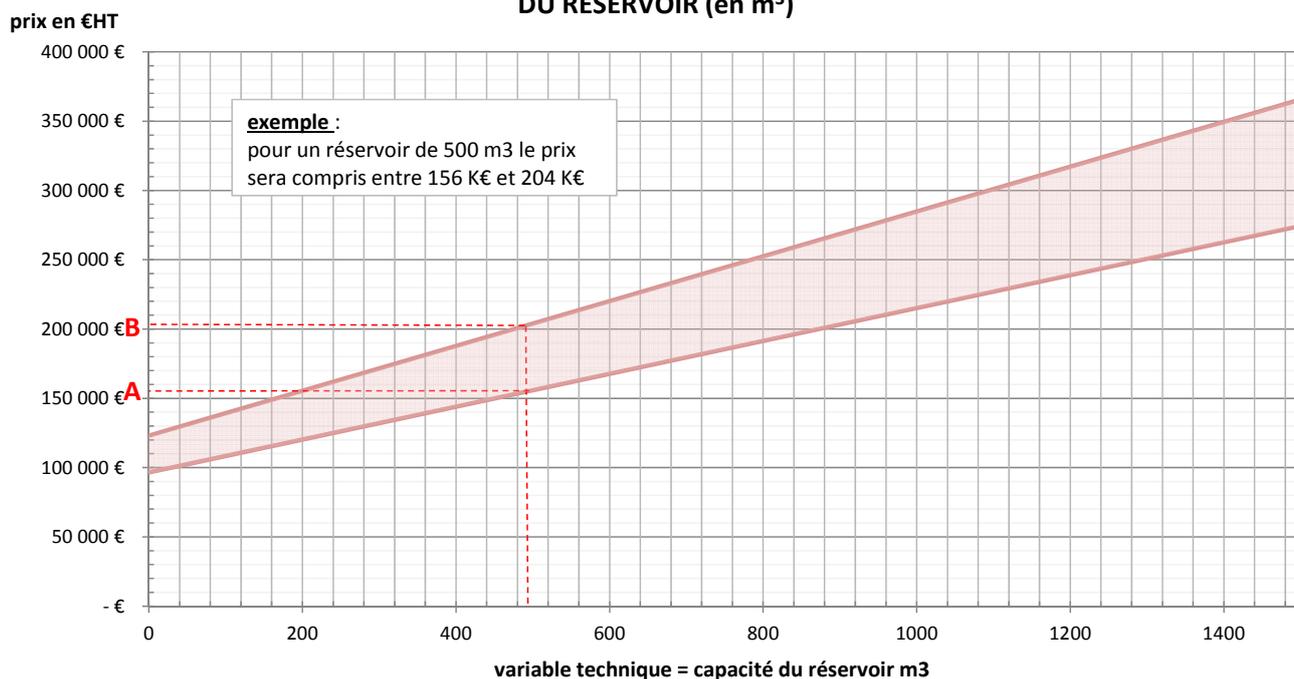
On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,67, ce qui est relativement satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une réhabilitation de réservoir, tout en prenant les précautions nécessaires quand la capacité du réservoir est supérieure à 1 500 m³ (borne supérieure de la plage de validité).

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = 140,2 (+ ou - 21,5) x capacité du réservoir + 109 798 (+ ou - 13 276)
Formule estimation haute	(140,2 + 21,5) x capacité du réservoir + (109 798 + 13 276)
Formule estimation basse	(140,2 - 21,5) x capacité du réservoir + (109 798 - 13 276)
Variable technique	Capacité du réservoir (m ³)
Taux de fiabilité	74 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 60 à 1 500 (m ³)

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT D'UNE RÉHABILITATION DE RÉSERVOIR EN FONCTION DE LA CAPACITÉ DU RÉSERVOIR (en m³)



A titre d'exemple, pour une réhabilitation d'un réservoir de 500 m³, le coût serait compris entre 156 000 euros HT et 204 000 euros HT.

Rentrer la capacité du réservoir		500	m ³
Estimation haute	203 951 €	arrondie à	204 000 €
Estimation basse	155 821 €	arrondie à	156 000 €
Le prix sera compris entre	156 000 €	et	204 000 €

E. Les diagnostics de réseaux d'eau potable comprenant une sectorisation

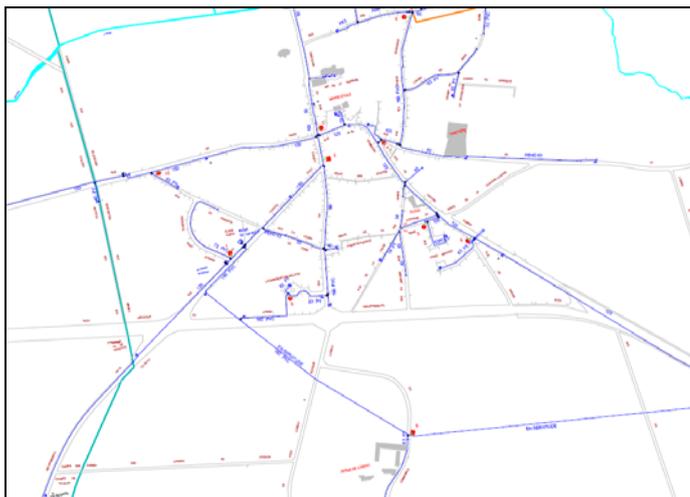
1) Description

La gestion patrimoniale des réseaux permet de prévoir et d'organiser de façon pragmatique toutes les opérations d'entretien et de renouvellement nécessaires au bon fonctionnement du service d'alimentation en eau potable. En effet, le patrimoine AEP, comme toute infrastructure, doit être entretenu et au terme de sa durée de vie, remplacé.

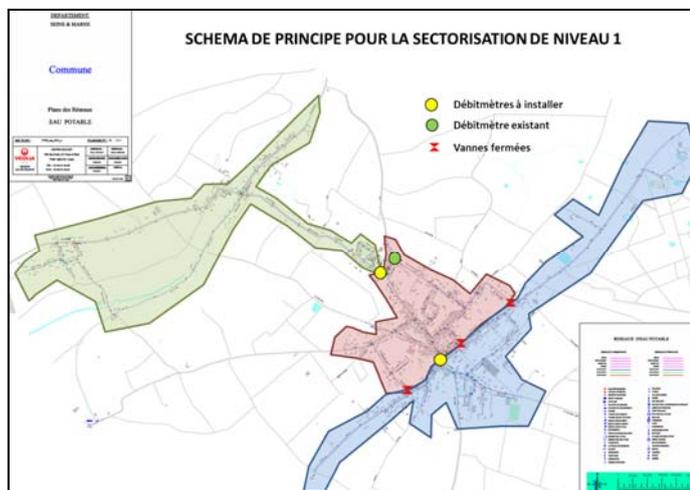
La première étape de cette gestion patrimoniale est la connaissance approfondie de la structure du réseau AEP et des éventuels dysfonctionnements associés (rendement et ILP insuffisants dus à des fuites importantes et récurrentes, problème de pression chez certains abonnés, rupture d'alimentation, etc...).

Un diagnostic de réseau permet de rassembler l'ensemble des informations nécessaire à sa gestion. Il contient en général les éléments suivants :

- **Un audit global du réseau** : il comprend la réalisation de plans détaillés et d'un synoptique des réseaux (canalisations, ouvrages et objets constitutifs), une analyse patrimoniale qui permet de faire le point sur l'état du patrimoine réseau (fonctionnement du réseau, volume de stockage, historique des incidents, ...) et enfin une analyse des consommations qui permet de faire le bilan entre les besoins de la commune et les ressources disponibles, de recenser les usages de l'eau et d'étudier le détail de la tarification en vigueur sur la commune.



- Un **bilan hydraulique associé à une recherche de fuite** : le bilan hydraulique permet d'équiper le réseau afin d'assurer sa surveillance par secteur et de le modéliser avec des données de terrain, afin de repérer les dysfonctionnements qui peuvent se produire (problèmes de pressions, capacité de stockage selon les situations de consommation moyenne ou de pointe, ...) et quantifier les fuites sur réseau. Les équipements installés permettent de mettre en place des campagnes de recherche de fuite et d'assurer des interventions plus ciblées et plus rapides sur le réseau.



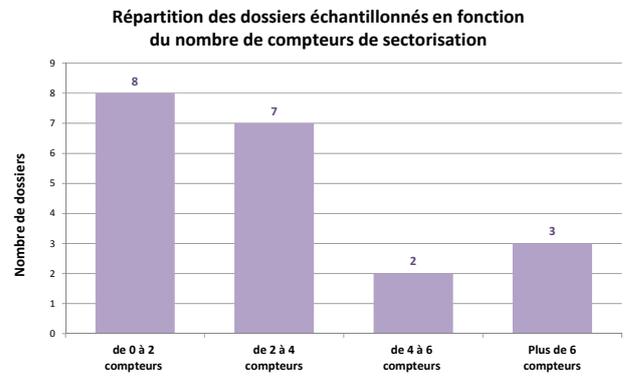
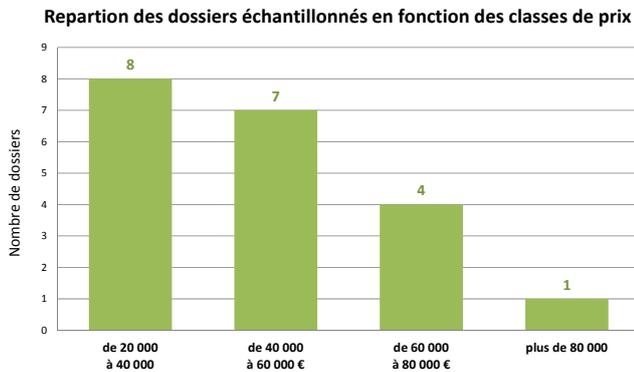
- La **mise en place d'un programme d'actions** : synthétisant toutes les données récoltées sur le réseau d'alimentation en eau potable, le programme d'action permet de proposer une programmation des différentes opérations permettant d'améliorer le rendement du réseau. Le programme d'action fait également un bilan financier des différents investissements à prévoir et comment la collectivité peut les impacter sur son budget.

Les études de diagnostic des réseaux sont réalisées par des bureaux d'études spécialisés.

2) Critique de l'analyse

a) Présentation de l'échantillon

Échantillon	Nombre de dossiers examinés	20
	Nombre de dossiers retenus	20
	Taux de refus	0%
Indicateur technique	Indicateur	Nombre de compteurs de sectorisation
	Indicateur : valeur minimum	0
	Indicateur : valeur maximum	9
Coût opération	Montant mini	25 917 €
	Montant maxi	90 938 €
	Médiane	43 548 €
	Moyenne	47 585 €



L'échantillon comprend 20 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. La plage des données s'étend de 2009 à 2015.

Les montants des diagnostics de réseaux sont compris entre 25 917 euros HT et 90 938 euros HT.

Le nombre de compteurs de sectorisation a été identifié comme indicateur, variable influençant le coût global d'opération. En effet, le poste de dépense le plus important pour ce type d'étude reste la fourniture et la pose du compteur de sectorisation (pose d'une chambre de comptage, d'un regard de visite, et fourniture du compteur à tête émettrice). Ainsi, plus l'étude intègre un nombre important de compteurs, plus le coût est élevé. De plus, de par la distribution du nombre de dossiers en fonction soit des coûts, soit du nombre de compteurs, les tendances semblent identiques. Il semblerait donc qu'il y ait une certaine cohérence entre l'indicateur technique choisi et les coûts observés.

On constate que la médiane est assez proche de la moyenne, ce qui indique que la répartition des montants est relativement symétrique autour de la valeur moyenne (pas de montants particuliers qui pourrait « tirer » la moyenne vers le haut ou vers le bas).

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 2,9 dossiers/an. Le nombre moyen de compteurs posés lors d'un diagnostic de réseau est de 3,5.

b) Critique des données

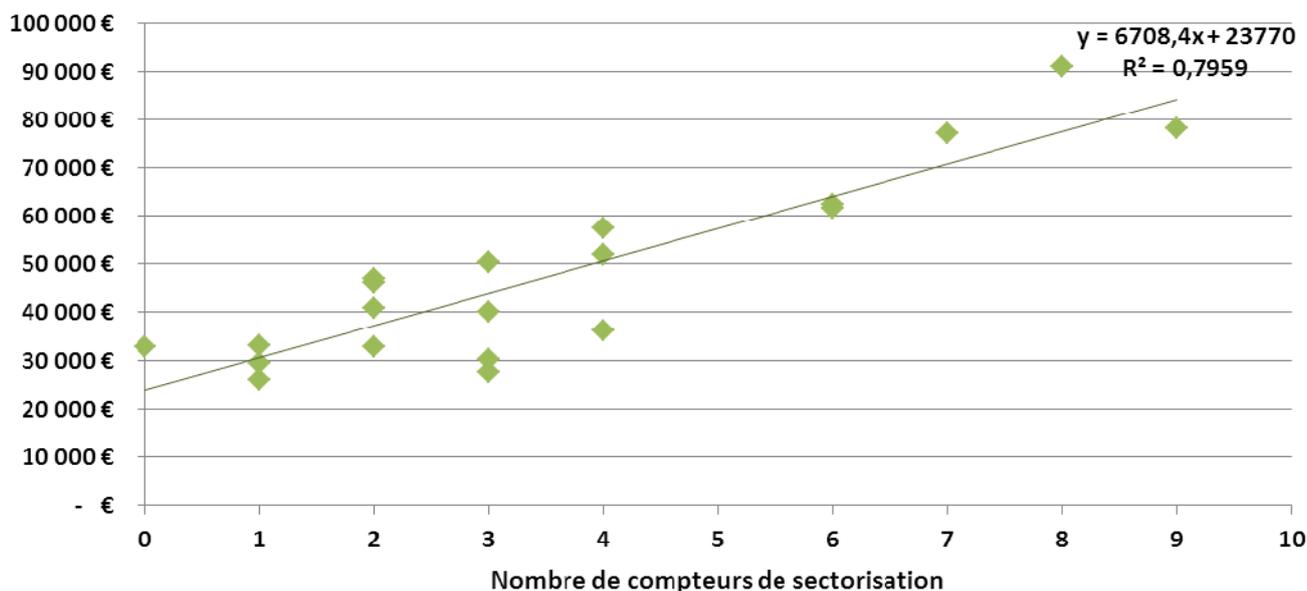
Il existe des limites à cet indicateur qui peuvent influencer les résultats de l'analyse statistique. En effet, d'autres variables influencent le coût de l'étude, notamment l'état des lieux du patrimoine et l'existence ou non d'une cartographie numérisée à jour. Ainsi, le seul paramètre « nombre de compteurs » ne peut expliquer à lui seul le montant de l'étude. Toutefois, l'analyse statistique et plus précisément le calcul de l'erreur type permettra d'intégrer ces autres variables dans l'écart défini par la fourchette du coût estimé.

Sur cette opération, l'ensemble des dossiers recueillis ont été retenus pour former l'échantillon. Le taux de refus est donc de 0 %.

La plage de validité est bornée par les valeurs suivantes : de 0 à 9 compteurs. Au-delà de ces valeurs, la fiabilité de la formule n'est plus assurée.

c) Résultats obtenus et fiabilité

Coûts d'investissement des diagnostics de réseau en fonction du nombre de compteurs de sectorisation



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,79, ce qui est satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une étude de diagnostic de réseau, tout en prenant les précautions nécessaires quand le nombre de compteurs est supérieur à 9 (borne supérieure de la plage de validité).

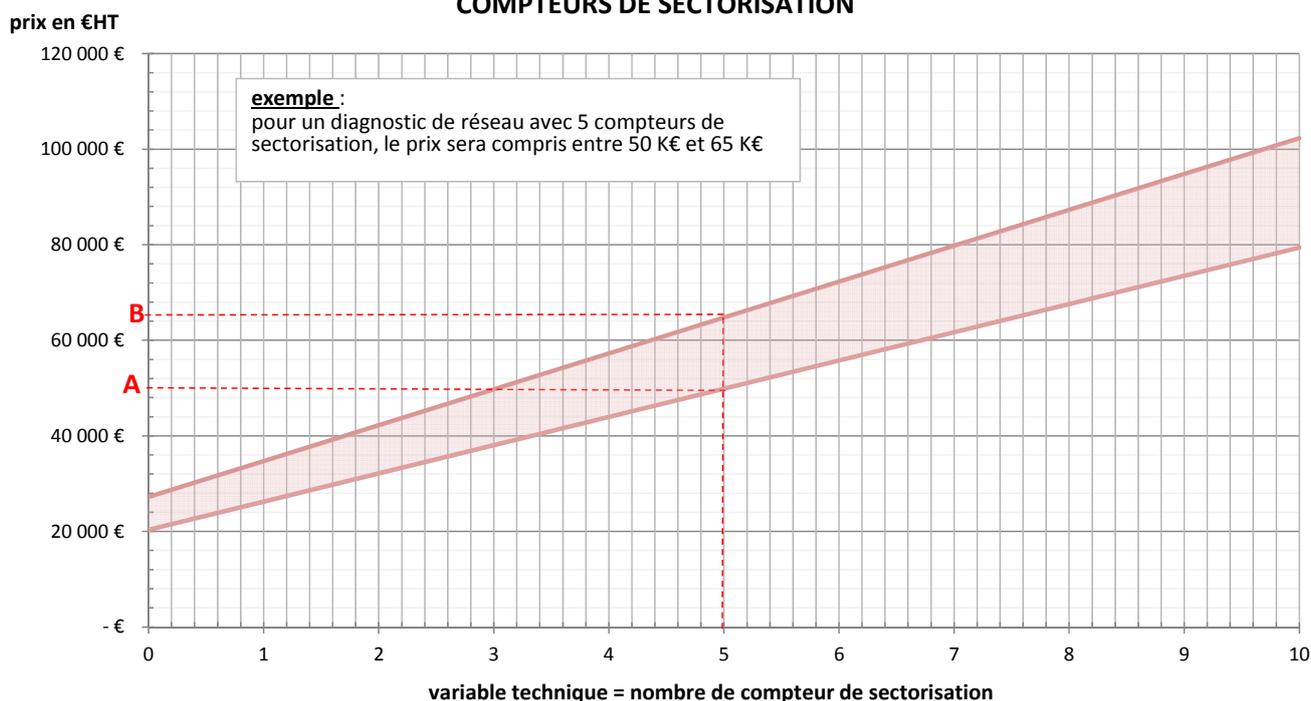
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 23 770 euros HT, représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une opération de diagnostic de réseau (analyse patrimoniale, modélisation, et exploitation de données...).

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = 6 708,4 (+ ou - 800) x nombre de compteurs + 23 770 (+ ou - 3 340)
Formule estimation haute	(6 708,4 + 800) x nombre de compteurs + (23 770 + 3 340)
Formule estimation basse	(6 708,4 - 800) x nombre de compteurs + (23 770 - 3 340)
Variable technique	Nombre de compteurs de sectorisation installé
Taux de fiabilité	100 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 0 à 9 (compteurs)

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT D'UN DIAGNOSTIC DE RÉSEAU EN FONCTION DU NOMBRE DE COMPTEURS DE SECTORISATION



A titre d'exemple, pour une étude de diagnostic de réseau qui comprend la pose de 5 compteurs de sectorisation, le coût serait compris entre 50 000 euros HT et 65 000 euros HT.

Rentrer le nombre de compteurs de sectorisation	5	compteurs
Estimation haute	64 756 €	arrondie à 65 000 €
Estimation basse	49 868 €	arrondie à 50 000 €
Le prix sera compris entre	50 000 €	et 65 000 €

F. Protection des captages

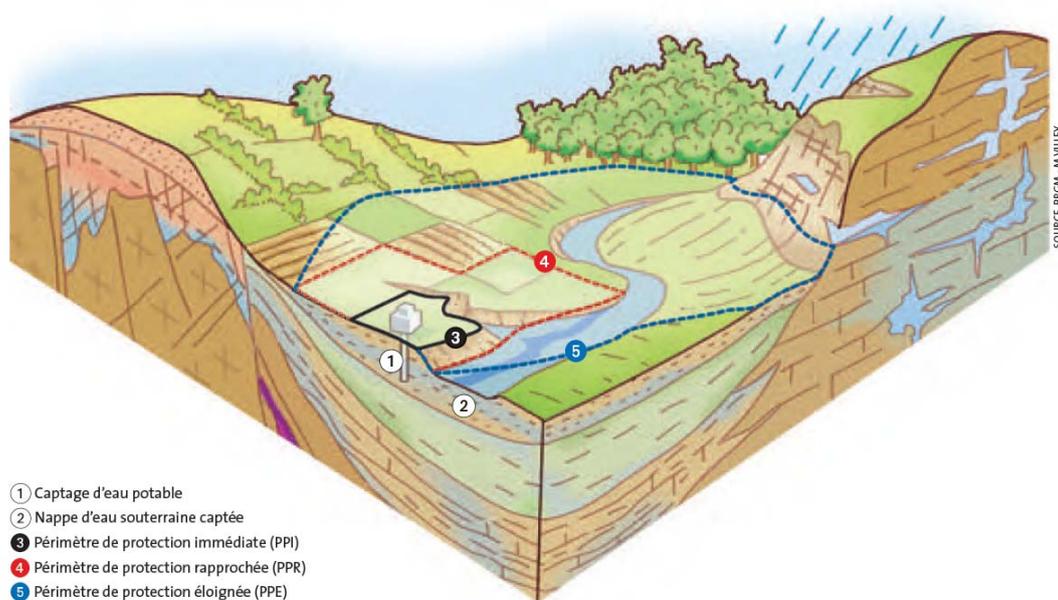
1) Description

Les captages d'eau utilisés pour l'alimentation en eau potable doivent disposer de **périmètres de protection** dont la création, actée par un arrêté préfectoral assorti de prescriptions à mettre en œuvre, fait l'objet d'une procédure spécifique incluant une déclaration d'utilité publique (DUP). Ces prescriptions ont pour objectif principal de protéger les captages de pollutions accidentelles (lors de transport et l'exploitation de matières dangereuses par exemple).

Les périmètres de protection correspondent à un zonage établi autour des captages d'eau potable, qui doit être intégré aux documents d'urbanismes de la commune.

Trois périmètres peuvent être définis pour protéger un captage, les deux premiers étant obligatoires, contrairement au troisième :

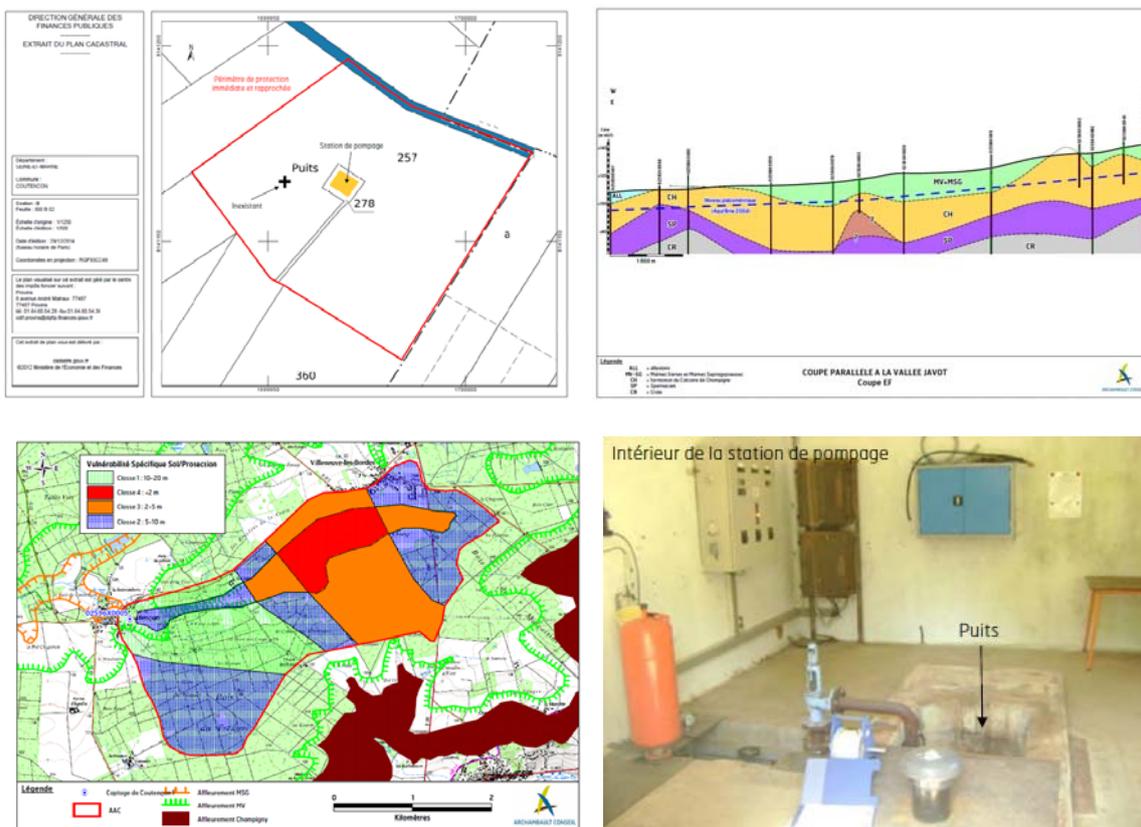
- Le périmètre de protection immédiat
- Le périmètre de protection rapproché
- Le périmètre de protection éloigné



La mise en place de cette procédure se fait en différentes étapes, qui permettent de fournir dans un premier temps l'ensemble des données indispensables à l'hydrogéologue agréé afin qu'il puisse rendre un avis et des prescriptions pour chacun des périmètres. Une consultation administrative est ensuite menée, puis une enquête publique qui aboutit en fin de procédure à la rédaction de l'arrêté préfectoral.

Une des étapes indispensable est la réalisation d'une étude environnementale qui permet de rassembler toutes les données nécessaires à la connaissance du fonctionnement du captage d'eau et des risques présents sur le secteur d'étude : données générales sur le captage (désignation, localisation, historique, fonctionnement, ...); des données sur la qualité de l'eau; le cadre géologique et hydrogéologique qui permettent de comprendre le fonctionnement et la vulnérabilité éventuelle de la nappe et des couches géologiques environnantes; un inventaire des ouvrages environnant le captage qui permettent d'identifier des activités à risques dans le secteur.

Cette étude environnementale est réalisée par des bureaux d'études spécialisés.



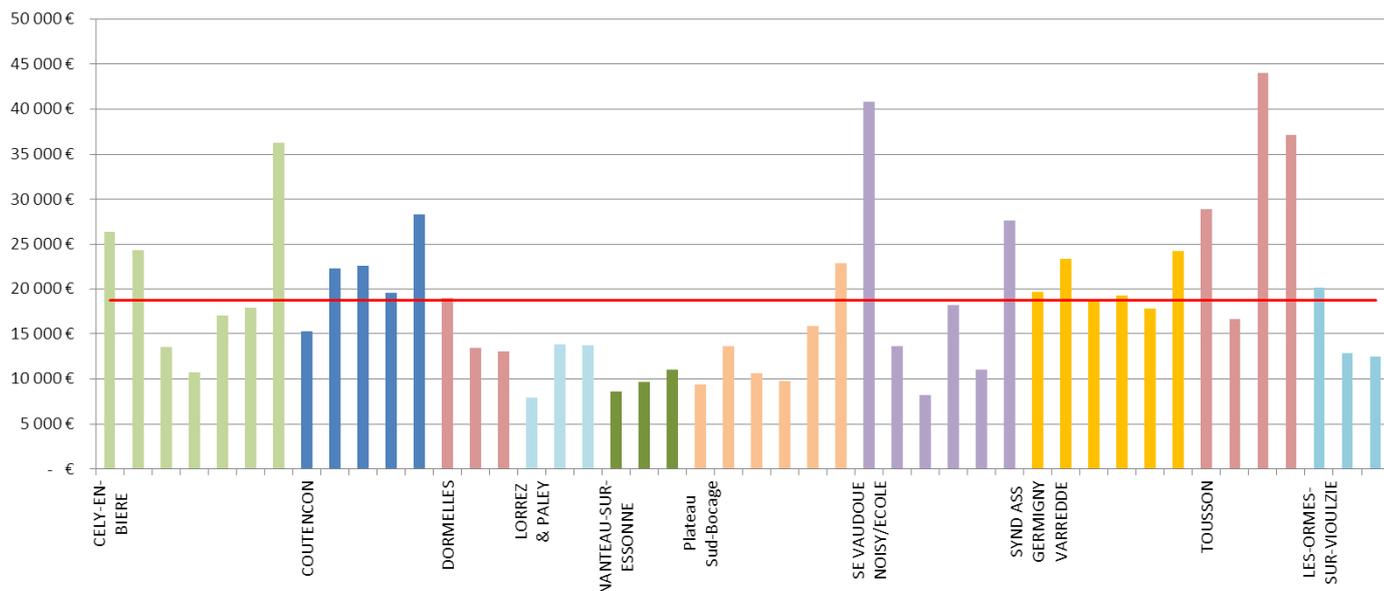
2) Critique de l'analyse

a) Présentation de l'échantillon et critique des données

Échantillon	Nombre de dossiers examinés	46
	Nombre de dossiers retenus	46
	Taux de refus	0%
Coût opération	Montant mini sans actualisation	7 950 €
	Montant maxi sans actualisation	43 983 €
	Médiane	17 400 €
	Moyenne	18 726 €

Les coûts des études environnementales ont beaucoup varié ces dernières années, du fait du positionnement des bureaux d'études spécialisés sur ce type d'opération. En effet, beaucoup de bureaux d'études proposent des prix largement inférieurs ces dernières années à ce qui a pu être observé par le passé, et les variations sont telles que dans certains appels d'offres, des propositions financières sont 3 à 4 fois plus importantes que l'offre retenue. Afin de rester dans une plage de temps réduite et récente, les dossiers des 3 dernières années ont été retenus, et pour obtenir un échantillon le plus représentatif possible, l'ensemble des propositions reçues lors des appels d'offre ont été incluses dans la collecte des données. Les données n'ont pas été actualisées pour cette opération.

EXEMPLE DE VARIABILITÉ DES PRIX OBSERVÉS POUR UN MÊME DOSSIER AU MOMENT DE LA CONSULTATION



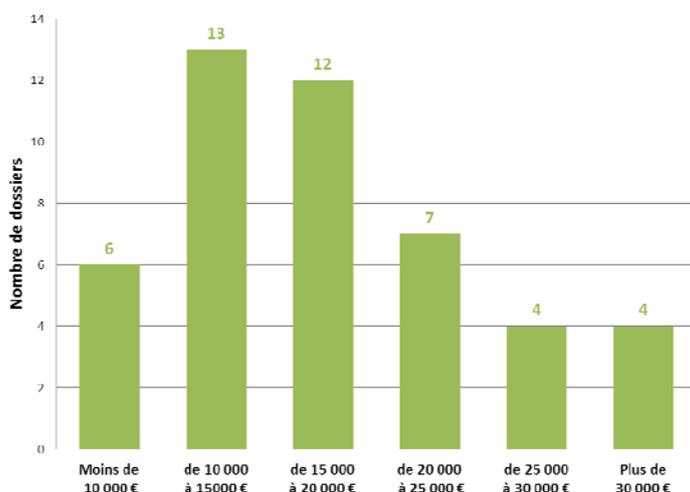
L'échantillon comprend ainsi 10 opérations, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. Cela représente un échantillon de 46 propositions. La plage des données s'étend de 2013 à 2016.

Les montants des études environnementales financées pour la mise en place de périmètres de protection des captages sont compris entre 7 950 euros HT et 43 983 euros HT.

Pour ce type d'études, il n'y a pas d'indicateur technique à proprement parler qui pourrait influencer les coûts. Pour cette opération, seuls les coûts moyens seront donc indiqués.

On constate que la médiane est assez proche de la moyenne, ce qui indique que la répartition des montants est relativement symétrique autour de la valeur moyenne (pas de montants particuliers qui pourrait « tirer » la moyenne vers le haut ou vers le bas).

Répartition des dossiers échantillonnés en fonction des classes de prix



Le graphique de répartition des dossiers en fonction des coûts montre que toutes les classes de coûts sont représentées dans l'échantillon de données.

b) Résultats obtenus et fiabilité

Le coût moyen observé pour les études environnementales pour la mise en place de périmètres de protection des captages est de 18 726 euros HT.

L'écart-type est de 8 640 euros HT.

La fourchette de coûts des études environnementales peut ici être obtenue grâce à la moyenne et l'écart-type. On obtient alors des coûts pour l'étude environnementale compris entre 10 000 € HT et 27 400 € HT.

G. Synthèse

Opération	Variable technique	Intervalle de confiance	Formule
Interconnexion de réseau	Linéaire de réseau (en m)	De 450 à 67 000 m	Prix théorique = 225,8 (+ ou - 9,9) x linéaire de réseau + 299 881 (+ ou - 169 697)
Usine de traitement des pesticides	Capacité de traitement (en m ³ /h)	De 60 à 550 m ³ /h	Prix théorique = 23 713 (+ ou - 1 920) x capacité de traitement - 849 257 (+ ou - 463 462)
Réhabilitation de réservoir	Volume du réservoir (en m ³)	De 60 à 1 500 m ³	Prix théorique = 140,2 (+ ou - 21,5) x volume du réservoir + 109 798 (+ ou - 13 276)
Diagnostic de réseau d'eau potable	Nombre de compteurs de sectorisation	De 0 à 9 compteurs	Prix théorique = 6 708,4 (+ ou - 800) x nombre de compteurs + 23 770 (+ ou - 3 340)
Etude environnementale des périmètres de protection de captage	-	-	Le coût de l'étude environnementale peut être compris entre 10 000 € HT et 27 400 € HT.

III. Les opérations en assainissement

A. Les enjeux lié à l'assainissement en Seine-et-Marne

Généralités

Les eaux rejetées par les particuliers ou les industriels doivent subir un traitement avant leur rejet dans le milieu naturel. Dans le cas de l'assainissement collectif, les eaux usées sont collectées par un réseau public et transportées vers une station d'épuration pour leur dépollution. La procédure de traitement de l'eau doit passer plusieurs étapes pour atteindre un niveau de sortie respectant les normes de qualité des eaux traitées.

➤ **Etape 1** : La collecte des eaux usées

Les eaux usées sont acheminées à la station d'épuration pour leur dépollution. Il y a deux types de réseaux de collecte :

- le réseau unitaire reçoit l'ensemble des eaux usées domestiques et des eaux pluviales
- le réseau séparatif qui dispose de canalisations distinctes, l'une collectant les eaux usées domestiques, l'autre les eaux pluviales.

➤ **Etape 2** : Le traitement des eaux usées

Le processus de traitement est séparé en deux parties : filière eau et filière boue

➤ **Etape 3** : Le rejet de l'eau épurée en milieu naturel : Une fois traitée, l'eau est rejetée dans le milieu naturel.

La réglementation

En assainissement collectif la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (L.E.M.A.) et la Directive eau résiduaire urbaine (D.E.R.U.) sont les textes qui guident les collectivités dans le domaine.

Chiffres-Clés

En Seine-et-Marne, la situation de l'assainissement peut s'appréhender par les chiffres clés suivants :

- 1 365 200 habitants (recensement 2013), dont 1 237 146 habitants sont en assainissement collectif, soit près de 91 % de la population totale du département.
- 117 communes sont strictement en assainissement non collectif (ANC) et représentent 39 909 habitants.
- Au total, environ 128 000 habitants du département sont en assainissement non collectif (compte tenu des habitants en ANC de communes disposant sur une partie de leur territoire d'un réseau de collecte).
- Les eaux usées de 241 048 habitants sont traitées sur 4 stations d'épuration extérieures au département (Noisy-le-Grand (93), Valenton (94), Evry et Milly-la-Forêt (91)).
- Le département compte 285 stations d'épuration (STEP) communales représentant une capacité épuratoire totale de 1 466 183 EH.

Les enjeux des opérations d'assainissement

Conformément à la Directive cadre sur l'Eau (DCE), le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) a été adopté lors du Comité de bassin Seine-Normandie du 5 novembre 2015. Parmi

les enjeux de SDAGE, la lutte contre les pollutions ponctuelles, diffuses et par micropolluants, et la restauration des milieux aquatiques font partie des 8 défis définis comme prioritaires. Associé au SDAGE, le Programme De Mesures (PDM) a également été adopté et présente les mesures nécessaires sur la période 2016-2021 pour atteindre les objectifs environnementaux définis en application de la DCE. 52 % des coûts du programme de mesures sont dévolus à l'assainissement.

Pour s'adapter aux modifications et à la densification de l'habitat, qui impliquent un plus grand raccordement d'usagers au réseau d'assainissement collectif, les collectivités doivent donc faire face à des problématiques de mise aux normes de leurs installations d'épuration, qui peuvent aller jusqu'à la création de station d'épuration complète, ainsi qu'à la création et à la réhabilitation de leur réseau d'assainissement collectif, afin de rejeter dans le milieu naturel des effluents conformes à la réglementation. Le traitement des boues doit également être envisagé par la mise en place de filières adaptées au contexte local de production de boues et de leur valorisation. Enfin, les infrastructures d'assainissement non collectif doivent être réhabilitées, dans le cadre de compétences qui peuvent échoir à la commune.

De la même façon que pour l'eau potable, les collectivités doivent trouver des financements pour l'ensemble des opérations qu'elle doivent mener sur leur réseau d'assainissement ou sur les infrastructures d'assainissement non collectif présentes sur leur territoire. Les recettes générées par la partie « assainissement » de la facture d'eau doivent être complétées par les financements des Départements ou de l'Agence de l'eau. Afin donc d'appréhender au mieux ces coûts, des enveloppes prévisionnelles doivent être établies, afin de les intégrer au budget de l'eau.

B. La création de réseaux d'assainissement collectif

1) Description

Les réseaux d'assainissement sont évolutifs, au fur et à mesure du raccordement progressif du maximum d'usagers au réseau collectif. En effet, si l'habitat se densifie dans une zone, un raccordement au réseau collectif peut devenir techniquement et économiquement intéressant.

Dans certains cas, la commune souhaite passer d'un réseau unitaire à un réseau séparatif, pour assurer un meilleur fonctionnement de la station d'épuration. De fait, dans ces types d'opérations, des réseaux d'assainissement doivent être créés. Les opérations de création de réseau sont des opérations coûteuses qui peuvent impacter la facture d'eau des abonnés. En effet, la part « assainissement » de la facture d'eau sert notamment à financer les investissements effectués sur le réseau.

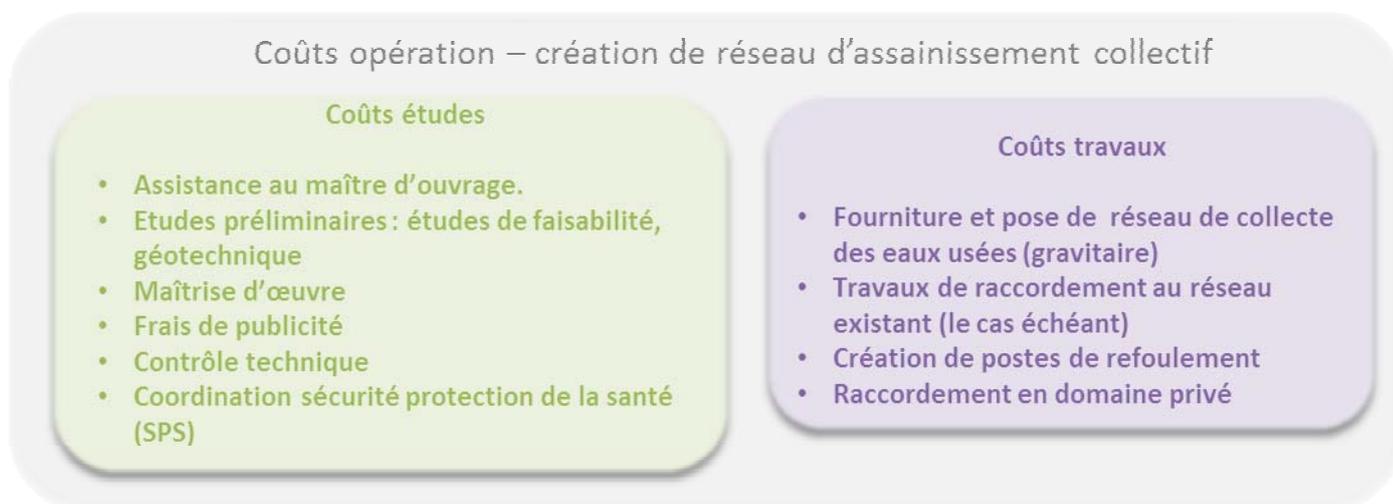
La création de réseaux d'assainissement comprend notamment la pose de canalisations collectant les eaux usées des secteurs se raccordant au réseau collectif (réseau en gravitaire ou en en refoulement), mais également la mise en place de postes de refoulement qui permettent d'acheminer les effluents vers la station d'épuration.



Regard de visite – réseau d'assainissement

Dans le cas présent, seule la partie pose de canalisation pour du réseau gravitaire a été étudiée, dans un souci de cohérence et afin d'homogénéiser autant que possible les données à disposition. En effet, la mise en place de refoulement ou encore de poste de refoulement diffère selon les cas (topographie, ...)

Les opérations de création de réseaux d'assainissement collectif financées par le Département comprennent une partie « Etudes » qui permet d'établir un projet cohérent de réseau et une partie « Travaux » qui sont détaillées dans le schéma suivant :

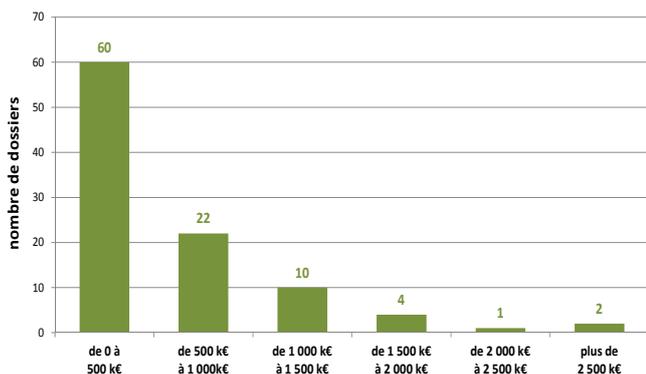


2) Critique de l'analyse

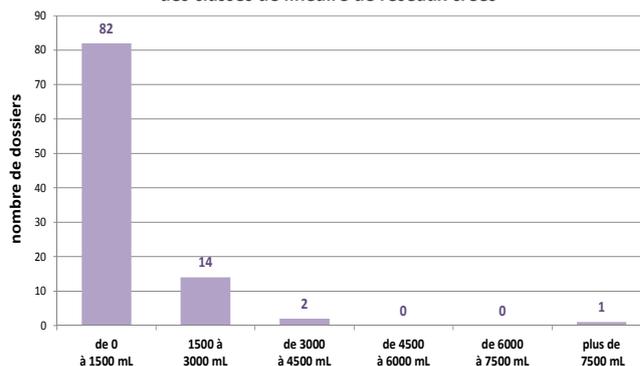
a) Présentation de l'échantillon

Échantillon	Nombre de dossiers examinés	103
	Nombre de dossiers retenus	99
	Taux de refus	4 %
Indicateur technique	Indicateur	Linéaire de réseau posé (en m)
	Indicateur : valeur minimum	65
	Indicateur : valeur maximum	9 563
Coût opération	Montant mini	22 591 €
	Montant maxi	5 558 985 €
	Médiane	366 411 €
	Moyenne	596 103 €

Répartition des dossiers échantillonnés en fonction des classes de prix



Répartition des dossiers échantillonnés en fonction des classes de linéaire de réseaux créés



L'échantillon comprend 99 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. La plage des données s'étend de 2011 à 2015.

Les montants de la création de réseau d'assainissement collectif sont compris entre 22 591 euros HT et 5 558 985 euros HT.

L'indicateur technique choisi est ici le linéaire de canalisation posé. En effet, les coûts engendrés par les travaux augmentent avec le linéaire à couvrir. De plus, de par la distribution du nombre de dossiers en fonction soit des coûts, soit du linéaire de réseau, les tendances semblent identiques. Il semble donc qu'il y ait une cohérence entre l'indicateur technique choisi et les coûts observés.

Le linéaire de réseau a donc été identifié comme indicateur, variable influençant le coût global d'opération

On constate que la médiane est relativement éloignée de la moyenne, ce qui indique qu'une ou plusieurs valeurs particulières tirent la moyenne vers le haut.

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 19,8 dossiers/an. Le linéaire de réseau moyen posé lors d'une opération de création de réseau d'assainissement collectif est de 864 m.

b) Critique des données

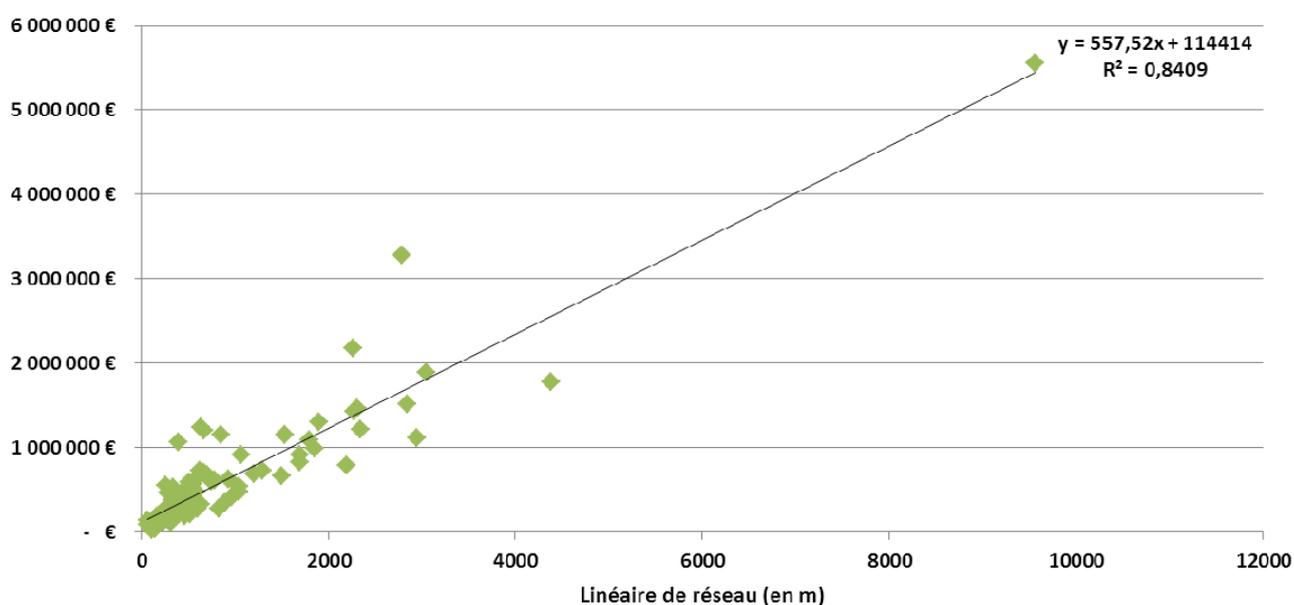
Il existe des limites à cet indicateur qui peuvent influencer les résultats de l'analyse statistique. En effet, par le choix de l'échantillonnage de ne conserver que les travaux de pose de canalisation pour un réseau en gravitaire, la simulation du coût d'une création de réseau d'assainissement collectif sera ici partielle, car elle ne prendra pas en compte la mise en place de réseau de refoulement ou encore la pose de postes de refoulement.

Sur cette opération, 99 dossiers sur les 103 recueillis ont été retenus pour former l'échantillon. Le taux de refus est donc de 4 %.

La plage de validité est bornée par les valeurs suivantes : de 65 m à 9 600 m. Au-delà de ces valeurs, la fiabilité de la formule n'est plus assurée.

c) Résultats obtenus et fiabilité

Coûts d'investissements de la création de réseau d'assainissement collectif en fonction du linéaire de réseau (en m)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,84, ce qui est satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération de création de réseau d'assainissement collectif, tout en prenant les précautions nécessaires quand le linéaire de réseau est supérieur à 9,6 km (borne supérieure de la plage de validité).

L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 114 414 euros HT, représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une création de réseau d'assainissement collectif (installation de chantier, études préparatoires...).

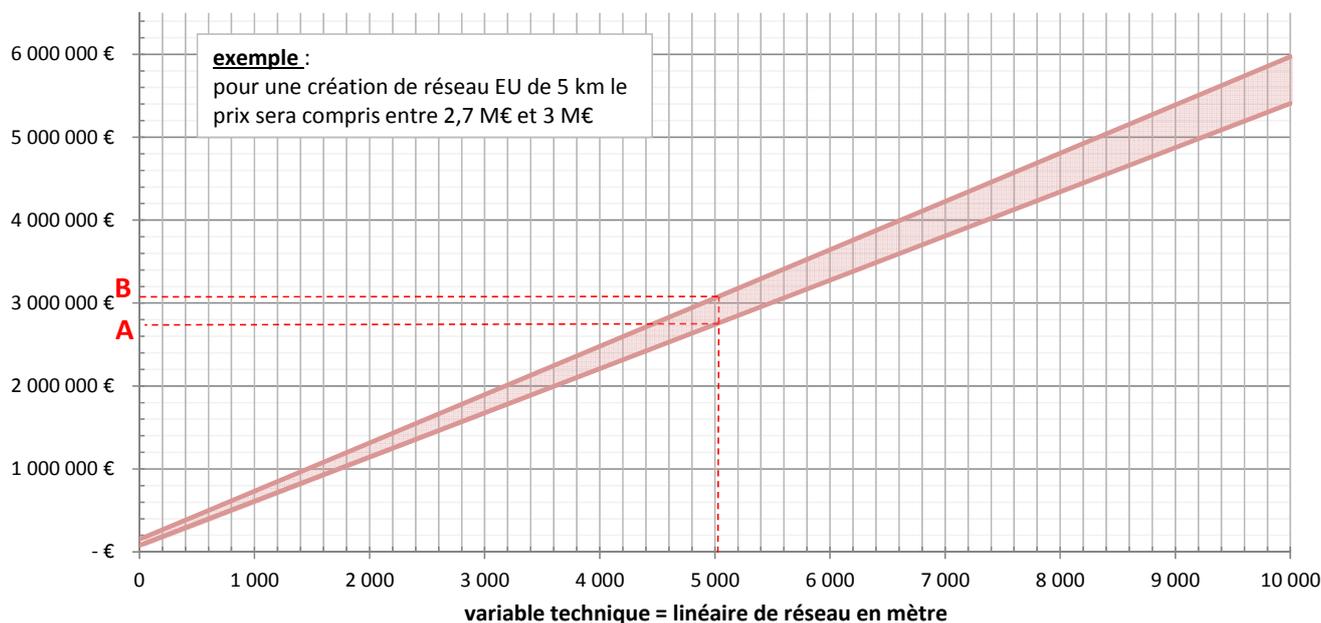
Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = 558 (+ ou - 25) x linéaire de réseau + 114 414 (+ ou - 36 186)
Formule estimation haute	(558 + 25) x linéaire de réseau + (114 414 + 36 186)
Formule estimation basse	(558 - 25) x linéaire de réseau + (114 414 - 36 186)
Variable technique	Linéaire de réseau (en m)
Taux de fiabilité	96 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 65 à 9 600 m

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT D'UNE CRÉATION DE RÉSEAU D'EAUX USÉES EN FONCTION DU LINÉAIRE DE RÉSEAU (en m)

prix en €HT



A titre d'exemple, pour une opération de création de réseau d'assainissement collectif qui comprend la pose de 5 km de réseau, le coût serait compris entre 2 740 000 euros HT et 3 060 000 euros HT.

Rentrer le linéaire de réseau		5 000	mètres
Estimation haute	2 742 695 €	arrondie à	2 740 000 €
Estimation basse	3 061 301 €	arrondie à	3 060 000 €
Le prix sera compris entre	2 740 000 €	et	3 060 000 €

C. Création d'une station d'épuration – Boues activées et filtres plantés de roseaux

1) Description

Une fois collectées, l'une des actions majeures pour atteindre le bon état des milieux aquatiques superficiels est de traiter les eaux usées pour limiter les rejets de matières polluantes que sont les matières organiques (eaux vannes (WC), eaux ménagères (cuisine, salle de bain)), les matières azotées (urine tout particulièrement) et le phosphore, vers les cours d'eau. C'est le rôle des stations d'épuration.

Il existe plusieurs type de stations d'épuration qui utilisent des procédés de traitements tels que les boues activées, les filtres plantés de roseaux, le lit bactérien, les disques biologiques, ou encore le lagunage...

Les opérations les plus courantes financées en Seine-et-Marne sont des constructions de stations d'épuration par boues activées et filtres plantés de roseaux. Nous nous intéresserons donc à ces deux procédés.

Les boues activées

Suite à un prétraitement permettant de retirer les sables, les graisses et les fibres, les eaux usées sont admises dans un bassin de culture de bactéries épuratrices aérobies (en présence d'oxygène) en suspension dans l'eau. Les bactéries se développent dans le milieu, aérées par un dispositif spécifique (turbine, brosse, insufflation d'air) et dégradent la pollution. Les boues constituées de matières cellulaires actives sont agglomérées dans un flocc. Celles-ci sont séparées de l'eau épurée dans un second bassin, le décanteur, puis renvoyées dans le bassin d'aération.

Le maintien de l'équilibre nécessaire entre la pollution à traiter et la quantité de biomasse nécessite l'extraction régulière des boues en excès.

Cette filière est la plus commune en nombre de dispositifs. Elle permet d'obtenir de très bons rendements pour la matière organique biodégradable, les matières en suspension, l'azote et le phosphore.

Le traitement de déshydratation des boues dépend étroitement de leur destination. Une étude de filière est nécessaire en fonction de la capacité des ouvrages. De multiples solutions peuvent être développées : silo de stockage liquide, lit de séchage, lit planté de roseaux, filtre à bande, filtre presse, centrifugeuse, séchage solaire, séchage thermique, digestion méthanique.



Clarificateur : Voulx (à gauche) et Nemours (à droite)

Les filtres plantés de roseaux

Le principe des filtres verticaux consiste à admettre les eaux usées, sans traitement préalable, sur un massif de gravier planté de roseaux. Les bactéries épuratrices sont fixées sur les grains de sable, sur les rhizomes des roseaux et la couche de boues de surface. Elles se développent et dégradent la pollution. Le filtre planté de roseaux est généralement composé de deux étages : le premier retient toute les particules solides et débute le traitement ; le second affine l'épuration. Le dispositif est alimenté de façon séquentielle grâce à la présence d'un réservoir de chasse placé en tête permettant d'assurer une alimentation homogène sur l'ensemble de la surface du filtre. Cette filière a de bons rendements sur la matière organique et traite partiellement l'azote dans l'état actuel du procédé. Cette technologie a un domaine d'application conseillé de 50 à 1 000 Equivalents Habitants (EH).



Filtres plantés de roseaux en été

Les opérations de création de station d'épuration des eaux usées financées par le Département comprennent une partie « Etudes » qui permet d'établir un projet cohérent de traitement des eaux usées et une partie « Travaux » qui sont détaillées dans le schéma suivant :

Coûts opération – STEP

Coûts études

- Assistance au maître d'ouvrage.
- Etudes préliminaires : études de faisabilité, étude de conception
- Etudes topographique
- Etudes géotechniques
- Maîtrise d'œuvre
- Contrôle technique
- Coordination sécurité protection de la santé (SPS)

Coûts travaux

- Travaux préparatoires
- Installation de chantier
- Travaux de terrassement
- Construction des éléments constitutifs de la station (macrophytes dans le cas des filtres plantés de roseaux)
- Coûts divers : voiries, équipements électriques, clôtures et portails
- Essais de réception

2) Critique de l'analyse

a) Présentation de l'échantillon

Afin d'obtenir des échantillons cohérents et homogènes sur le plan du type de station (nature et taille), et sur les coûts de construction en fonction de la présence ou non d'ouvrages particuliers (bassin d'orage) qui pourraient biaiser l'analyse, il a été décidé de diviser les dossiers en différentes catégories :

Boues activées

1. Capacité de la station inférieure à 2 000 EH, sans bassin d'orage (BO)
2. Capacité de la station supérieure à 2 000 EH, sans bassin d'orage
3. Capacité de la station inférieure à 2 000 EH, avec bassin d'orage
4. Capacité de la station supérieure à 2 000 EH, avec bassin d'orage

Filtres plantés de roseaux

1. Avec bassin d'orage
2. Sans bassin d'orage

Les descriptions suivantes reprennent cette répartition :

Boues activées

		Sans bassin d'orage		Avec bassin d'orage	
		< 2 000 EH	> 2 000 EH	< 2 000 EH	> 2 000 EH
Échantillon	Nombre de dossiers examinés	10	11	16	20
	Nombre de dossiers retenus	7	8	13	14
	Taux de refus	30 %	27 %	19 %	30 %
Indicateur technique	Indicateur	Capacité de traitement (en EH)			
	Indicateur : valeur minimum	350 EH	2 500 EH	600 EH	2 165 EH
	Indicateur : valeur maximum	1 700 EH	33 300 EH	1 800 EH	60 000 EH
Coût opération	Montant mini	642 910 €	1 341 849 €	843 532 €	1 512 491 €
	Montant maxi	1 789 001 €	11 538 127 €	2 039 477 €	24 573 066 €
	Médiane	1 139 870 €	2 350 489 €	1 373 328 €	2 797 779 €
	Moyenne	1 163 256 €	3 592 614 €	1 430 523 €	4 858 377 €

L'échantillon, toutes catégories confondues, comprend 42 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. Les dossiers non retenus présentaient des caractéristiques techniques particulières (caractéristiques des sols, traitement de paramètres comme le phosphore...), engendrant des surcoûts qui ne correspondaient pas aux coûts constatés sur les autres opérations. La plage des données s'étend de 2005 à 2014.

Les montants de la construction d'une station d'épuration par boues activées sont compris entre 642 910 euros HT et 24 573 066 euros HT.

L'indicateur technique qui est apparu le plus pertinent est la capacité d'épuration de la station en Equivalent Habitant (EH). Elle représente la charge polluante théorique maximale pour laquelle la station a été conçue et influence donc l'ensemble du dimensionnement des ouvrages. Ainsi, les coûts de création de station sont directement liés à la capacité de traitement de la station.

On constate que, dans les cas où la capacité de la station est inférieure à 2 000 EH, la médiane est assez proche de la moyenne, ce qui indique que la répartition des montants est relativement symétrique autour de la valeur moyenne

On constate que, dans les cas où la capacité de la station est supérieure à 2 000 EH, la médiane est relativement éloignée de la moyenne, ce qui indique qu'une ou plusieurs valeurs particulières tirent la moyenne vers le haut.

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 3,8 dossiers/an. La capacité moyenne des stations d'épuration par boues activées créées, toutes catégories confondues, est de 5 417 EH.

Filtres plantés de roseaux

		Sans BO	Avec BO
Échantillon	Nombre de dossiers examinés	29	6
	Nombre de dossiers retenus	27	5
	Taux de refus	7 %	17 %
Indicateur technique	Indicateur	Capacité de traitement (en EH)	Capacité de traitement (en EH)
	Indicateur : valeur minimum	50 EH	720 EH
	Indicateur : valeur maximum	1 500 EH	1 200 EH
Coût opération	Montant mini	89 973 €	573 909 €
	Montant maxi	1 10 222 €	996 724 €
	Médiane	323 775 €	777 863 €
	Moyenne	367 148 €	755 619 €

L'échantillon, toutes catégories confondues, comprend 35 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. Cependant, on note que la catégorie « station d'épuration filtres plantés de roseaux avec bassin d'orage » ne comprend que 5 dossiers, ce qui est faible pour obtenir une analyse pertinente. Il faudra donc prendre les résultats avec précaution.

La plage des données s'étend de 2004 à 2014.

Les montants de la construction d'une station d'épuration par filtres plantés de roseaux sont compris entre 89 973 euros HT et 1 015 250 euros HT.

L'indicateur technique qui est apparu le plus pertinent est la capacité d'épuration de la station en Equivalent Habitant (EH). Elle représente la charge polluante théorique maximale pour laquelle la station a été conçue et influence donc l'ensemble du dimensionnement des ouvrages. Ainsi, les coûts de création de station sont directement liés à la capacité de traitement de la station.

On constate dans les deux cas, que la médiane est assez proche de la moyenne, ce qui indique que la répartition des montants est relativement symétrique autour de la valeur moyenne.

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 3,2 dossiers/an. La capacité moyenne des stations d'épuration par filtres plantés de roseaux créées, toutes catégories confondues, est de 478 EH.

b) Critique des données

Il existe des limites à cet indicateur qui peuvent influencer les résultats de l'analyse statistique. En effet, plusieurs paramètres peuvent entrer en ligne de compte pour expliquer les coûts de mise en place d'une station d'épuration. La présence d'un bassin d'orage en entrée de station ou encore le choix de la filière boue (par exemple des lits à macrophytes) peuvent également expliquer des fluctuations de coûts. Toutefois, l'analyse statistique et plus précisément le calcul de l'erreur type permettra d'intégrer ces autres variables dans l'écart défini par la fourchette du coût estimé.

Sur cette opération, les taux de refus, selon les catégories, peuvent être résumés dans le tableau suivant :

<i>Boues activées</i>				<i>Filtres plantés de roseaux</i>	
< 2 000 EH Sans BO	> 2 000 EH Sans BO	< 2 000 EH Avec BO	> 2 000 EH Avec BO	Sans BO	Avec BO
30 %	27 %	19 %	30 %	7 %	17 %

Les plages de validité sont bornées par les valeurs suivantes, selon les catégories :

<i>Boues activées</i>				<i>Filtres plantés de roseaux</i>	
< 2 000 EH Sans BO	> 2 000 EH Sans BO	< 2 000 EH Avec BO	> 2 000 EH Avec BO	Sans BO	Avec BO
350 à 1 700 EH	2 500 à 33 300 EH	600 à 1 800 EH	2 165 à 60 000 EH	50 à 1 500 EH	720 à 1 200 EH

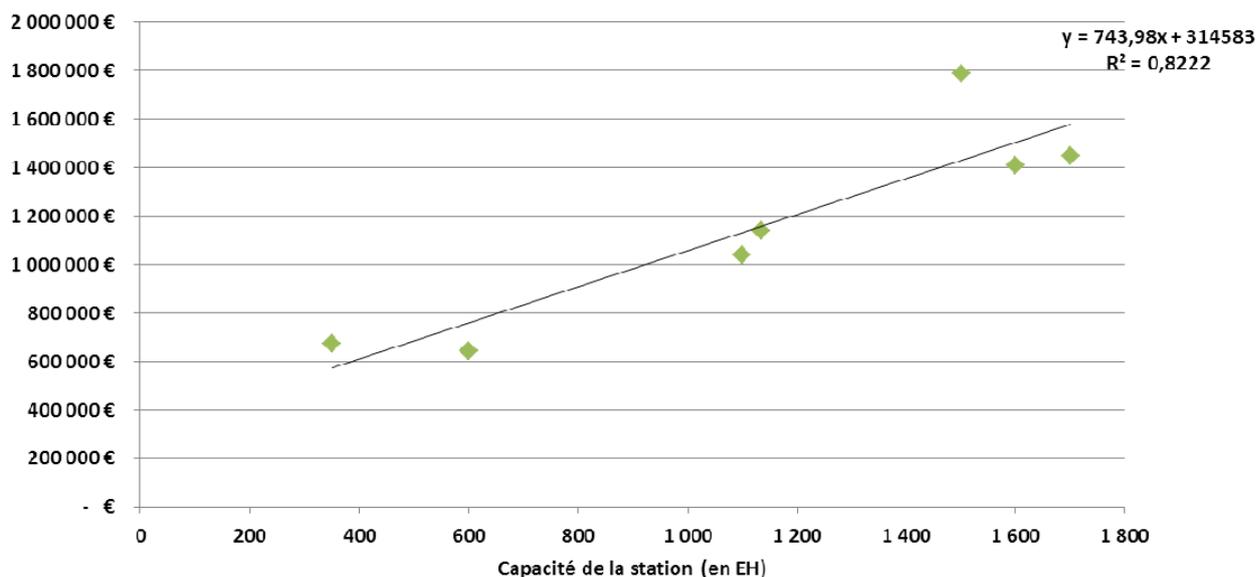
Au-delà de ces valeurs, la fiabilité de la formule n'est plus assurée.

c) Résultats obtenus et fiabilité

Cas de la station d'épuration par boues activées

1. Capacité de la station inférieure à 2 000 EH, sans bassin d'orage

Coûts d'investissements d'une station d'épuration boues activées
< 2 000 EH sans bassin d'orage en fonction de la capacité de la station (en EH)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,82, ce qui est satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération de création d'une station d'épuration par boues activées, tout en prenant les précautions nécessaires quand la capacité de traitement est supérieure à 1 700 EH (borne supérieure de la plage de validité).

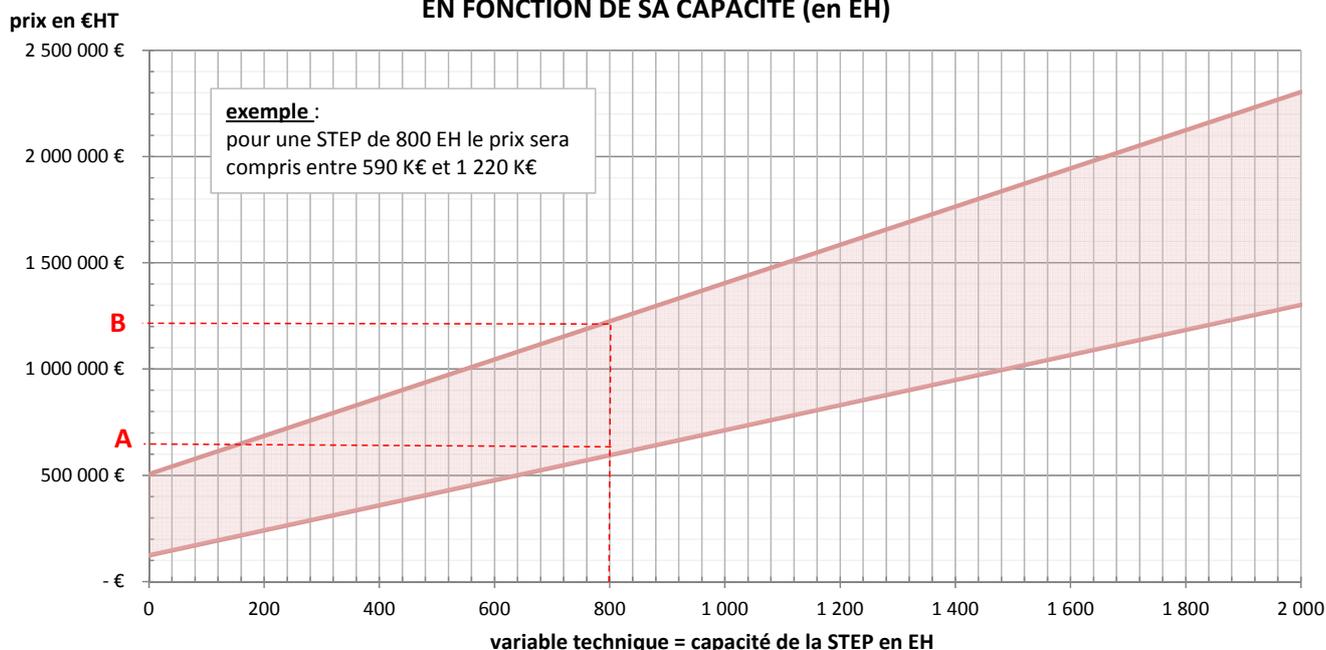
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 314 583 euros HT, représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une création de station d'épuration par boues activées (installation de chantier, études préparatoires, ...)

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = 744 (+ ou - 155) x capacité de traitement + 314 583 (+ ou - 191 134)
Formule estimation haute	(744 + 155) x capacité de traitement + (314 583 + 191 134)
Formule estimation basse	(744 - 155) x capacité de traitement + (314 583 - 191 134)
Variable technique	Capacité de traitement en EH
Taux de fiabilité	70 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 350 à 1 700 EH

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU PRIX D'UNE STEP EN BOUES ACTIVÉES < 2000 EH SANS BASSIN D'ORAGE EN FONCTION DE SA CAPACITÉ (en EH)

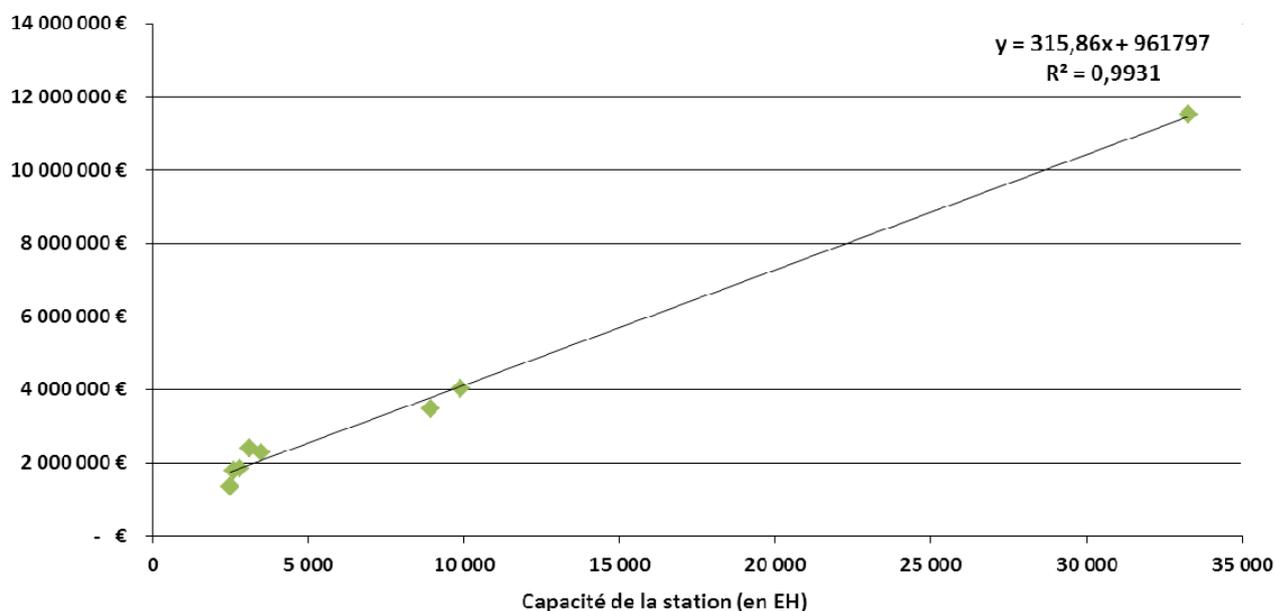


A titre d'exemple, pour une opération de création d'une station d'épuration d'une capacité de traitement de 800 EH, le coût serait compris entre 590 000 euros HT et 1 220 000 euros HT.

Rentrer la capacité de traitement		800	EH
Estimation haute	1 224 691 €	arrondie à	1 220 000 €
Estimation basse	594 849 €	arrondie à	590 000 €
Le prix sera compris entre	590 000 €	et	1 220 000 €

2. Capacité de la station supérieure à 2 000 EH, sans bassin d'orage

Coûts d'investissements d'une station d'épuration boues activées
> 2 000 EH sans bassin d'orage en fonction de la capacité de la station (en EH)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,99, ce qui est très satisfaisant, bien que modéré par la taille de l'échantillon. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération de création d'une station d'épuration par boues activées, tout en prenant les précautions nécessaires quand la capacité de traitement est supérieure à 33 300 EH (borne supérieure de la plage de validité).

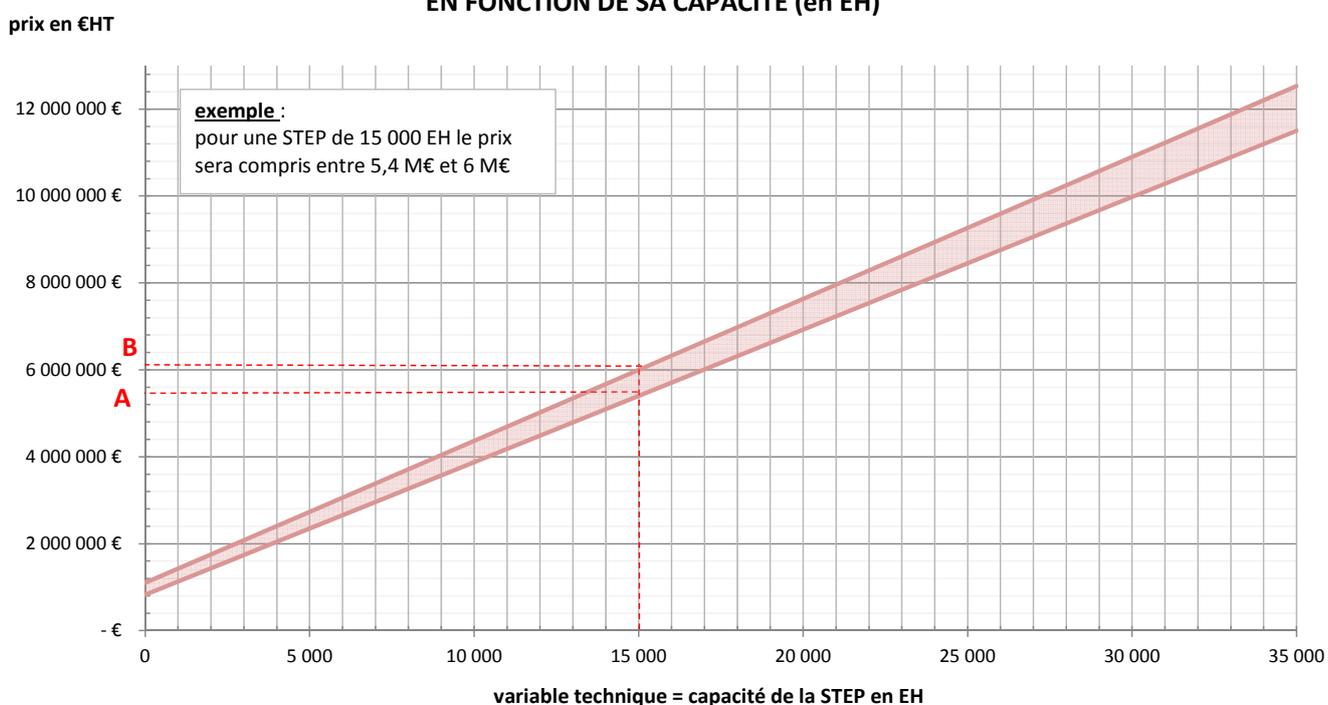
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 961 797 euros HT, représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une création de station d'épuration par boues activées (installation de chantier, études préparatoires, ...)

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = 316 (+ ou - 11) x capacité de traitement + 961 797 (+ ou - 138 528)
Formule estimation haute	(316 + 11) x capacité de traitement + (961 797 + 138 528)
Formule estimation basse	(316 - 11) x capacité de traitement + (961 797 - 138 528)
Variable technique	Capacité de traitement en EH
Taux de fiabilité	81 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 2 500 à 33 300 EH

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU PRIX D'UNE STEP EN BOUES ACTIVÉES > 2000 EH SANS BASSIN D'ORAGE EN FONCTION DE SA CAPACITÉ (en EH)

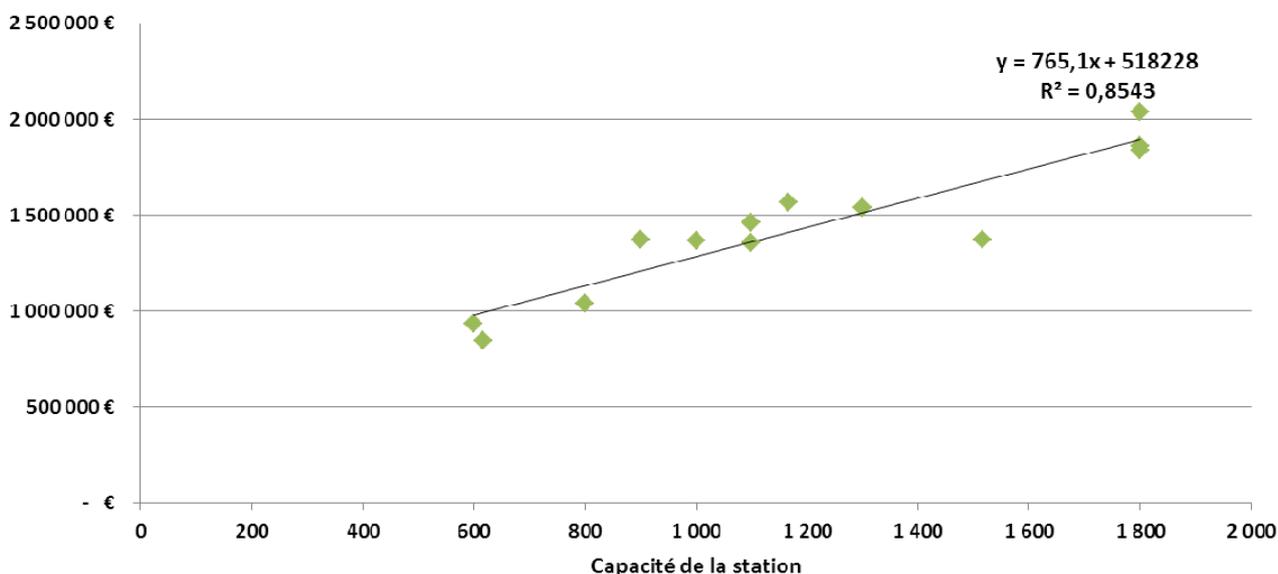


A titre d'exemple, pour une opération de création d'une station d'épuration d'une capacité de traitement de 15 000 EH, le coût serait compris entre 5 400 000 euros HT et 6 000 000 euros HT.

Rentrer la capacité de traitement	15 000	EH
Estimation haute	5 999 381 €	arrondie à 6 000 000 €
Estimation basse	5 399 940 €	arrondie à 5 400 000 €
Le prix sera compris entre	5 400 000 €	et 6 000 000 €

3. Capacité de la station inférieure à 2 000 EH, avec bassin d'orage

Coûts d'investissements d'une station d'épuration boues activées < 2 000 EH avec bassin d'orage en fonction de la capacité de la station (en EH)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,85, ce qui est très satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération de création d'une station d'épuration par boues activées, tout en prenant les précautions nécessaires quand la capacité de traitement est supérieure à 1 800 EH (borne supérieure de la plage de validité).

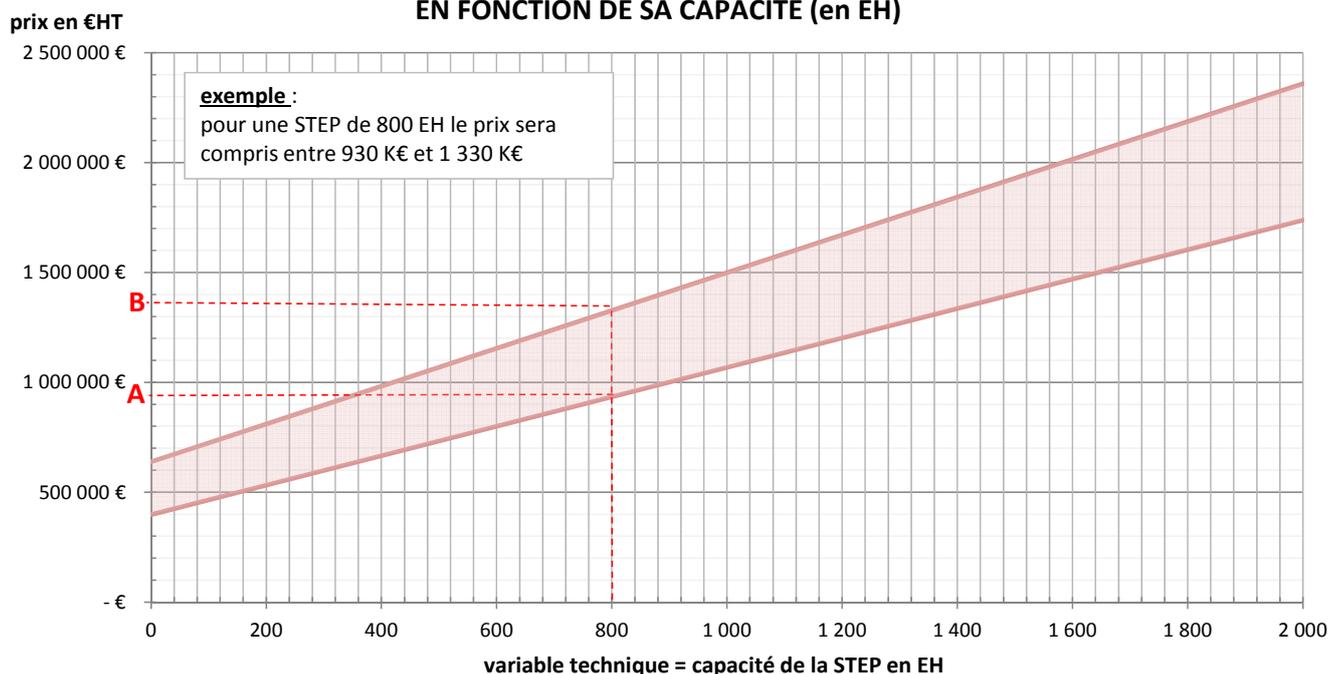
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 518 228 euros HT, représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une création de station d'épuration par boues activées (installation de chantier, études préparatoires, ...)

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = 765 (+ ou - 95) x capacité de traitement + 518 228 (+ ou - 120 170)
Formule estimation haute	(765 + 95) x capacité de traitement + (518 228 + 120 170)
Formule estimation basse	(765 - 95) x capacité de traitement + (518 228 - 120 170)
Variable technique	Capacité de traitement en EH
Taux de fiabilité	73 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 600 à 1 800 EH

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU PRIX D'UNE STEP EN BOUES ACTIVEES < 2000 EH AVEC BASSIN D'ORAGE EN FONCTION DE SA CAPACITÉ (en EH)

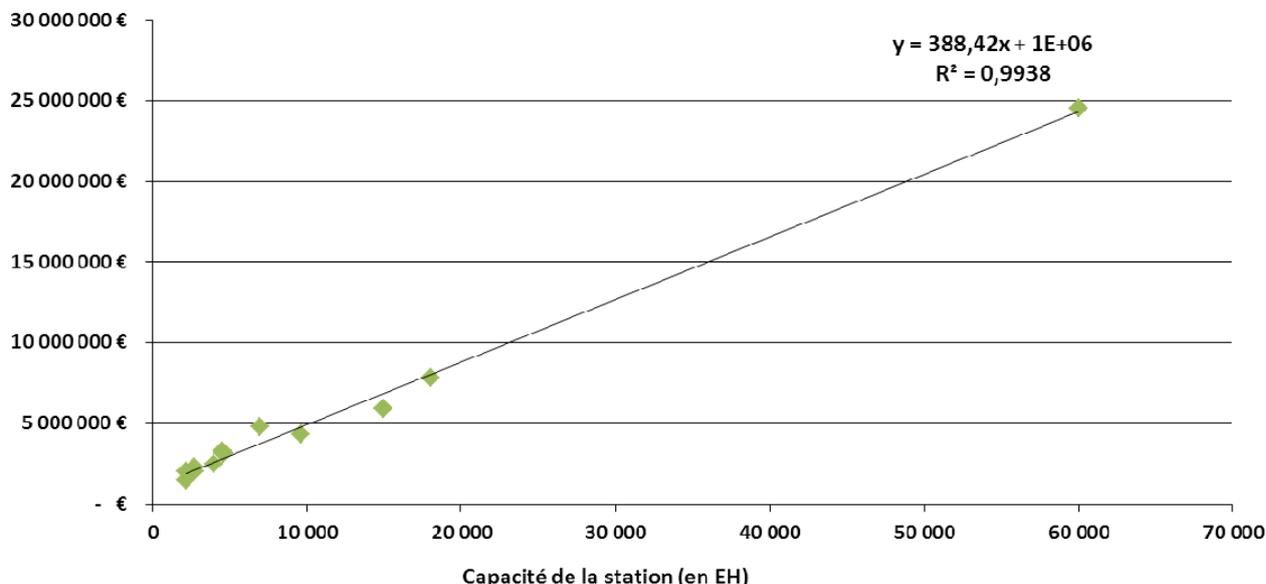


A titre d'exemple, pour une opération de création d'une station d'épuration d'une capacité de traitement de 800 EH, le coût serait compris entre 930 000 euros HT et 1 330 000 euros HT.

Rentrer la capacité de traitement	800	EH
Estimation haute	1 326 695 €	arrondie à 1 330 000 €
Estimation basse	93 923 €	arrondie à 930 000 €
Le prix sera compris entre	930 000 €	et 1 330 000 €

4. Capacité de la station supérieure à 2 000 EH, avec bassin d'orage

Couts d'investissements d'une station d'épuration boues actives > 2000 EH avec bassin d'orage en fonction de la capacité de la station (en EH)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,99, ce qui est très satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération de création d'une station d'épuration par boues activées, tout en prenant les précautions nécessaires quand la capacité de traitement est supérieure à 60 000 EH (borne supérieure de la plage de validité).

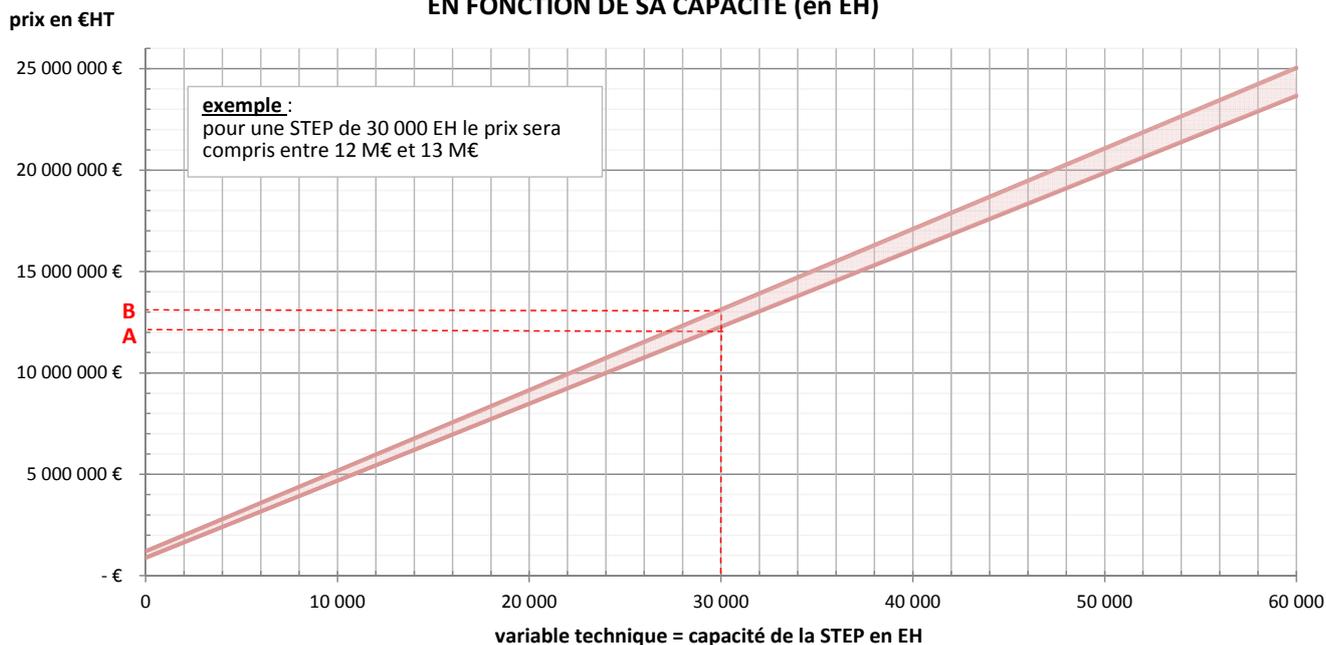
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 1 045 912 euros HT, est assez élevée pour ce cas. Cela représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une création de station d'épuration par boues activées (installation de chantier, études préparatoires, ...)

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = 388 (+ ou - 9) x capacité de traitement + 1 045 912 (+ ou - 156 263)
Formule estimation haute	(388 + 9) x capacité de traitement + (1 045 912 + 156 263)
Formule estimation basse	(388 - 9) x capacité de traitement + (1 045 912 - 156 263)
Variable technique	Capacité de traitement en EH
Taux de fiabilité	70 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 2 165 à 60 000 EH

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT D'UNE STEP EN BOUES ACTIVÉES > 2000 EH AVEC BASSIN D'ORAGE EN FONCTION DE SA CAPACITÉ (en EH)



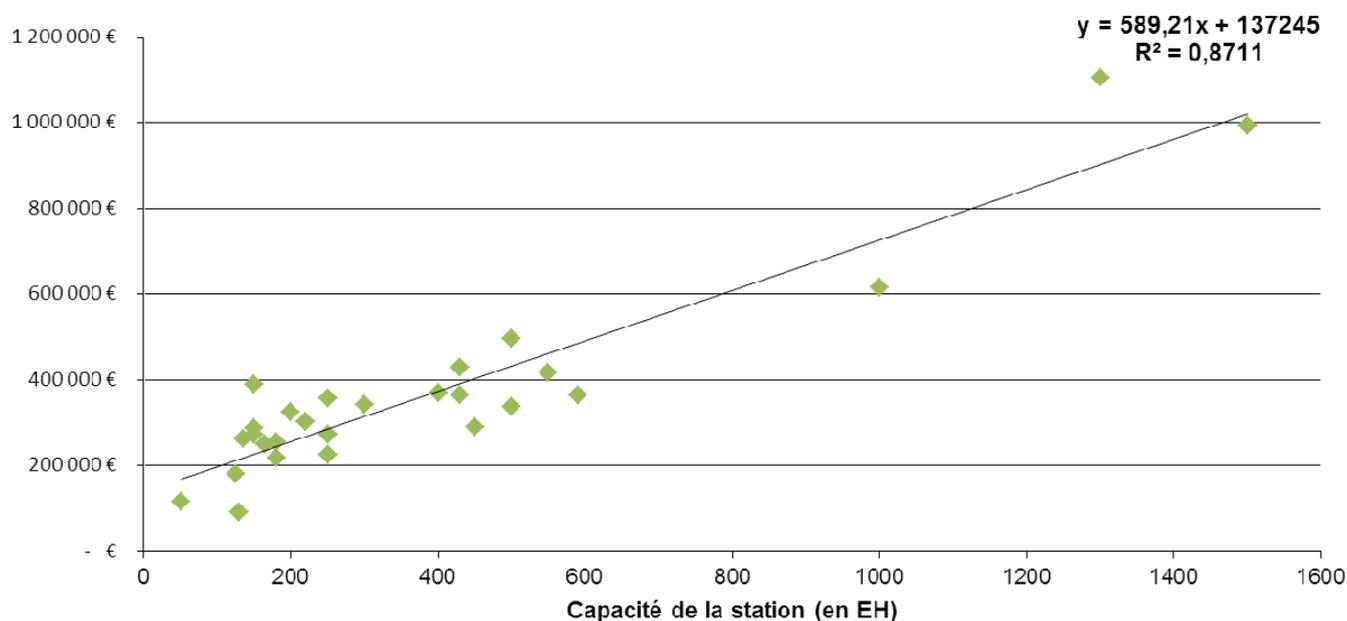
A titre d'exemple, pour une opération de création d'une station d'épuration d'une capacité de traitement de 30 000 EH, le coût serait compris entre 12 280 000 euros HT et 13 120 000 euros HT.

Rentrer la capacité de traitement		30 000	EH
Estimation haute	13 119 642 €	arrondie à	13 120 000 €
Estimation basse	12 277 282€	arrondie à	12 280 000 €
Le prix sera compris entre	12 280 000 €	et	13 120 000 €

Cas de la station d'épuration par filtres plantés de roseaux

1. Station d'épuration sans bassin d'orage

Coûts d'investissements d'une station d'épuration filtres plantés de roseaux sans bassin d'orage en fonction de la capacité de la station (en EH)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,87, ce qui est satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération de création d'une station d'épuration par filtres plantés de roseaux, tout en prenant les précautions nécessaires quand la capacité de traitement est supérieure à 1 500 EH (borne supérieure de la plage de validité).

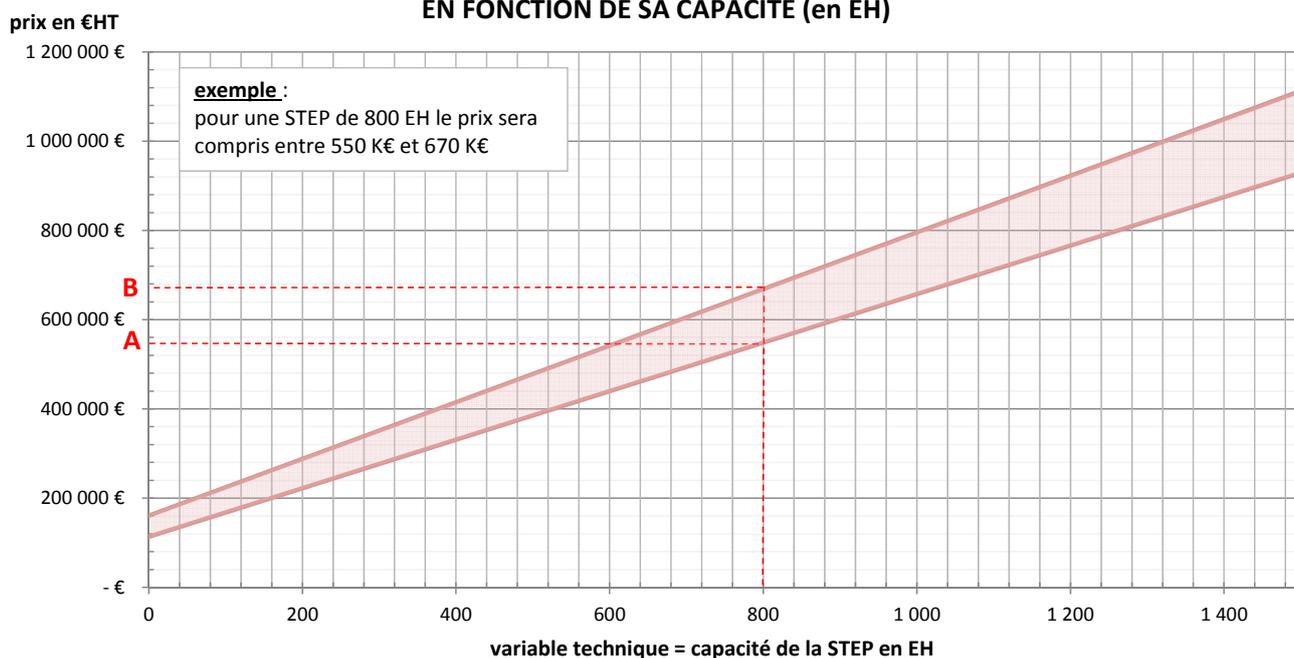
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 137 245 euros HT, représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une création de station d'épuration par filtres plantés de roseaux (installation de chantier, études préparatoires, ...)

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique =
	$589 (+ \text{ou} - 45) \times \text{capacité de traitement} + 137\,245 (+ \text{ou} - 23\,732)$
Formule estimation haute	$(589 + 45) \times \text{capacité de traitement} + (137\,245 + 23\,732)$
Formule estimation basse	$(589 - 45) \times \text{capacité de traitement} + (137\,245 - 23\,732)$
Variable technique	Capacité de traitement en EH
Taux de fiabilité	81 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 50 à 1 500 EH

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU PRIX D'UNE STEP FILTRES PLANTEES DE ROSEAUX SANS BASSIN D'ORAGE EN FONCTION DE SA CAPACITÉ (en EH)

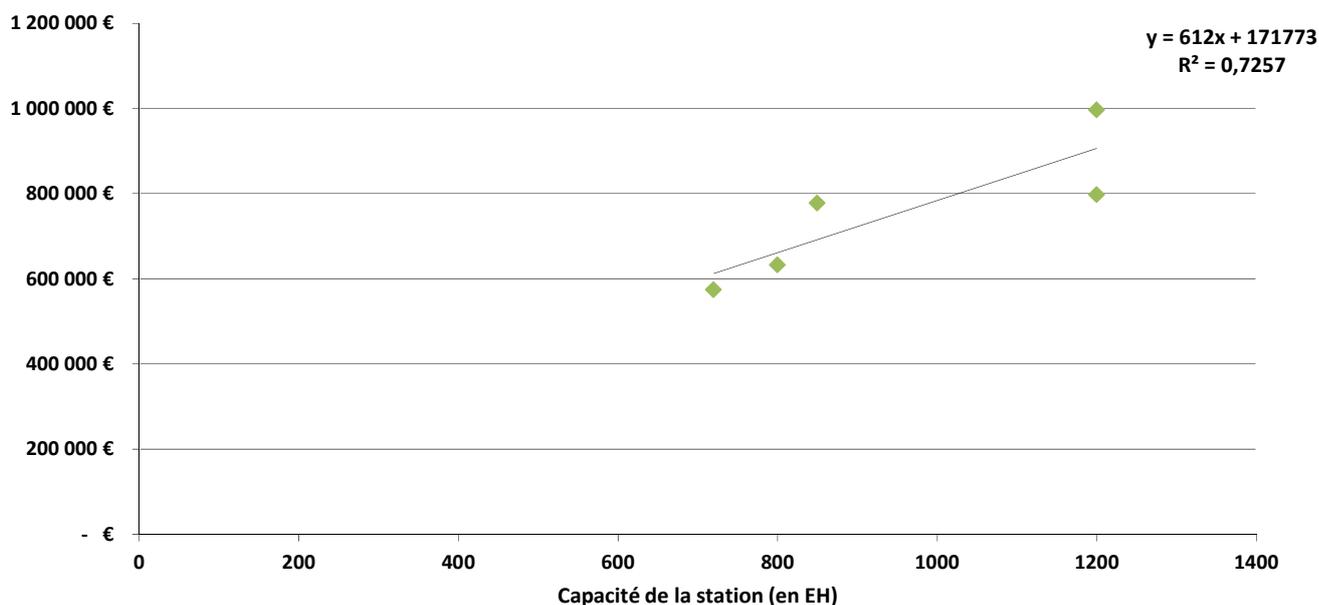


A titre d'exemple, pour une opération de création d'une station d'épuration d'une capacité de traitement de 800 EH, le coût serait compris entre 550 000 euros HT et 670 000 euros HT.

Rentrer la capacité de traitement		800	EH
Estimation haute	668 611 €	arrondie à	670 000 €
Estimation basse	548 623€	arrondie à	550 000 €
Le prix sera compris entre	550 000 €	et	670 000 €

2. Station d'épuration avec bassin d'orage

Couts d'investissements d'une station d'épuration filtres plantés de roseaux avec bassin d'orage en fonction de la capacité de la station (en EH)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,72, ce qui est relativement satisfaisant. Cependant la taille de l'échantillon tempère la validité du modèle obtenu. Le modèle ainsi construit peut être utilisé avec prudence pour estimer les coûts d'une opération de création d'une station d'épuration par filtres plantés de roseaux, tout en prenant les précautions nécessaires quand la capacité de traitement est supérieure à 1 200 EH (borne supérieure de la plage de validité).

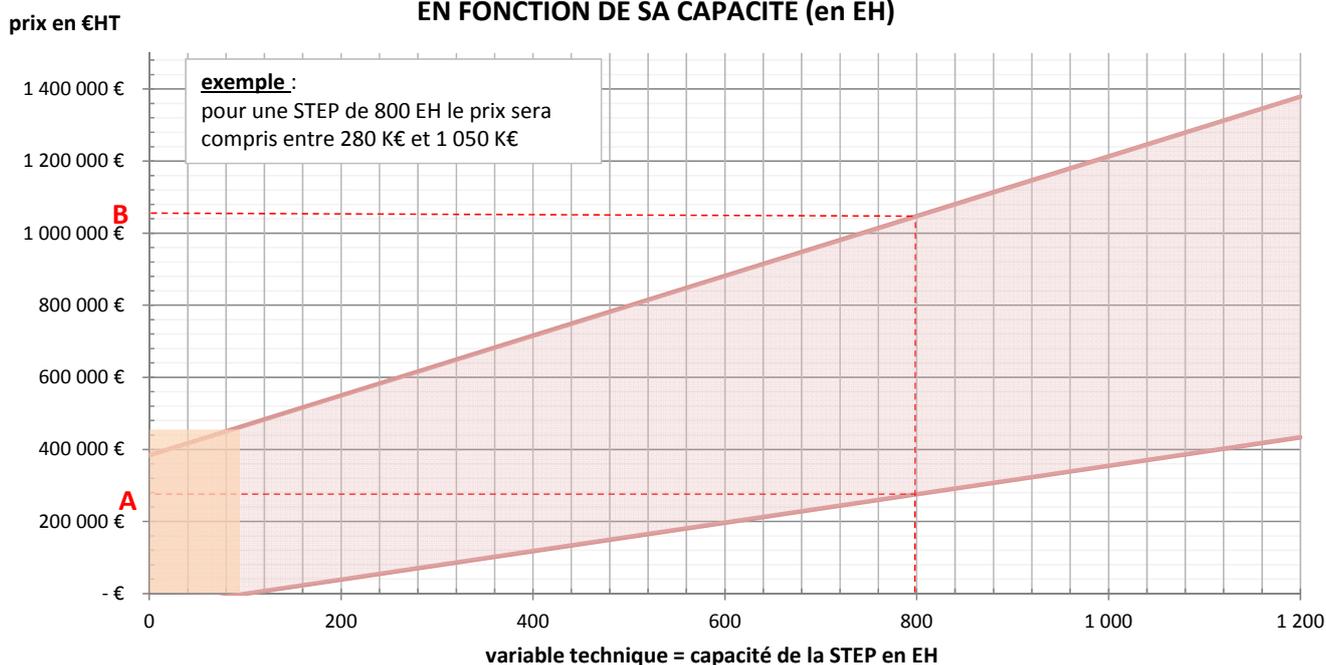
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 171 773 euros HT, représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une création de station d'épuration par filtres plantés de roseaux (installation de chantier, études préparatoires, ...)

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique =
	$612 (+ \text{ou} - 217) \times \text{capacité de traitement} + 171\,773 (+ \text{ou} - 211\,981)$
Formule estimation haute	$(612 + 217) \times \text{capacité de traitement} + (171\,773 + 211\,981)$
Formule estimation basse	$(612 - 217) \times \text{capacité de traitement} + (171\,773 - 211\,981)$
Variable technique	Capacité de traitement en EH
Taux de fiabilité	70 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 720 à 1 200 EH

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU PRIX D'UNE STEP FILTRES PLANTES DE ROSEAUX AVEC BASSIN D'ORAGE EN FONCTION DE SA CAPACITÉ (en EH)



On constate que les erreurs-type sur cette formule sont assez importantes, ce qui va augmenter la fourchette des coûts, notamment dans les petites capacités de traitement, où il sera important de respecter la plage de validité. La fourchette de coûts est très étendue, ce qui peut s'expliquer par la faible taille de l'échantillon qui ne permet pas de réaliser une analyse très étendue. Ces résultats sont donc à prendre avec beaucoup de précaution, et ne sont pas forcément utilisables pour une estimation précise de la création d'une station d'épuration.

En effet, à titre d'exemple, pour une opération de création d'une station d'épuration d'une capacité de traitement de 800 EH, le coût serait compris entre 280 000 euros HT et 1 050 000 euros HT.

Rentrer la capacité de traitement	800	EH
Estimation haute	1 047 143 €	arrondie à 1 050 000 €
Estimation basse	275 600 €	arrondie à 280 000 €
Le prix sera compris entre	280 000 €	et 1 050 000 €

D. La création d'un bassin d'orage

1) Description

Un bassin d'orage est un dispositif du système d'assainissement qui permet de réguler les flux transitant dans le réseau par temps de pluie, en retenant les eaux pluviales, drainées par la voirie, lors d'un orage. En plus de ce rôle hydraulique, ils ont également un rôle important dans le processus de traitement primaire des eaux usées avant leur éventuelle surverse vers le milieu naturel. En effet, ils permettent d'assurer une décantation des matières en suspension, une rétention des produits toxiques et hydrocarbures.

Un bassin d'orage peut être situé en tête de station d'épuration dans le cas d'un réseau unitaire, il sert alors à lisser les débits entrants en stockant les eaux de pluie. Ils peuvent également être positionnés sur le réseau d'assainissement, indépendamment d'une station d'épuration.



Bassin d'orage de Villiers-St-Georges (à gauche) et de Solers (à droite)

Les opérations de création de bassin d'orage financées par le Département comprennent une partie « Etudes » qui permet d'établir un projet cohérent et une partie « Travaux » qui sont détaillées dans le schéma suivant :

Coûts opération

Coûts études

- Assistance au maître d'ouvrage.
- Etudes préliminaires : études de faisabilité (capacité du bassin, avant projet)
- Etudes topographique
- Etudes géotechniques
- Maîtrise d'œuvre
- Contrôle technique
- Coordination sécurité protection de la santé (SPS)

Coûts travaux

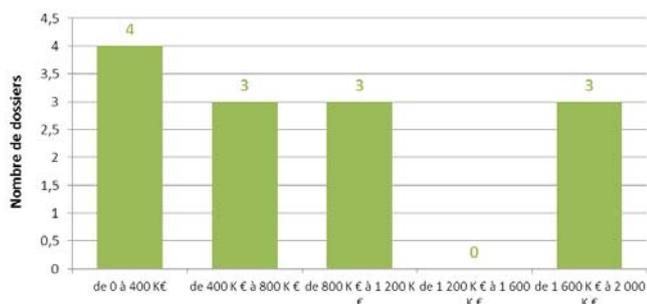
- Installation de chantier
- Travaux de terrassement
- Construction du bassin d'orage
- Coûts divers : voiries, équipements électriques...

2) Critique de l'analyse

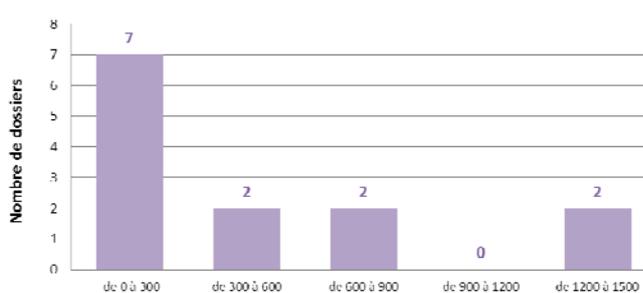
a) Présentation de l'échantillon

Échantillon	Nombre de dossiers examinés	15
	Nombre de dossiers retenus	13
	Taux de refus	13 %
Indicateur technique	Indicateur	Volume du bassin (en m3)
	Indicateur : valeur minimum	100
	Indicateur : valeur maximum	1 300
Coût opération	Montant mini	61 730 €
	Montant maxi	1 899 301 €
	Médiane	651 806 €
	Moyenne	864 545 €

Repartition des dossiers échantillonnés en fonction des classes de prix



Repartition des dossiers échantillonnés en fonction de la capacité du réservoir



L'échantillon comprend 13 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. La plage des données s'étend de 2004 à 2014.

Les montants de la création d'un bassin d'orage sont compris entre 61 730 euros HT et 1 899 301 euros HT.

L'indicateur technique choisi est ici le volume du bassin d'orage. En effet, le dimensionnement du bassin calculé pour recueillir les eaux de pluie notamment, influence directement la taille des ouvrages et donc les coûts engendrés. De plus, de par la distribution du nombre de dossiers en fonction soit des coûts, soit du volume du bassin d'orage, les tendances de répartition des classes sont assez bonnes. Il semblerait donc qu'il y ait une certaine cohérence entre l'indicateur technique choisi et les coûts observés.

Le volume du bassin d'orage a donc été identifié comme indicateur, variable influençant le coût global d'opération.

On constate que la médiane est relativement éloignée de la moyenne, ce qui indique qu'une ou plusieurs valeurs particulières tirent la moyenne vers le haut.

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 1,4 dossier/an. Le volume moyen constaté pour la création des bassins d'orage lors des opérations étudiées est de 478 m³.

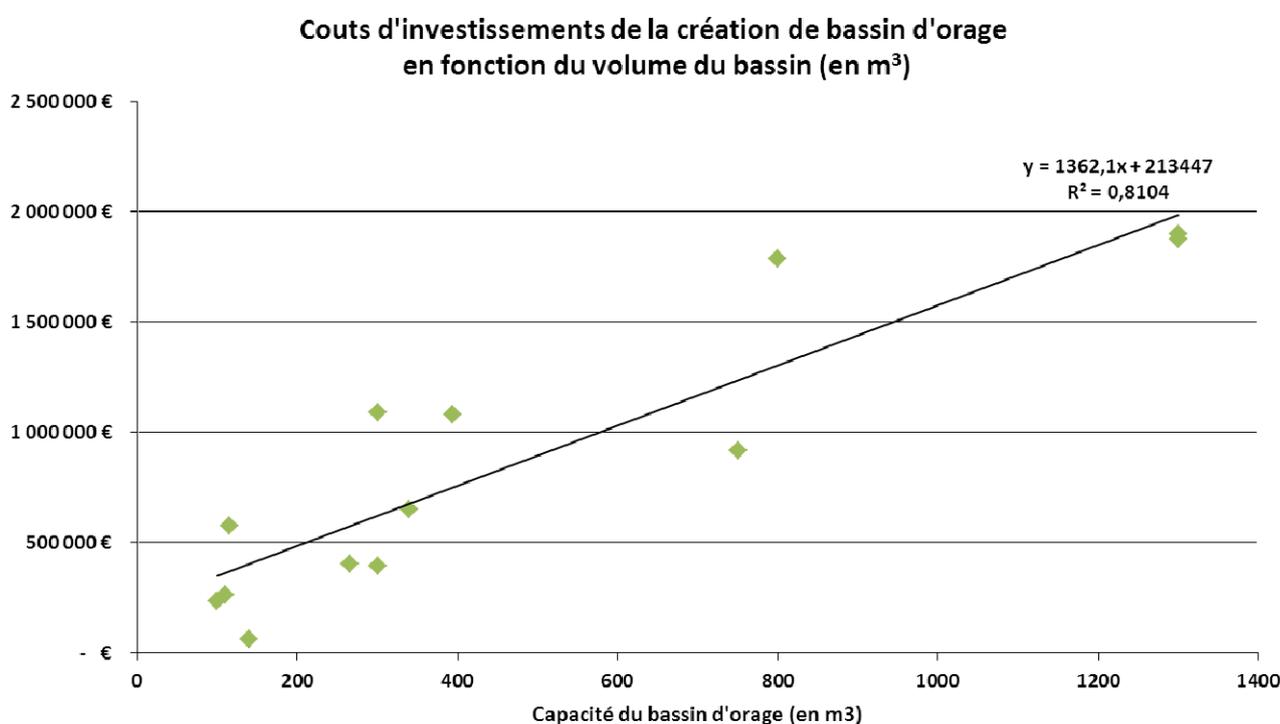
b) Critique des données

Il existe des limites à cet indicateur qui peuvent influencer les résultats de l'analyse statistique. En effet, plusieurs paramètres peuvent entrer en ligne de compte pour expliquer les coûts de mise en place d'un bassin d'orage. En effet, le volume d'eau recueilli par le bassin d'orage est important et conditionne le dimensionnement de l'ouvrage. Cependant, un bassin d'orage peut être enterré ou encore couvert. Ces deux typologies de bassin d'orage vont présenter des coûts plus importants, qui ne sont pas pris en compte avec un seul indicateur technique. Le calcul des incertitudes en tient compte, ce qui réduit d'autant plus la précision et augmentera la taille de l'enveloppe de prix au final.

Sur cette opération, 13 dossiers sur les 15 recueillis ont été retenus pour former l'échantillon. Le taux de refus est donc de 13 %.

La plage de validité est bornée par les valeurs suivantes : de 100 m à 1 300 m³. Au-delà de ces valeurs, la fiabilité de la formule n'est plus assurée.

c) Résultats obtenus et fiabilité



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,81, ce qui est satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération de création de bassin d'orage, tout en prenant les précautions nécessaires quand le volume du bassin est supérieur à 1 300 m³ (borne supérieure de la plage de validité).

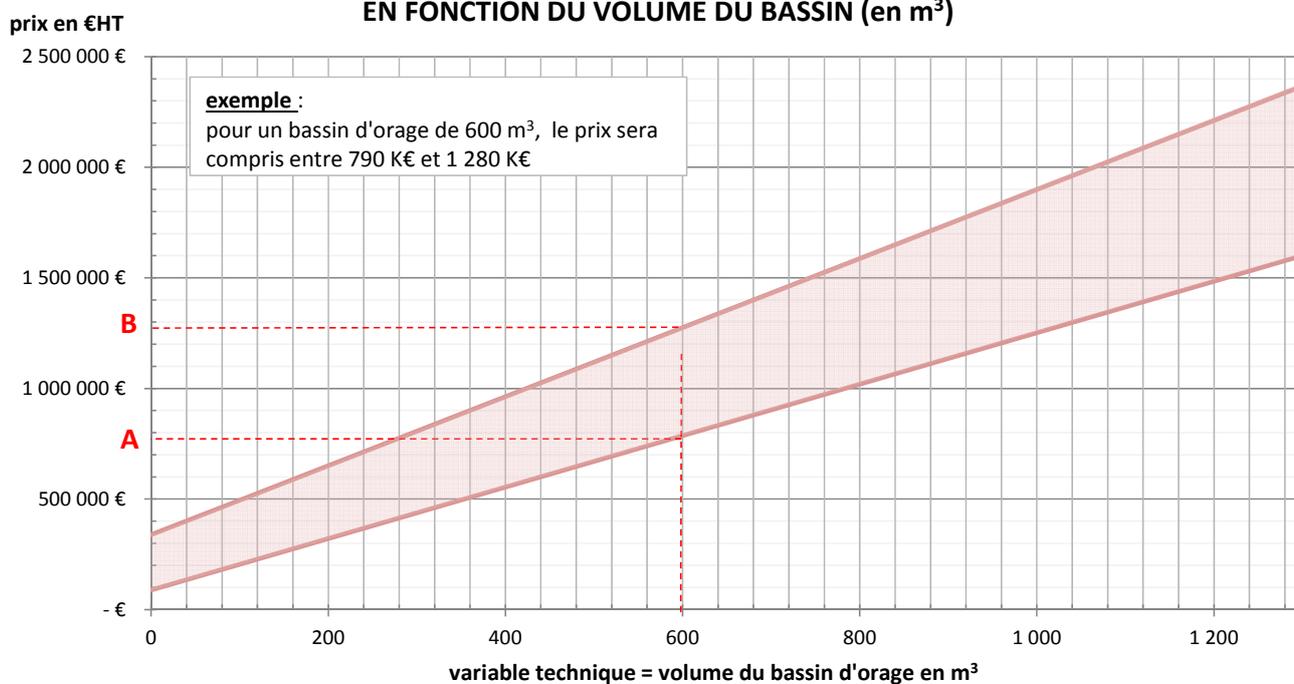
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 213 447 euros HT, représente les coûts incompressibles théoriques lors d'une création de bassin d'orage (études géotechniques, études des sols...).

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = $1\,362 (+ \text{ou} - 199) \times \text{volume du BO} + 213\,447 (+ \text{ou} - 125\,120)$
Formule estimation haute	$(1\,362 + 199) \times \text{volume du BO} + (213\,447 + 125\,120)$
Formule estimation basse	$1\,362 - 199) \times \text{volume du BO} + (213\,447 - 125\,120)$
Variable technique	Volume du bassin d'orage (en m ³)
Taux de fiabilité	87 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 100 à 1 300 m ³

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT DE LA CREATION D'UN BASSIN D'ORAGE EN FONCTION DU VOLUME DU BASSIN (en m³)



A titre d'exemple, pour une opération de création d'un bassin d'orage de 600 m³, le coût serait compris entre 790 000 euros HT et 1 280 000 euros HT.

Rentrer le volume du bassin d'orage	600	m3
Estimation haute	1 275 023 €	arrondie à 1 280 000 €
Estimation basse	786 427 €	arrondie à 790 000 €
Le prix sera compris entre	790 000 €	et 1 280 000 €

E. Traitement des boues d'épuration par lit à macrophytes

1) Description

La production de boues

Une station d'épuration comprend obligatoirement deux filières de traitement :

- la filière eau qui assure la dépollution des eaux usées,
- la filière boue qui assure le traitement du sous-produit principal d'une station d'épuration, à savoir la boue.

Quel que soit le type de traitement biologique, il y a une production de boue. Elle est cependant plus ou moins importante en fonction du type de traitement de l'eau.

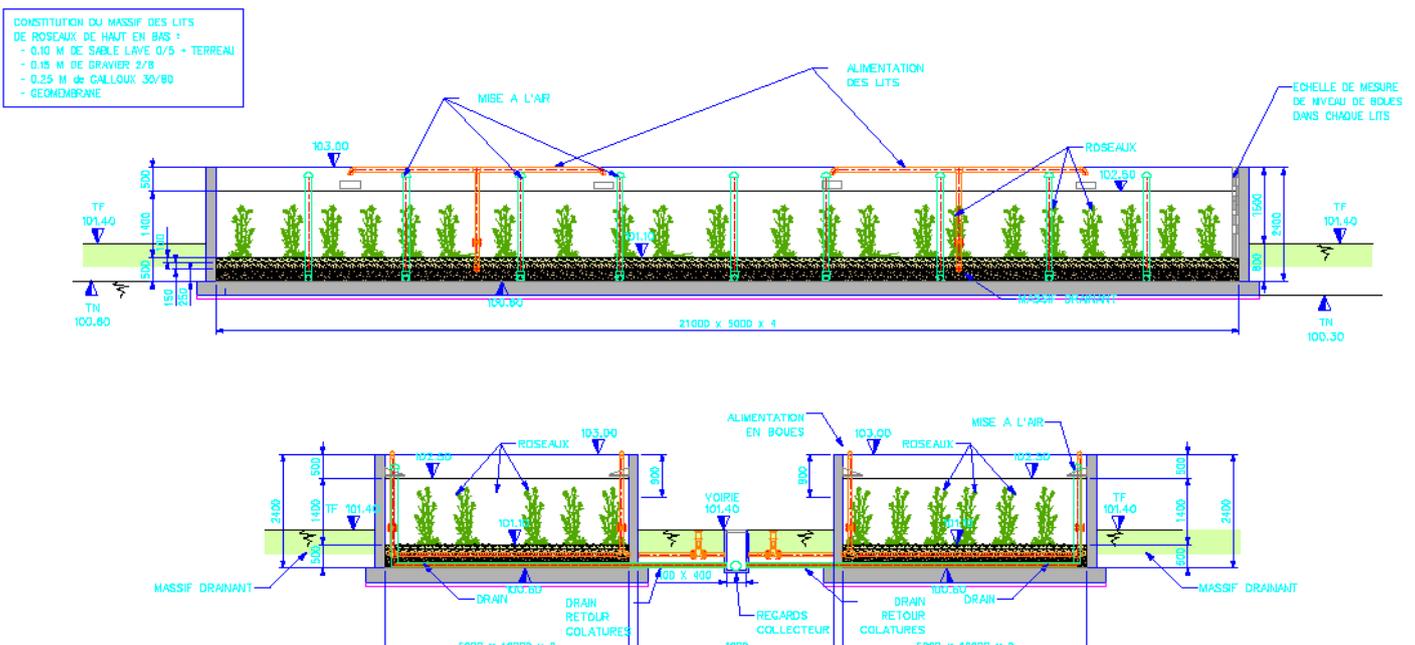
La boue résulte de l'activité biologique des micro-organismes vivant dans les stations et qui transforment les matières transportées par les eaux usées. Elle est composée essentiellement de bactéries mortes, de matière organique stabilisée, de sels minéraux et d'eau. La production pour le département de Seine-et-Marne est de 17 500 T/an de matières sèches (données 2014).

Au fil des années, les types de traitement des boues se sont diversifiés. Le but de ce traitement est avant tout de réduire la teneur en eau qui reste néanmoins à hauteur de 98 à 65 % selon la technologie, sauf en cas de séchage thermique ou solaire (moins de 20 % d'eau dans le produit final). Sur le département on peut distinguer les méthodes suivantes : les silos à boue, les silos à boues concentrées, les lits de séchage, les filtres à macrophytes, les poches filtrantes, les traitements mécaniques comme les filtres à bandes, les centrifugeuses, ou les filtres presses...

En complément de ces 2 dernières techniques, il peut être annexé un séchage thermique afin d'augmenter la siccité des boues (la siccité des boues représente le pourcentage massique de matières sèches).

Les dossiers récoltés pour l'analyse statistique traitaient majoritairement de la technique par filtres à macrophytes. C'est donc cette technique qui sera développée dans les paragraphes suivants.

Principe de fonctionnement du lit à macrophytes



Rhizocompostage sur la commune de Touquin, avec ouvrages en béton (Hydra)

Les lits à macrophytes sont des ouvrages en béton ou constitués d'une membrane étanche de 2,5 m de profondeur. Dans la partie inférieure, le massif filtrant, non colmatant, est composé de couches superposées de galets, graviers et sable grossier. Les roseaux sont plantés à raison de 4 à 9 plants par m².

Après une période d'enracinement, les boues liquides issues du bassin biologique sont introduites par le haut de l'ouvrage de façon la plus uniforme possible. Le développement des roseaux crée un réseau de tiges et de racines (rhizomes) qui favorisent l'écoulement des eaux interstitielles des boues jusqu'au système de drainage. Cette eau est ensuite recyclée en tête de la station d'épuration. La présence de roseaux permet l'épandage de couches successives de boues. Les périodes de reprise des boues se trouvent ainsi plus espacées. Les boues peuvent être stockées sur l'ensemble des lits présents sur le site de la station d'épuration pendant 5 années avant la première intervention. Ensuite, le curage sera plus régulier (un à deux ans).



Lits à macrophytes de Villiers saint Georges

Détermination des coûts associés à la création d'un lit à rhizophytes

Les coûts relatifs au traitement des boues ont été extraits du coût total de la construction station d'épuration. Ils ont été calculés à partir de la somme des coûts pour traiter des boues (ouvrages et équipements des extractions) et une partie des postes généraux du chantier.

Les postes généraux regroupent les études de conception, les travaux préparatoires, les essais et mises en route, les voiries lourdes, les clôtures et portail. Ils ont été calculés au prorata du coût total engendré par la construction de la station d'épuration complète.

Les formules suivantes ont été utilisées pour obtenir les **coûts spécifiques au traitement des boues** :

Coûts spécifiques au traitement des boues = Coûts de la filière boue (ouvrages et équipements) + Coûts des boues dans les postes généraux

Coûts des boues dans les postes généraux = Prorata filière boue x Coûts des postes généraux de la station (filière boue et eau)

Prorata filière boue =
$$\frac{\text{Coûts de la filière boue (ouvrages et équipements)}}{\text{Coûts de la station (filière boue et eau) : ouvrages et équipements, hors postes généraux}}$$

2) Critique de l'analyse

a) Présentation de l'échantillon

Afin d'obtenir des échantillons cohérents et homogènes sur les familles de coûts engendrés par la construction d'un traitement des boues par lit à rhizophytes, il a été décidé de diviser les dossiers en deux catégories :

1. Lit à rhizophytes avec mode d'étanchéité en génie civil (béton), sans fondations spéciales
2. Lit à rhizophytes avec mode d'étanchéité en génie civil (béton), avec fondations spéciales

Nb : le cas des lits à macrophyte/rhizophytes avec un mode d'étanchéité par géomembrane n'a pu être étudié du fait des données non homogènes, qui n'ont pas permis d'en faire une analyse statistique fiable

		Génie civil sans fondations spéciales	Génie civil avec fondations spéciales
Échantillon	Nombre de dossiers examinés	8	3
	Nombre de dossiers retenus	8	3
	Taux de refus	0 %	0 %
Indicateur technique	Indicateur	Capacité de traitement (en EH)	Capacité de traitement (en EH)
	Indicateur : valeur minimum	617	350
	Indicateur : valeur maximum	2 500	1 000
Coût opération	Montant mini	205 696 €	148 975 €
	Montant maxi	416 790 €	450 299 €
	Médiane	328 638 €	357 622 €
	Moyenne	329 629 €	318 965 €

L'échantillon comprend 11 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. La plage des données s'étend de 2007 à 2014.

Les montants de la création de lits à rhizophytes pour la filière boue sont compris entre 205 696 euros HT et 416 790 euros HT dans le cas d'une construction en génie civil sans fondations spéciales et entre 148 975 euros HT et 450 299 euros HT dans le cas d'une construction en génie civil avec fondations spéciales

L'indicateur technique choisi est ici la capacité de traitement du lit à rhizophytes en Equivalent-Habitant (EH). Elle représente la charge polluante théorique maximale pour laquelle le lit à rhizophytes a été conçu et influence donc l'ensemble du dimensionnement des ouvrages. Ainsi, les coûts de création des lits sont directement liés à leur capacité de traitement. La capacité de traitement a donc été identifiée comme indicateur, variable influençant le coût global d'opération.

On constate que, dans les deux cas, la médiane est assez proche de la moyenne, ce qui indique que la répartition des montants est relativement symétrique autour de la valeur moyenne (pas de montants particuliers qui pourrait « tirer » la moyenne vers le haut ou vers le bas).

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 1,6 dossier/an dans le cas du génie civil avec fondations spéciales et 1 dossier/an dans le cas du génie civil avec fondations spéciales. La capacité moyenne

constatée pour la création de lits à rhizophytes pour la filière boue lors des opérations étudiées est de 1 119 EH.

b) Critique des données

Il est difficile de juger de la pertinence de l'indicateur au vu du trop faible nombre de dossiers échantillonnés. L'analyse s'appuie donc sur des dires d'experts.

Sur cette opération, l'ensemble des dossiers a été retenu pour former l'échantillon. Le taux de refus est donc de 0 %.

La taille de l'échantillon est assez limitée.

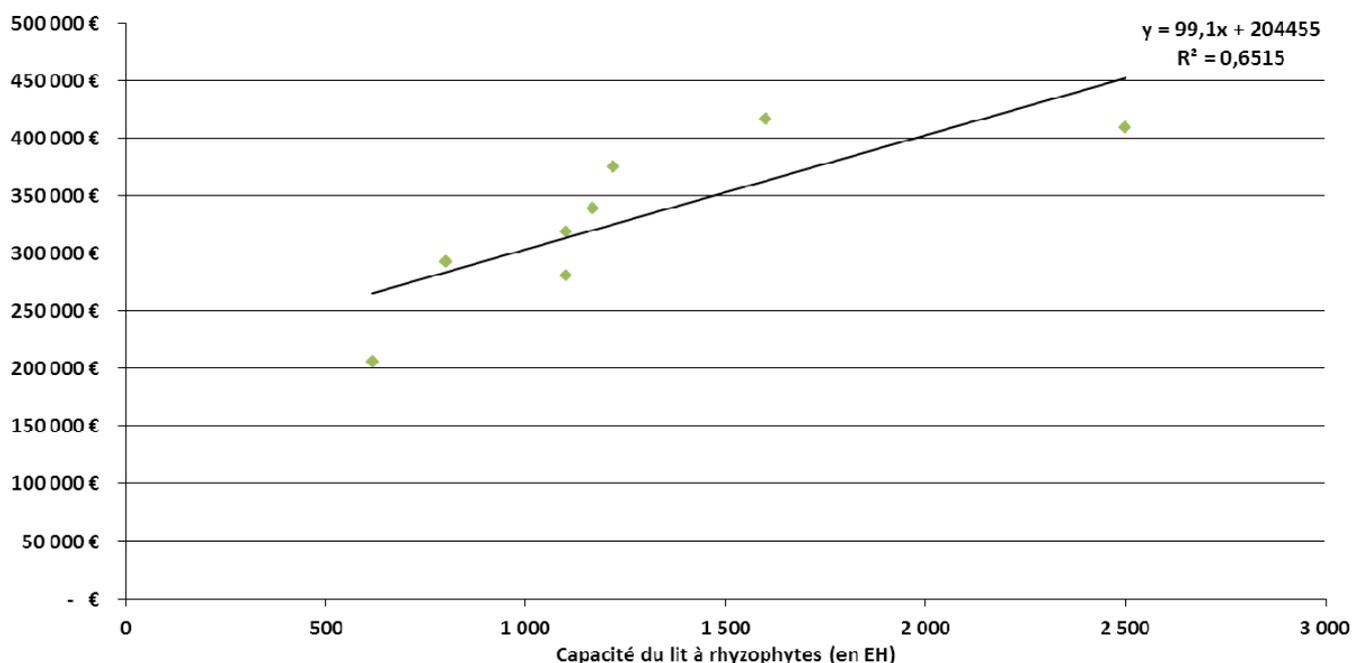
La plage de validité est bornée par les valeurs suivantes :

<i>Lits à rhizophytes</i>	
Génie civil sans fondations spéciales	Génie civil avec fondations spéciales
617 à 2 500 EH	350 à 1 000 EH

c) Résultats obtenus et fiabilité

Cas des lits à rhizophytes en génie civil sans fondations spéciales

Coûts d'investissement pour un lit à rhizophytes en fonction de sa capacité de traitement (en EH)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,65, ce qui n'est pas très satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut toutefois être utilisé pour estimer les coûts d'une opération de traitement des boues par lit à rhizophytes avec génie civil sans fondations spéciales, en tenant compte du fait que les résultats peuvent s'éloigner de la réalité. Cela peut s'expliquer par la faiblesse de la taille de l'échantillon qui ne permet pas d'obtenir des résultats représentatifs, du fait d'un panel de données insuffisant. Il faudra

également prendre les précautions nécessaires quand la capacité du lit est supérieure à 2 500 EH (borne supérieure de la plage de validité).

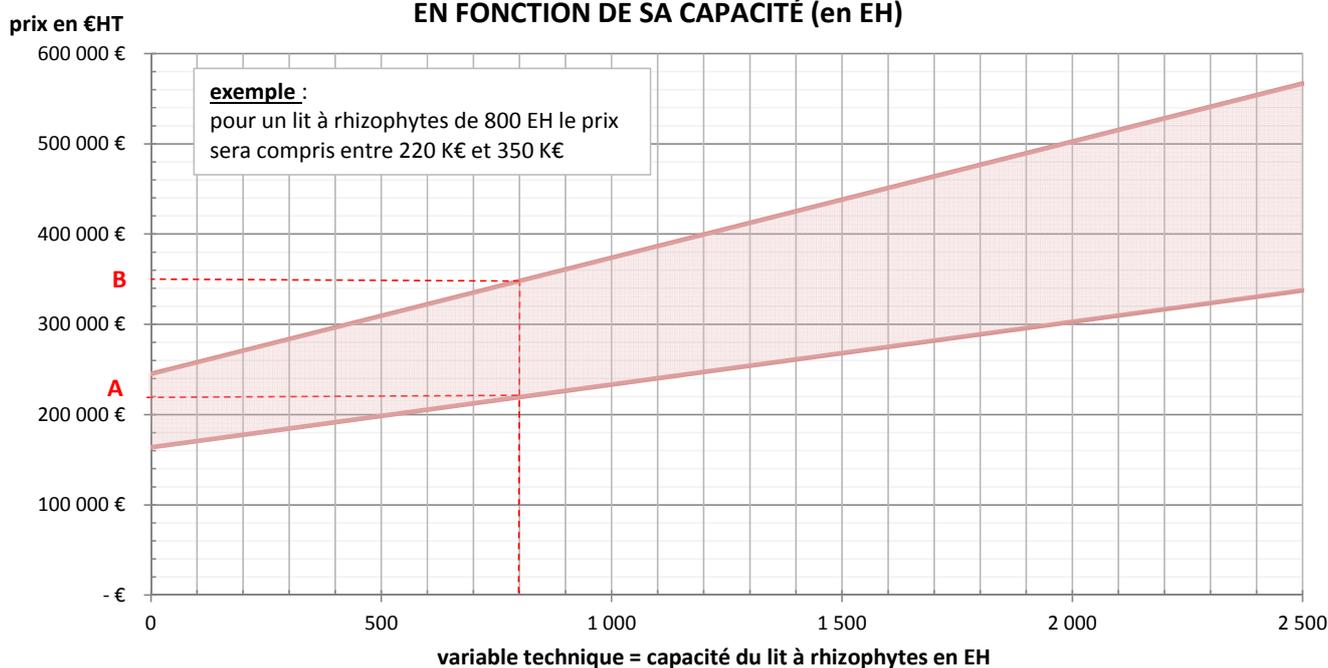
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 204 455 euros HT, représente les coûts incompressibles théoriques lors de la création d'un lit à rhizophytes (études géotechniques, études des sols...).

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = $99 (+ \text{ou} - 30) \times \text{capacité de traitement} + 204\,455 (+ \text{ou} - 40\,653)$
Formule estimation haute	$(99 + 30) \times \text{capacité de traitement} + (204\,455 + 40\,653)$
Formule estimation basse	$(99 - 30) \times \text{capacité de traitement} + (204\,455 - 40\,653)$
Variable technique	Capacité de traitement (en EH)
Taux de fiabilité	100 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 617 à 2 500 EH

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

**GRAPHIQUE DE SIMULATION DU PRIX D'UN LIT A RHIZOPHYTES
EN FONCTION DE SA CAPACITÉ (en EH)**

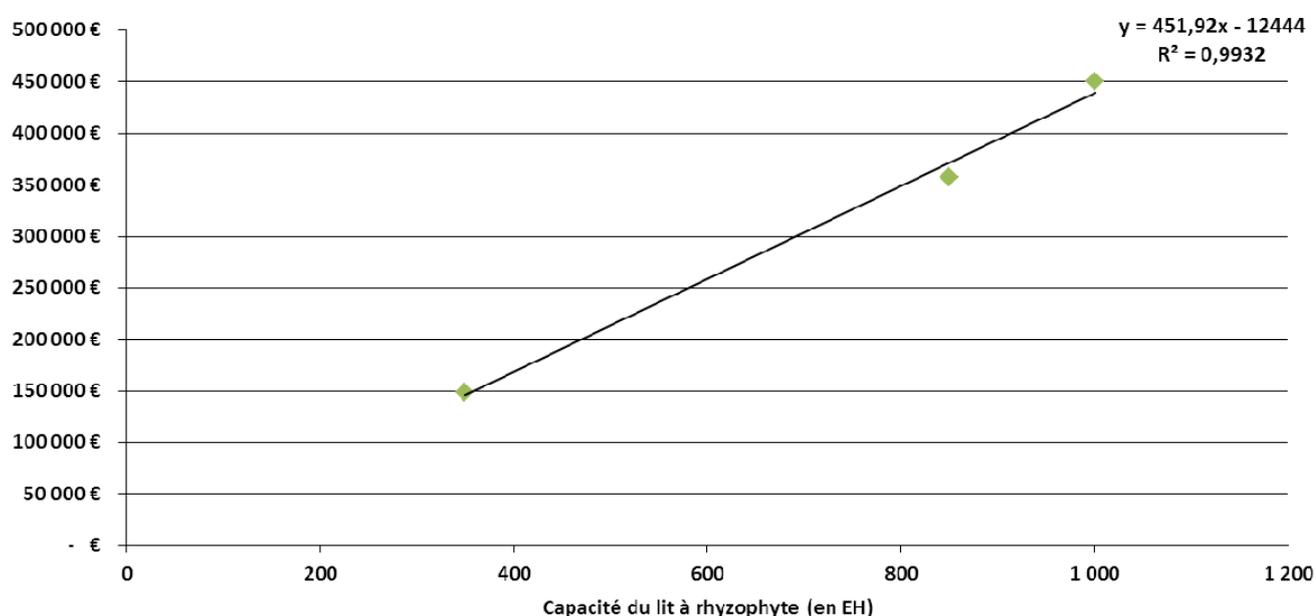


A titre d'exemple, pour une opération de création d'un lit à rhizophytes d'une capacité de 800 EH, le coût serait compris entre 220 000 euros HT et 350 000 euros HT.

Rentrer la capacité de traitement		800	EH
Estimation haute	348 059 €	arrondie à	350 000 €
Estimation basse	219 411 €	arrondie à	220 000 €
Le prix sera compris entre	220 000 €	et	350 000 €

Cas des lits à rhizophytes en génie civil avec fondations spéciales

Coûts d'investissements d'un lit à rhizophytes en fonction de sa capacité de traitement (en EH)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,99, ce qui est très satisfaisant, même s'il faut toutefois le tempérer par la taille de l'échantillon. En effet, le panel de données est très limité et ne permet pas de fournir un modèle représentatif de la réalité. Les résultats obtenus sont donnés à titre indicatif pour estimer les coûts d'une opération de création de traitement des boues par lit à rhizophyte avec génie civil avec fondations spéciales, mais sont à utiliser avec précaution, notamment quand la capacité du lit est supérieure à 1 000 m³ (borne supérieure de la plage de validité).

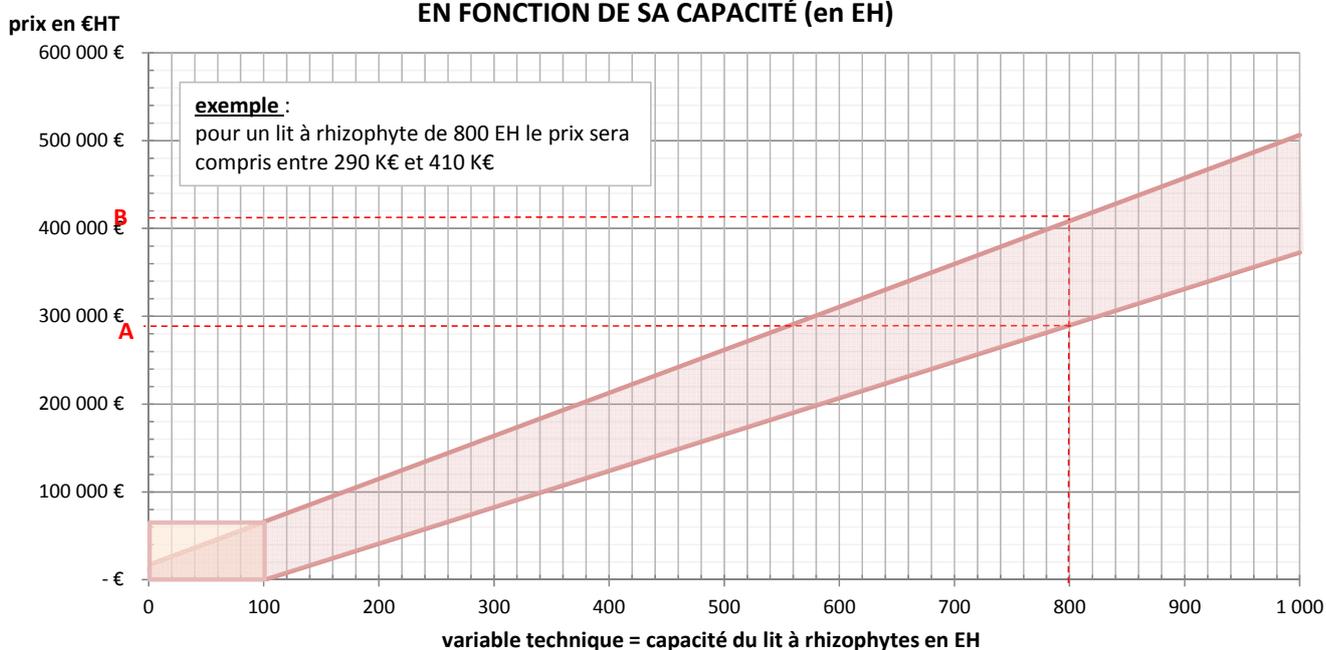
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, est négative et d'une valeur de - 12 444 euros HT, ceci indique qu'en deçà d'une certaine valeur de capacité de traitement, le modèle construit n'est pas pertinent pour estimer les coûts de construction des lits à rhizophytes. En effet, d'après les données à disposition, en dessous de 100 EH, le prix sera systématiquement au maximum évalué par le modèle. Il est difficile de linéariser les coûts de construction des lits, car l'échantillon de données est très limité.

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = 452 (+ ou - 37) x capacité de traitement – 124 444 (+ ou – 29 397)
Formule estimation haute	(452+ 37) x capacité de traitement – (124 444 + 29 397)
Formule estimation basse	(452 - 37) x capacité de traitement – (124 444 – 29 397)
Variable technique	Capacité de traitement (en EH)
Taux de fiabilité	100 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 350 à 1 000 EH

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

**GRAPHIQUE DE SIMULATION DU PRIX D'UN LIT A RHIZOPHYTES
EN FONCTION DE SA CAPACITÉ (en EH)**



A titre d'exemple, pour une opération de création d'un lit à rhizophytes d'une capacité de 800 EH, le coût serait compris entre 290 000 euros HT et 410 000 euros HT.

Rentrer la capacité de traitement	800	EH
Estimation haute	408 478 €	arrondie à 410 000 €
Estimation basse	289 709 €	arrondie à 290 000 €
Le prix sera compris entre	290 000 €	et 410 000 €

F. Réhabilitation des filières en assainissement non collectif

1) Description

Parmi les réglementations qui régissent le domaine de l'assainissement, la Directive Européenne du 21 mai 1991 traduite en droit français par la Loi sur l'Eau du 3 janvier 1992 impose aux habitations non raccordées à un réseau de collecte aboutissant à une station d'épuration, d'être équipées de dispositifs d'assainissement non collectif.

L'assainissement non collectif (ANC) appelé également assainissement individuel ou assainissement autonome est un dispositif d'assainissement permettant aux habitations non raccordées au réseau public d'assainissement collectif, d'assurer de manière autonome la dépollution de leurs eaux usées domestiques avant leur rejet dans le milieu naturel. Or pour garantir son bon fonctionnement, le système d'ANC, ne doit pas recevoir les eaux de pluie. Le système doit donc être parfaitement étanche et être réhabilité en cas de défaillances.



La typologie de l'assainissement non collectif

Un système d'assainissement non collectif (ANC) comprend en général des éléments suivants :

- un dispositif de collecte (tuyauterie),
- une fosse toutes eaux qui assure un prétraitement (décantation des matières solides et flottation des graisses) et est équipée de 2 ventilations (primaire et secondaire),
- un système de traitement sous forme d'épandage au travers de matériaux filtrants (cette étape assure la dépollution des eaux) :
 - tranchée filtrante utilisant le sol,
 - filtre à sable.
- un système de rejet sous deux formes :
 - dispersion dans le sol si sa perméabilité le permet,
 - rejet en milieu superficiel (fossé, cours d'eau) : cette méthode est dérogatoire et nécessite des autorisations du propriétaire du milieu récepteur.

Les matières de vidange

L'entretien des installations doit être régulier, ce qui nécessite l'évacuation des matières de vidange ou des boues. Cette opération doit être réalisée par des entreprises agréées par le Préfet. L'objectif est de fiabiliser la gestion et la traçabilité du devenir des matières de vidange ou matières assimilées.

La réhabilitation des filières d'assainissement non collectif

La réglementation a imposé aux collectivités d'assurer le diagnostic initial avant le 31 décembre 2012 et de procéder au contrôle périodique des installations, qui peut révéler ensuite une nécessité de mise à

niveau des infrastructures de traitement, afin qu'elles continuent d'assurer un traitement efficace des effluents.

En vue de limiter l'impact environnemental et compte tenu des difficultés auxquelles sont confrontés les particuliers pour assurer la mise en conformité de leurs installations, la réglementation offre la possibilité aux collectivités d'aider leurs administrés en prenant en charge la compétence entretien et/ou la compétence réhabilitation. Ces missions étant facultatives, c'est donc un choix de la part des élus.

Le plus souvent, lorsque les élus s'engagent, ils optent pour la compétence réhabilitation pour d'une part alléger la charge financière pesant sur les particuliers en obtenant des subventions, et d'autre part apporter un appui technique, grâce à une maîtrise d'œuvre spécialisée et « mutualisée ». Sous réserve de remplir certaines conditions, la collectivité peut ensuite lancer des opérations groupées de réhabilitation, en demandant une assistance aux partenaires financiers. La collectivité lance une consultation pour retenir un maître d'œuvre qui l'assistera tout au long de l'opération à savoir pendant la phase des études préalables et la phase travaux jusqu'à la réception des ouvrages par le SPANC

Pour les financeurs, l'objectif est de réduire de façon significative l'impact environnemental. Ceci sous-entend qu'il est nécessaire d'envisager ce type d'opération pour un lot de 30 à 50 installations.

La typologie des coûts de l'assainissement non collectif

Les différents coûts de cette opération sont résumés sur le schéma suivant :

Coûts opération – ANC

Coûts études

- Etude des caractéristiques de l'habitation pour estimer la capacité de traitement nécessaire.
- Etude des caractéristiques de la parcelle : aptitude du sol à la dispersion des eaux épurées ...
- Etude des caractéristiques de l'assainissement existant : prétraitement (collecte, dispositifs de prétraitement, vidange, ventilation, dimensionnement...), traitement (filière, positionnement, dimensionnement, regard de contrôle ...), état de fonctionnement et conformité ou non-conformité de l'installation à la réglementation en vigueur.
- Les frais relatifs à l'élaboration des projets des travaux de réhabilitation.
- Maîtrise d'œuvre : Le maître d'œuvre assure un rôle technique et administratif et doit coordonner toutes les phases, l'élaboration du projet de réhabilitation jusqu'à la réception des travaux.

Frais d'huissier, de l'ordre de 100 à 125 €HT, nécessaires pour effectuer un état des lieux des installations avant travaux

Coûts travaux

- Travaux de terrassement pour la recherche d'un ouvrage ou de canalisation existante
- Travaux de raccordement des eaux usées
- Les travaux de prétraitement : la ventilation, la fosse toutes eaux ou le bac dégraisseur
- Travaux de traitement : ils dépendent les types de la filière de traitement : la filière compacte, la filière de type filtre à sable vertical drainé ou non, ou la micro-station.
- Travaux annexes

Frais du Service Public d'Assainissement Non Collectif (SPANC) : redevance particulière destinée à financer les charges en lien avec le suivi administratif assuré par le SPANC.

2) Critique de l'analyse

a) Présentation de l'échantillon

Les données ont été étudiées et répertoriées selon leur type de filière de traitement. Trois catégories ont été identifiées :

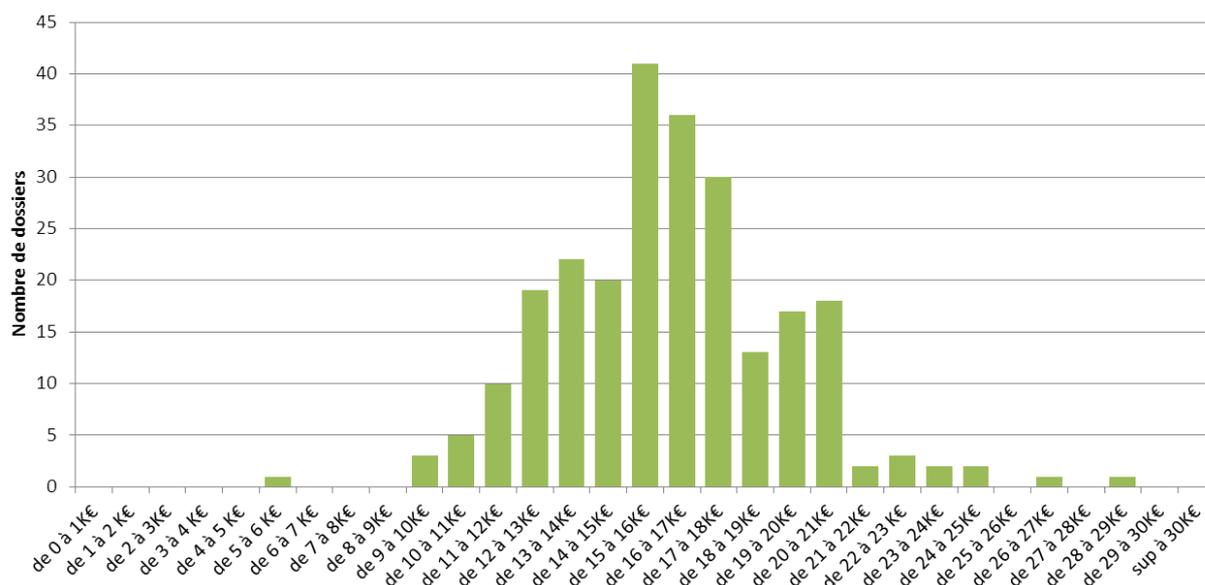
- Les filières compactes
- Les filières filtre vertical avec sol en place ou sol reconstitué
- Les micro-stations

L'échantillon comprend 1 691 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département. 1 677 ont été retenus pour l'analyse et sont répartis comme suit :

- 246 de la filière compacte
- 1 067 de la filière avec sol en place ou sol reconstitué
- 364 de la filière micro-station

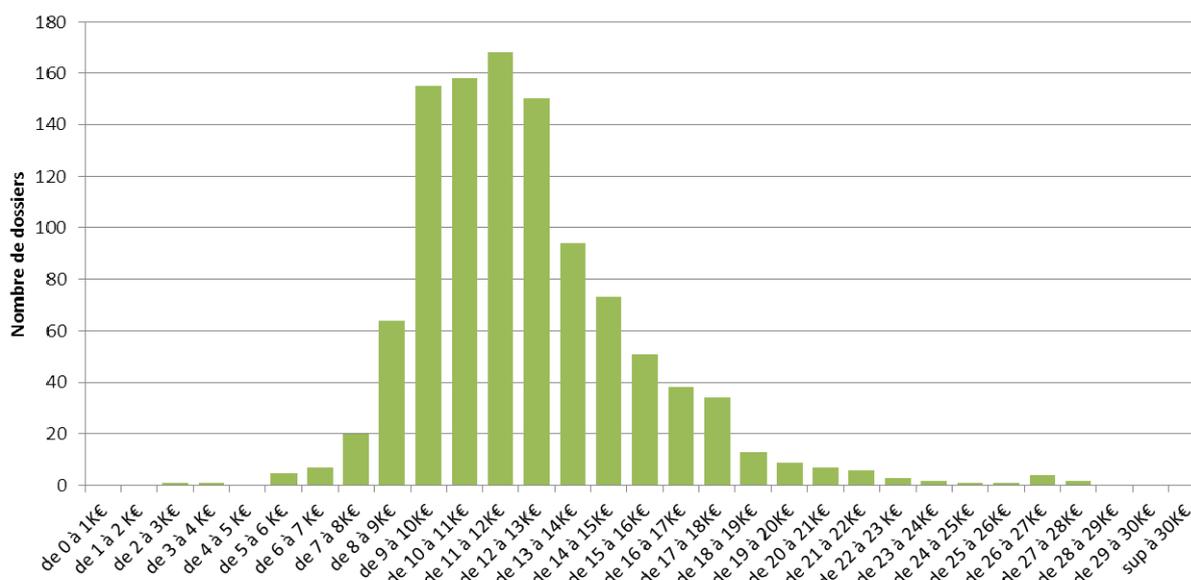
La plage des données s'étend de 2004 à 2014. Le taux de refus est de 1 %.

Répartition des dossiers échantillonnés - filière compacte en fonction des classes de prix



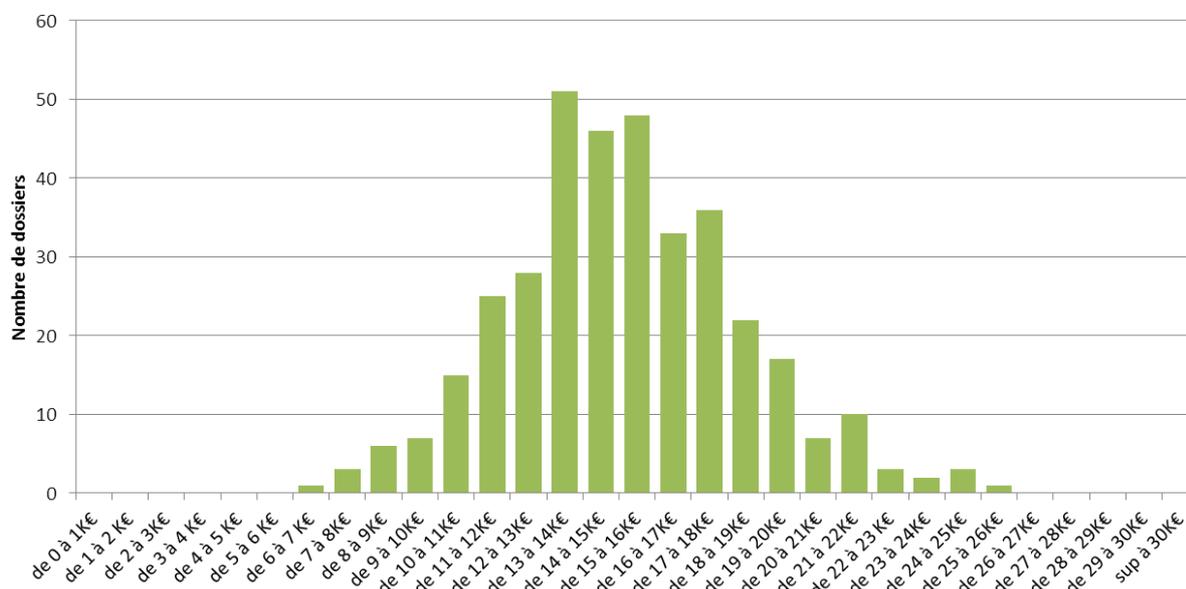
Pour la filière compacte, les coûts sont le plus souvent compris entre 10 000 euros HT et 21 000 euros HT, avec 43 % des dossiers compris entre 15 000 euros HT et 18 000 euros HT.

Répartition des dossiers échantillonnés - filière filtre vertical en fonction des classes de prix



Pour la filière filtre vertical, les coûts sont le plus souvent compris entre 8 000 euros HT et 18 000 euros HT, avec 68 % des dossiers compris entre 9 000 euros HT et 14 000 euros HT.

Répartition des dossiers échantillonnés - micro-station en fonction des classes de prix



Pour la filière filtre vertical, les coûts sont le plus souvent compris entre 11 000 euros HT et 20 000 euros HT, avec 40 % des dossiers compris entre 13 000 euros HT et 16 000 euros HT.

Dans les trois cas, les plus petites fourchettes (entre 7 500 euros HT et 10 000 euros HT) concernent des travaux d'améliorations de l'existant. Les fourchettes de coûts plus hautes peuvent concerner des ouvrages de plusieurs pièces.

b) Résultats obtenus et fiabilité

L'analyse s'est attachée à définir :

- Les coûts maximaux rencontrés bruts comparés, avec le percentile 90, montant pour lequel 90 % des échantillons ont une valeur inférieure
- Les coûts minimaux rencontrés bruts, comparés avec le percentile 10, montant pour lequel 90 % des échantillons ont une valeur supérieure

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

	Filière compacte	Filière filtre vertical avec sol en place ou sol reconstitué	Filière micro-station
Nombre d'ouvrage	246	1067	364
Coût moyen d'un ouvrage	16 167 €	12 995 €	15 183 €
Coût mini	5 757 €	2 576 €	6 550 €
Coût maxi	28 885 €	27 568 €	25 333 €
Centile 90	20 247 €	17 619 €	19 348 €
Centile 10	12 413 €	9 214 €	11 221 €
Ecartype	3 168 €	3 416 €	3 249 €

- **Pour la filière compacte** : la valeur moyenne des coûts est de 16 167 €HT. Le coût de cette opération est compris entre 5 757 €HT et 28 885 €HT.

10 % des chantiers affichent un coût supérieur à 20 247 €HT et 10 % des chantiers affichent un coût inférieur à 12 413 €HT.

12 500 €HT < Prix de la filière compacte < 20 000€ HT

- **Pour la filière en filtre vertical avec un sol en place ou un sol reconstitué** : la valeur moyenne des coûts est de 12 995 €HT. Le coût de cette opération est compris entre 2 576 €HT et 27 568 €HT. On constate que les coûts sont très variables, cela dépend notamment des caractéristiques des sols.

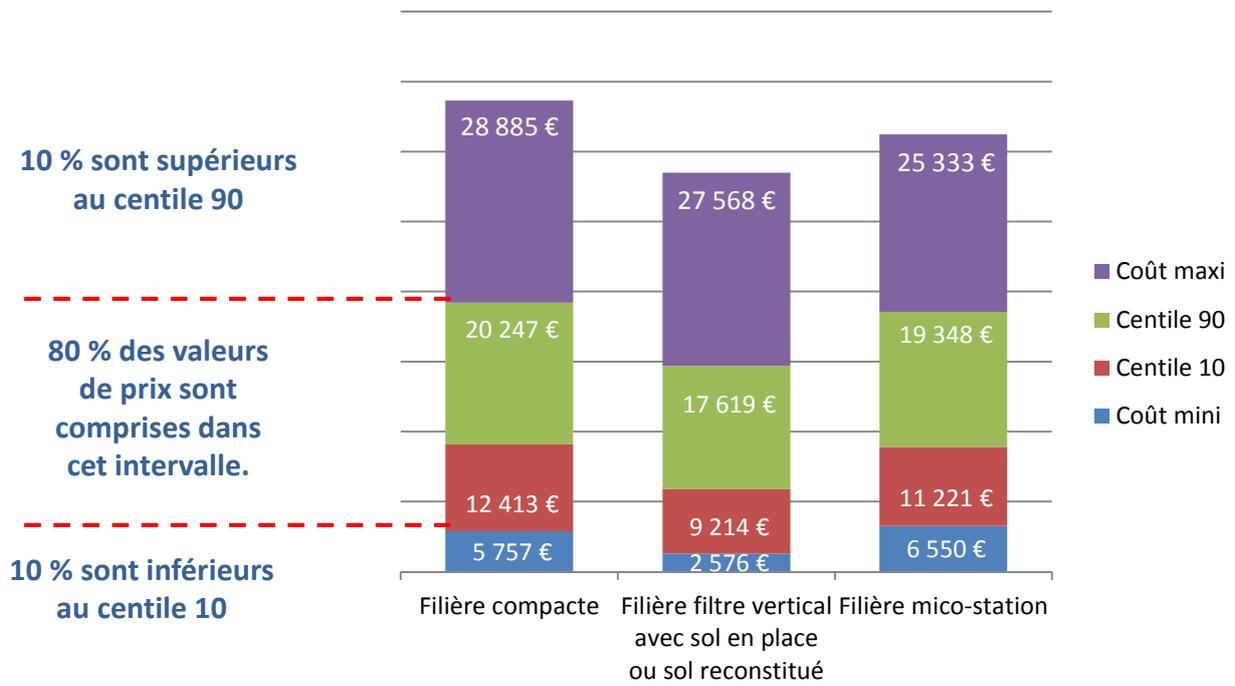
10 % des chantiers affichent un coût supérieur à 17 619 €HT et 10 % des chantiers affichent un coût inférieur à 9 214 €HT.

9 000 €HT < Prix de la filière filtre vertical < 18 000€ HT

- **Pour la filière micro - station** : la valeur moyenne des coûts est de 15 183 €HT. Le coût de cette opération est compris entre 6 550 €HT et 25 333 €HT. Il y a 10 % des chantiers dont le coût est supérieur à 19 348 €HT et 10 % des chantiers dont le coût est inférieur à 11 221 €HT.

11 000 €HT < Prix de la filière compacte < 19 000€ HT

- Les coûts minimum sont des cas particuliers, car ils ont certainement été constatés sur des réhabilitations partielles d'ouvrages d'assainissement non collectif. Les coûts minimum sont donc inférieurs à ceux que l'on pourrait constater dans la réhabilitation d'une filière complète.



Les filières des filtres verticaux avec sol en place ou sol reconstitué sont moins coûteuses au regard des filières compactes ou des micro-stations.

G. Synthèse

Opération		Variable technique	Intervalle de confiance	Formule
Création de réseau d'assainissement		Linéaire de réseau (en m)	De 65 à 9 600 m	Prix théorique = 558 (+ ou - 25) x linéaire de réseau + 114 414 (+ ou - 36 186)
Station d'épuration	Capacité inférieure à 2 000 EH, sans bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	350 à 1 700 EH	Prix théorique = 744 (+ ou - 155) x capacité de traitement + 314 583 (+ ou - 191 134)
	Capacité supérieure à 2 000 EH, sans bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	2 500 à 33 300 EH	Prix théorique = 316 (+ ou - 11) x capacité de traitement + 961 797 (+ ou - 138 528)
	Capacité inférieure à 2 000 EH, avec bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	600 à 1 800 EH	Prix théorique = 765 (+ ou - 95) x capacité de traitement + 518 228 (+ ou - 120 170)
	Capacité de la station supérieure à 2 000 EH, avec bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	2 165 à 60 000 EH	Prix théorique = 388 (+ ou - 9) x capacité de traitement + 1 045 912 (+ ou - 156 263)
Station d'épuration	Avec bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	50 à 1 500 EH	Prix théorique = 589 (+ ou - 45) x capacité de traitement + 137 245 (+ ou - 23 732)
Type Filtres plantés de roseaux	Sans bassin d'orage	Capacité de traitement (en EH)	720 à 1 200 EH	Prix théorique = 612 (+ ou - 217) x capacité de traitement + 171 773 (+ ou - 211 981)

Opération		Variable technique	Intervalle de confiance	Formule
Traitement des boues par lit à macrophytes	en génie civil, sans fondations spéciales	Capacité de traitement (en EH)	617 à 2 500 EH	Prix théorique = 99 (+ ou - 30) x capacité de traitement + 204 455 (+ ou - 40 653)
	en génie civil, avec fondations spéciales	Capacité de traitement (en EH)	350 à 1 000 EH	Prix théorique = 452 (+ ou - 37) x capacité de traitement – 124 444 (+ ou – 29 397)
Réhabilitation des filières d'assainissement	Filière compacte	Coûts moyens		16 167 €
	Filière filtre vertical			12 995 €
	Micro-stations			15 183 €

IV. Les opérations en rivière

A. Les enjeux liés aux opérations en rivière en Seine-et-Marne

Avec ses 1 850 km de cours d'eau, le département possède un réseau hydrographique particulièrement développé, occupant pratiquement tout le département à l'exception de la région sud-ouest, située entre le Loing et l'Essonne, correspondant au plateau du Gâtinais.

Ce réseau s'organise autour de 3 cours d'eau principaux qui sont :

- **Au nord** : la Marne et ses affluents (775 km) comprenant le Petit Morin, l'Ourcq, le Grand Morin, la Théroutanne, la Beuvronne et la Gondoire.
- **Au centre** : l'Yerres et ses affluents (306 km) comprenant le ru d'Yvron, la Visandre, le ru d'Avon, la Marsange et le Réveillon.
- **Au sud** : la Seine et ses affluents (589 km) comprenant la Voulzie, l'Auxence, l'Yonne, le Loing et ses affluents, le ru d'Ancoeur, le ru des Hauldres, l'Ecole.



Des centaines de kilomètres de cours d'eau seine-et-marnais ont vu, depuis plusieurs décennies, leurs caractéristiques morphologiques et dynamiques fortement détériorées par des interventions humaines les plus diverses de type busage, déplacement du lit, rescindement de méandres, recalibrage, suppression de ripisylve, protection de berge, endiguement, merlons de curage, seuils et autres ouvrages transversaux. Or, les caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau conditionnent l'état et le fonctionnement écologiques des milieux aquatiques. C'est pourquoi, la restauration physique des cours d'eau est l'une des priorités de la DCE.

L'entretien régulier des berges et du lit mineur est ainsi indispensable au maintien en bon état des cours d'eau. L'entretien est à la charge des propriétaires fonciers, mais, en cas de défaillance, les collectivités peuvent se substituer aux particuliers pour réaliser cette opération.

B. Les opérations d'entretien de rivières

1) Description

Les dégradations des cours d'eau

Les dégradations des cours d'eau peuvent être de différentes natures. On peut notamment relever :

- Des embâcles (ou amas de branches et troncs d'arbres) qui font obstacle à l'écoulement des eaux
- L'explosion de la végétation aquatique en période estivale.



Exemple : embâcles sur la Fontaine au Beurre



Exemple : explosion de végétation sur l'Ecole

- L'atterrissement au-dessus du fil de l'eau
- Des végétaux envahissants



Exemple : atterrissement Vallée Javot



Exemple : végétation envahissante sur le ru de la vallée Javot

Définition des travaux d'entretien des rivières

Les travaux d'entretien régulier comportent :

- des actions de gestion de la végétation des berges et de la végétation aquatique (faucardage),
- l'enlèvement des embâcles et des bouchons qui font obstacle à l'écoulement des eaux,
- le confortement des protections de berge et la maintenance des pistes et des ouvrages.
- l'entretien des ripisylves qui évite le réchauffement de l'eau et limite la pollution des cours d'eau par les engrais et pesticides agricoles.

Les travaux permettent de maintenir le cours d'eau dans son profil d'équilibre et son bon état écologique, d'assurer son écoulement normal, de préserver les ripisylves et de stabiliser les berges notamment lors des crues.

Le déroulé d'un entretien de cours d'eau

La procédure suit les étapes suivantes :

- Vérification de l'état initial : constatation des problèmes sur le cours d'eau
- Proposition de travaux
- Identification des incidences des travaux sur le milieu
- Réalisation de l'entretien

Maîtriser le coût de l'entretien

Le programme de travaux est construit sur le bilan de l'état initial mais dépend également des décisions des syndicats gestionnaires et de leur stratégie propre. Les syndicats peuvent ainsi maîtriser l'entretien de rivière et les coûts qui en découlent, en optimisant les dépenses, bien en amont de la réalisation des travaux.

Les différents types de cours d'eau

Les rivières sont regroupées selon 3 types, qui permettent d'affiner l'analyse des coûts:

- **Type 1** : --- Les cours d'eau temporaires
- **Type 2** : __ Les petits cours d'eau
- **Type 3** : == Les grands cours d'eau

Coûts opération – Entretien de rivières

Coûts travaux

- **Entretien de la végétation des berges (ripisylve)** : cette opération consiste en un débroussaillage sélectif des talus et du fond du cours d'eau, un élagage des branches basses et un abattage des arbres trop penchés ou morts présentant un fort risque de chute. Ces travaux permettent de conserver un développement harmonieux de la ripisylve le long du cours d'eau, d'alterner les zones d'ombre et de lumière au-dessus du cours d'eau et de diversifier les essences sur les berges.
- **Faucardage** : cette activité consiste à enlever les renoncules et les autres plantes aquatiques gênant l'écoulement des eaux.
- **Retrait d'embâcles tombés en travers du cours d'eau (branches et troncs d'arbre)** et entravant le libre écoulement des eaux.

2) Critique de l'analyse

a) Présentation de l'échantillon

Recueil de données

L'ensemble des dossiers ont été recueillis dans les opérations supervisées par le Département mais également par l'Entente Marne, qui est une institution interdépartementale. Elle est issue de la collaboration entre cinq Départements : la Marne, l'Aisne, la Haute-Marne, la Seine-et-Marne et la Meuse. Ces cinq Départements gèrent ensemble les 5 250 km de cours d'eau de la Marne et de ses affluents. Ses rôles sont la limitation des inondations, la préservation des écosystèmes aquatiques, l'entretien des cours d'eau et la protection des zones humides.

Les syndicats concernés par l'Entente Marne comprennent :

- SIAG Rivière Ourcq
- SMAE de la Théroutanne
- SIA du Bassin Amont Aubetin
- SIEE Bassin Haute Beuvronne
- SI Vallée du Haut Morin
- SMETA Bassin Grand Morin
- SIA Aval du Petit Morin
- SIA du Ru de Lochy

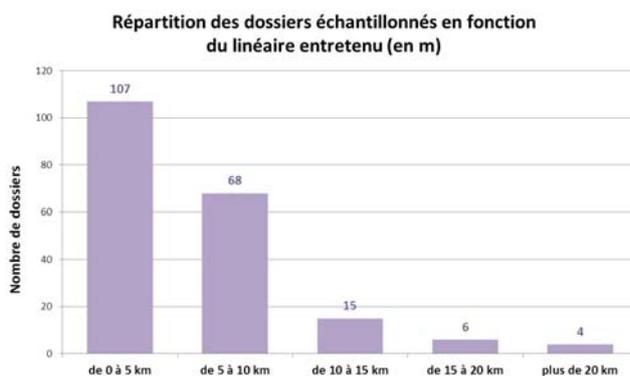
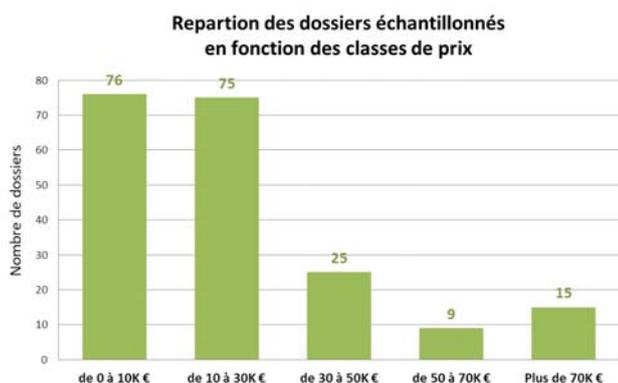
Tri des données

Afin d'obtenir des échantillons cohérents et homogènes, il a été décidé de diviser les dossiers en différentes catégories :

- **Type 1** : --- Les cours d'eau temporaires
- **Type 2** : __ Les petits cours d'eau
- **Type 3** : == Les grands cours d'eau

Les descriptions suivantes reprennent cette répartition :

		Type 1	Type 2	Type 3
Échantillon	Nombre de dossiers examinés	24	147	45
	Nombre de dossiers retenus	23	138	39
	Taux de refus	4 %	6 %	13 %
Indicateur technique	Indicateur	Linéaire entretenu (en mètre linéaire)	Linéaire entretenu (en mètre linéaire)	Linéaire entretenu (en mètre linéaire)
	Indicateur : valeur minimum	2 400	550	1 280
	Indicateur : valeur maximum	9 500	21 300	13 400
Coût opération	Montant mini	3 259 €	2 598 €	6 403 €
	Montant maxi	23 777 €	83 150 €	116 521 €
	Médiane	13 977 €	11 210 €	45 686 €
	Moyenne	13 385 €	17 104 €	51 250 €



Dans un premier temps, 240 dossiers ont été collectés. Après un premier examen, les dossiers relatifs à des travaux en cours et les cas particuliers ont été éliminés pour aboutir à un échantillon brut de 216 dossiers. Puis en analysant plus finement par catégorie, les valeurs les plus éloignées de l'écart-type ont été supprimées pour aboutir à un échantillon, toutes catégories confondues, de 200 dossiers, qui ont fait l'objet d'une subvention du Département.

La plage des données s'étend de 2007 à 2014.

Les montants de l'entretien de rivière sont compris entre 2 598 euros et 116 521 euros.

L'indicateur technique qui est apparu le plus pertinent est le mètre linéaire entretenu. De plus, de par la distribution du nombre de dossiers en fonction soit des coûts, soit du linéaire de rivière entretenu, les tendances sont très proches. Il semblerait donc qu'il y ait une cohérence entre l'indicateur technique choisi et les coûts observés.

On constate que dans les trois cas, la médiane est assez proche de la moyenne, ce qui indique que la répartition des montants est relativement symétrique autour de la valeur moyenne

Le nombre moyen de dossiers analysés est de 25 dossiers/an. Le linéaire entretenu moyen, toutes catégories confondues, est de 5 893 m.

b) Critique des données

Il existe des limites à cet indicateur qui peuvent influencer les résultats de l'analyse statistique. En effet, le linéaire de rivière entretenu n'est pas le seul paramètre qui intervient dans les coûts d'entretien. En effet, il peut y avoir des ouvrages ou des contextes particuliers (difficultés d'accès, ouvrages à franchir), qui peuvent augmenter les coûts d'entretien. Le calcul des incertitudes en tient compte, ce qui réduit d'autant plus la précision et augmentera la taille de l'enveloppe de prix au final.

Sur cette opération, les taux de refus, selon les catégories, peuvent être résumés dans le tableau suivant :

Rivière de type 1	Rivière de type 2	Rivière de type 3
4 %	6 %	13 %

Les plages de validité sont bornées par les valeurs suivantes, selon les catégories :

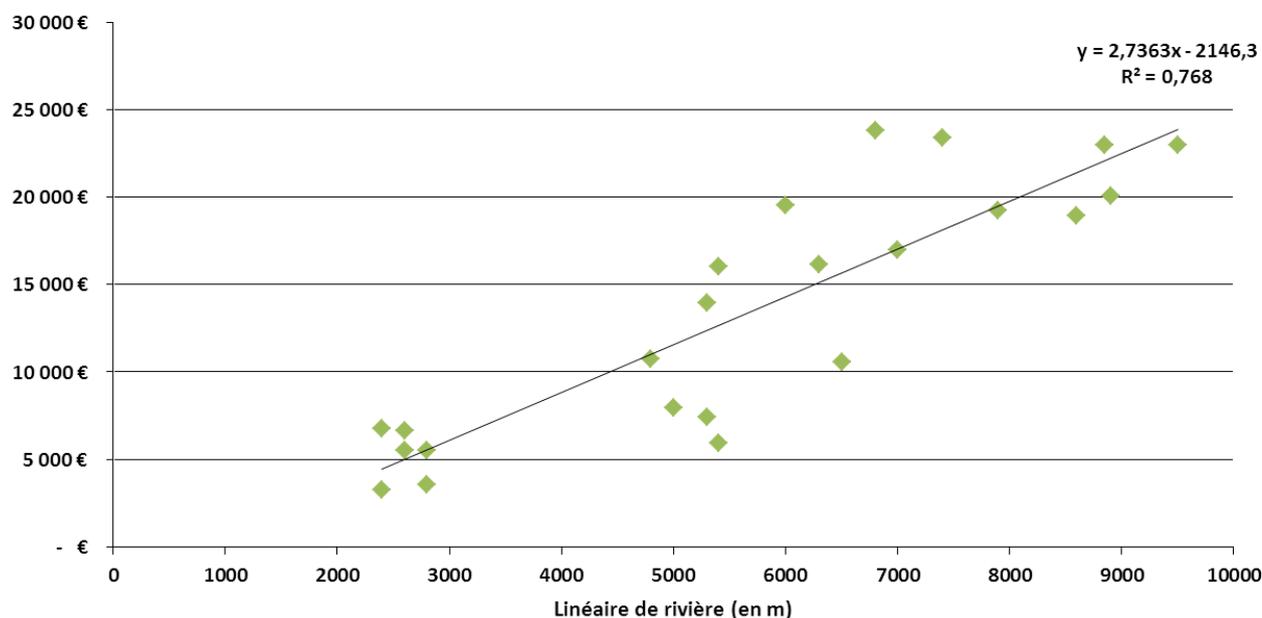
Rivière de type 1	Rivière de type 2	Rivière de type 3
De 2 400 m à 9 500 m	De 500 à 21 300 m	De 1 280 à 13 400 m

Au-delà de ces valeurs, la fiabilité de la formule n'est plus assurée.

c) Résultats obtenus et fiabilité

Rivière de type 1

Coûts d'investissement d'entretien de rivière - rivière de type 1 en fonction du linéaire entretenu (en m)



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,77, ce qui est assez satisfaisant, mais l'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, est négative avec une valeur de -2 146 euros TTC. Ceci indique qu'en deçà d'une certaine valeur de linéaire, le modèle construit n'est pas pertinent pour estimer les coûts d'entretien de rivière. En effet, d'après les données à disposition, en dessous de 1 750 m, le prix sera systématiquement au maximum évalué par le modèle.

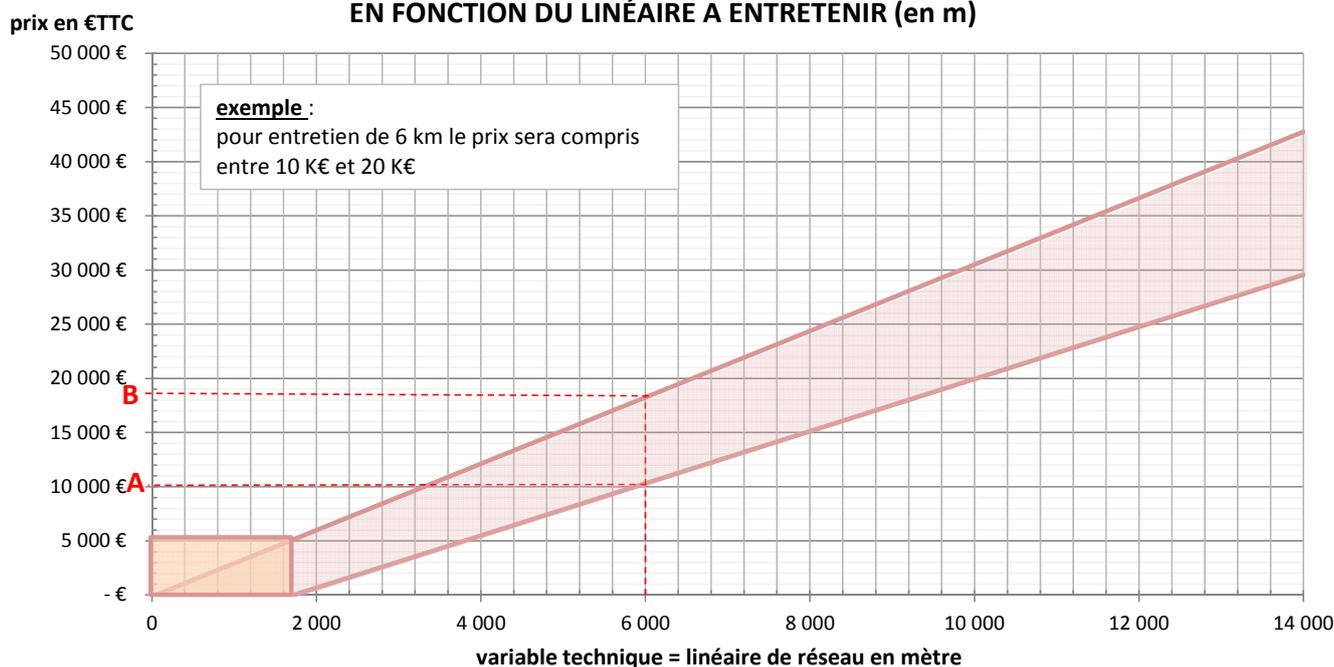
Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération d'entretien de rivière, pour les rivières de type 1, tout en prenant les précautions nécessaires quand le linéaire de rivière est supérieur à 9 500 m (borne supérieure de la plage de validité).

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = $2,74 (+ \text{ou} - 0,3) \times \text{linéaire de rivière} - 2\,146 (+ \text{ou} - 2\,002)$
Formule estimation haute	$(2,74 + 0,3) \times \text{linéaire de rivière} - (2\,146 + 2\,002)$
Formule estimation basse	$(2,74 - 0,3) \times \text{linéaire de rivière} - (2\,146 - 2\,002)$
Variable technique	Linéaire de rivière (en m)
Taux de fiabilité	96 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 2 400 m à 9 500 m

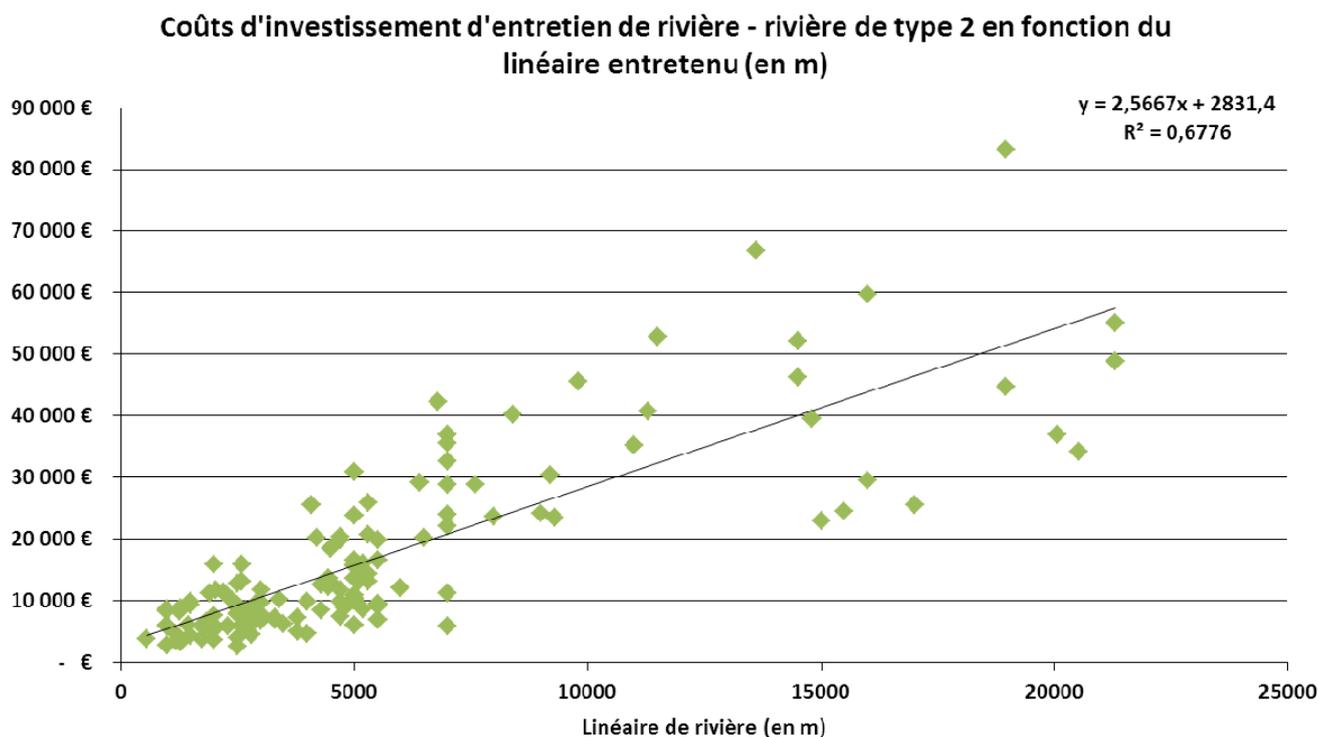
Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT DE L'ENTRETIEN D'UN COURS D'EAU TEMPORAIRE EN FONCTION DU LINÉAIRE A ENTRETENIR (en m)



A titre d'exemple, pour une opération d'entretien de 6 000 ml de rivière de type 1, le coût serait compris entre 10 000 euros TTC et 20 000 euros TTC.

Rentrer le linéaire		6 000	ml
Estimation haute	18 242 €	arrondie à	20 000 €
Estimation basse	10 301 €	arrondie à	10 000 €
Le prix sera compris entre	10 000 €	et	20 000 €



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,68, ce qui est relativement satisfaisant. Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération d'entretien de rivière, pour les rivières de type 2, tout en prenant les précautions nécessaires quand le linéaire de rivière est supérieur à 21 300 m (borne supérieure de la plage de validité).

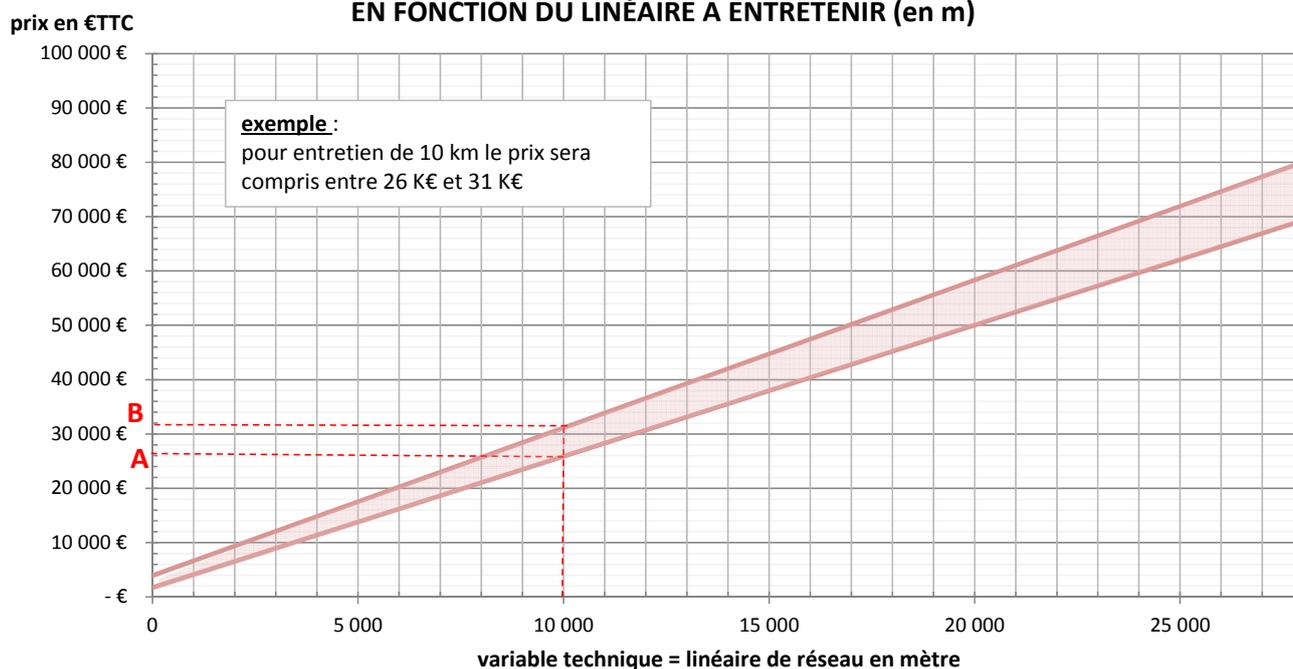
L'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, d'une valeur de 2 831 euros TTC, représente les coûts incompressibles lors de l'entretien de rivière.

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = $2,56 (+ \text{ou} - 0,15) \times \text{linéaire de rivière} + 2\ 831 (+ \text{ou} - 1\ 107)$
Formule estimation haute	$(2,56 + 0,15) \times \text{linéaire de rivière} + (2\ 831 + 1\ 107)$
Formule estimation basse	$(2,56 - 0,15) \times \text{linéaire de rivière} + (2\ 831 - 1\ 107)$
Variable technique	Linéaire de rivière (en m)
Taux de fiabilité	94 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 500 à 21 300 m

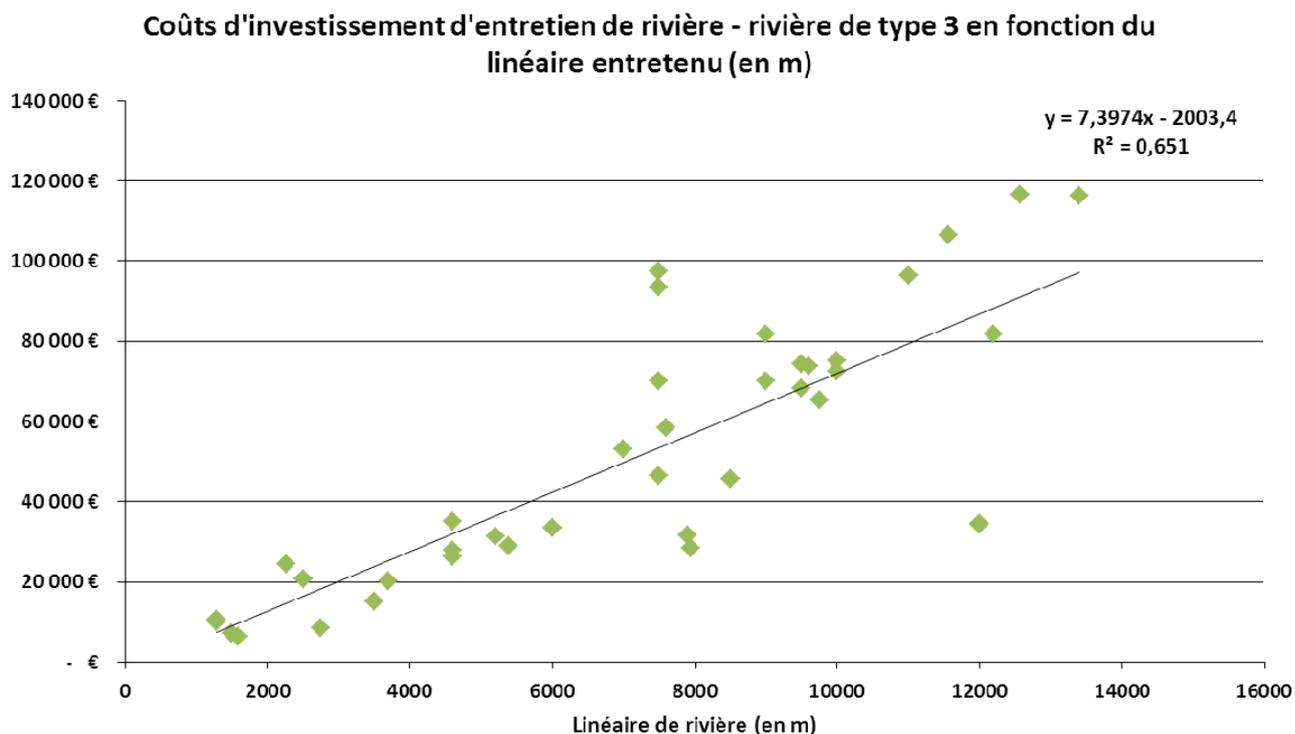
Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT DE L'ENTRETIEN D'UN COURS D'EAU PERMANENT EN FONCTION DU LINÉAIRE A ENTRETENIR (en m)



A titre d'exemple, pour une opération d'entretien de 10 000 ml de rivière de type 2, le coût serait compris entre 26 000 euros TTC et 31 000 euros TTC.

Rentrer le linéaire		10 000	ml
Estimation haute	31 124 €	arrondie à	31 000 €
Estimation basse	25 873 €	arrondie à	26 000 €
Le prix sera compris entre	26 000 €	et	31 000 €



La courbe de tendance la mieux adaptée au nuage de points obtenu est une régression linéaire du type « $y = ax + b$ », qui modélise la relation fonctionnelle entre les deux variables.

On obtient en effet un coefficient de corrélation R^2 de 0,65, ce qui est relativement satisfaisant, mais l'ordonnée à l'origine, obtenue pour $a = 0$, est négative avec une valeur de -2 003 euros TTC. Ceci indique qu'en deçà d'une certaine valeur de linéaire, le modèle construit n'est pas pertinent pour estimer les coûts d'entretien de rivière. En effet, d'après les données à disposition, en dessous de 1 350 m, le prix sera systématiquement au maximum évalué par le modèle.

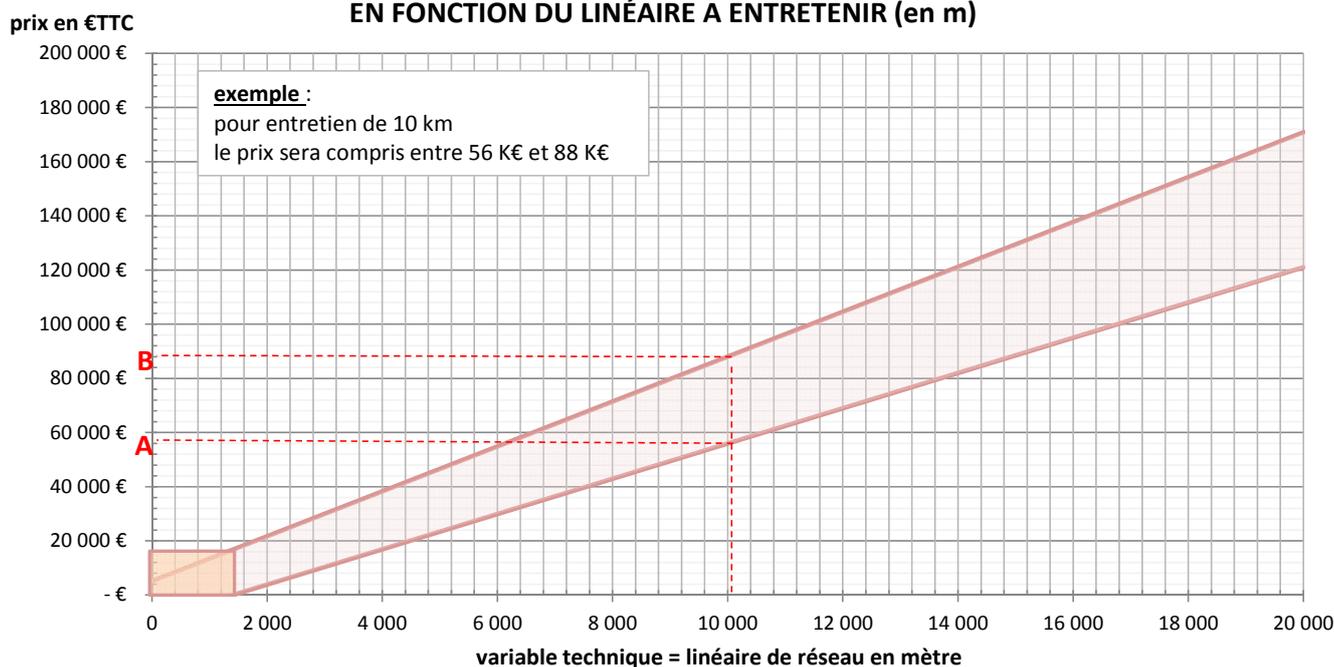
Le modèle ainsi construit peut être utilisé pour estimer les coûts d'une opération d'entretien de rivière, pour les rivières de type 3, tout en prenant les précautions nécessaires quand le linéaire de rivière est supérieur à 13 400 m (borne supérieure de la plage de validité).

Ainsi, on obtient la formule suivante qui prend en compte les erreurs types sur les coefficients « a » et « b » :

Formule	Prix théorique = $7,39 (+ \text{ou} - 0,9) \times \text{linéaire de rivière} - 2\ 003 (+ \text{ou} - 7\ 124)$
Formule estimation haute	$(7,39 + 0,9) \times \text{linéaire de rivière} - (2\ 003 + 7\ 124)$
Formule estimation basse	$(7,39 - 0,9) \times \text{linéaire de rivière} - (2\ 003 - 7\ 124)$
Variable technique	Linéaire de rivière (en m)
Taux de fiabilité	87 % des dossiers échantillonnés ont été conservés pour l'analyse
Intervalle de confiance	De 1 350 à 13 400 m

Le graphe de simulation suivant permet de visualiser la simulation des coûts d'opération, en prenant en compte l'erreur-type qui permet d'obtenir une fourchette la plus précise possible.

GRAPHIQUE DE SIMULATION DU COÛT DE L'ENTRETIEN D'UN GRAND COURS D'EAU PERMANENT EN FONCTION DU LINÉAIRE A ENTRETENIR (en m)



A titre d'exemple, pour une opération d'entretien de 10 000 ml de rivière de type 3, le coût serait compris entre 56 000 euros TTC et 88 000 euros TTC.

Rentrer le linéaire		10 000	ml
Estimation haute	88 001 €	arrondie à	88 000 €
Estimation basse	55 941 €	arrondie à	56 000 €
Le prix sera compris entre	56 000 €	et	88 000 €

C. Synthèse

Opération		Variable technique	Intervalle de confiance	Formule
Entretien de rivière	Cours d'eau temporaires	Linéaire de rivière entretenu (en m)	De 2 400 m à 9 500 m	Prix théorique = 2,74 (+ ou – 0,3) x linéaire de rivière - 2 146 (+ ou - 2 002)
	Petits cours d'eau	Linéaire de rivière entretenu (en m)	De 500 à 21 300 m	Prix théorique = 2,56 (+ ou – 0,15) x linéaire de rivière + 2 831 (+ ou - 1 107)
	Grands cours d'eau	Linéaire de rivière entretenu (en m))	De 1 350 à 13 400 m	Prix théorique = 7,39 (+ ou – 0,9) x linéaire de rivière - 2 003 (+ ou – 7 124)

Département de Seine-et-Marne
Direction de l'eau, de l'environnement et de l'agriculture
Hôtel du Département
CS 50377 - 77010 Melun cedex
<http://eau.seine-et-marne.fr>
sde@departement77.fr

seine-et-marne.fr  

SEINE & MARNE 
LE DÉPARTEMENT