HAL
open science

Projet Terres de Sources AMI-TIGA Développement d'un modèle économique Etude des coûts évités Rapport complet

Pierre Dupraz, Thibault Salou, Alexandre Gohin

To cite this version:

Pierre Dupraz, Thibault Salou, Alexandre Gohin. Projet Terres de Sources AMI-TIGA Développement d'un modèle économique Etude des coûts évités Rapport complet. [Rapport Technique] 2019. hal-02788289

HAL Id: hal-02788289

https://hal.inrae.fr/hal-02788289v1

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Projet Terres de Sources AMI-TIGA

Développement d'un modèle économique

Etude des coûts évités

Rapport complet

Version finale Mars 2019

Thibault SALOU, Alexandre Gohin, Pierre Dupraz

SMART-LERECO, AGROCAMPUS OUEST, INRA, 35000, Rennes, France

Table des matières

Rapport complet 1
1. Pré-étude du projet Terres de Sources 5
1.1. Contexte et objectifs 5
1.2. Méthode 5
2. Description du service de production d'eau potable 5
2.1. Les installations 5
2.2. Les stratégies mises en œuvre pour l'approvisionnement en eau 6
2.3. Structure des coûts actuels 8
3. Méthodologie 12
3.1. Périmètre étudié 12
3.2. Données 12
3.3. Coûts évités 16
3.4. Analyses statistiques 16
3.5. Scénarios 17
4. Résultats 20
4.1. Statistiques descriptives – Analyses des corrélations entre variables 20
4.2. Estimation des paramètres 24
4.3. Résultats de simulation 24
5. Conclusions 27
Annexe 1 : Statistiques descriptives tous captages confondus et par captage 28
Tous captages confondus : 29
Par captage – Données techniques 31
Par captage – Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Phytosanitaires 33
Par captage – Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Paramètres physicochimiques et biologiques 35
Analyses des corrélations entre variable par captage 41
Annexe 2 : Résultats des simulations 46
Résultats des simulations sur les données observées : « 2017 » et « Illustratif -50% ». 47
Résultats des simulations sur les données projetées en 2030 : « Tendanciel », « -50% », « TerresDécantation » et « SEQ-Eau ». 47
Annexe 3 : Guide d'utilisation du fichier de simulation des coûts évités 48
Description du fichier 48
Paramétrage des simulations 48
Années de simulation 48
Niveau des indicateurs de qualité des eaux 49

Evolution des prix et volumes 50
Visualisation des résultats 50
Annexe 4 : Synthèse 51

Liste des figures

Figure 1 : Volumes d'eau produits en 2016 et 2017 par les différentes unités de production de la CEBR/SPL. 9
Figure 2 : Coûts de production totaux et par m3 pour les années 2016 et 2017. 10
Figure 3 : Décomposition des coûts de production par m3 en 2016 et 2017. 10
Figure 4 : Composition des coûts liés aux réactifs en 2016 et 2017. 11
Figure 5 : Représentation schématique de la filière de production et de distribution d'eau potable. Limites du système considéré. 12
Figure 6 :Répartition des prélèvements entre les différents captages. 25
Figure 7 : Répartition des prélèvements entre les différents captages pour les différents scénarios testés. 26

Liste des tableaux

Tableau 1 : Descriptif des ressources et capacités de traitement des eaux brutes. 6
Tableau 2 : Taux d'utilisation des usines (%), en moyenne annuelle, compte-tenu de leurs capacités maximales théorique de traitement. 7
Tableau 3 : Contribution des différents captages à l'approvisionnement des usines (%). 7
Tableau 4 : Contribution des différents captages aux prélèvement totaux (%). 8
Tableau 5 : Point de prélèvements considérés pour les mesures de la qualité des eaux brute. 13
Tableau 6 : Liste des paramètres qualifiant la qualité des eaux brutes retenus pour l'étude. µg/L : microgramme par litre, mg/L : milligramme par litre, NFU : Formazine Nephelometric Unit. 14
Tableau 7 : Liste et format des données techniques brutes transmises par la SPL. m^3 : mètre cube, kWh : kilowatt Heure. 14
Tableau 8 : Modalités d'affectation des données brutes par usine aux différents captage les approvisionnant. 15
Tableau 9 : Liste des simulations. 17
Tableau 10 : Description des modalités du scénario de référence S0-2030. 18
Tableau 11 : Description des modalités des simulations réalisées. 19
Tableau 12 : Statistiques descriptives sur l'ensemble des sites. Données techniques et coûts de production. 21
Tableau 13 : Statistiques descriptives sur l'ensemble de sites. Indicateurs de qualité des eaux brutes. 22
Tableau 14 : Résultats des analyses de corrélations entre variables – Tous sites confondus. 23
Tableau 15 : Elasticités estimées pour la simulation des quantités de réactifs variables consommés. . 24
Tableau 16 : Elasticités estimées pour la simulation des quantités de terres de décantation produites. 24
Tableau 17 : Principaux résultats des simulations « 2017 » et « Illustratif -50% ». Les résultats de « Illustratif -50% » sont présenté en variation par rapport à la référence (en valeur et pourcentage). .. 25
Tableau 18 : Principaux résultats des simulations réalisées pour 2030 : « Tendanciel », « -50% », « TerresDécantation » et « SEQ-Eau ». Les résultats des scénarios alternatifs sont présentés en pourcentage de variation par rapport au scénario tendanciel. 26

1. Pré-étude du projet Terres de Sources

1.1. Contexte et objectifs

Le projet Terres de Sources vise une transformation des pratiques agricoles effectuées par les exploitations situées dans des bassins versants alimentant en eau une grande partie de la métropole rennaise. Il implique les consommateurs, plus généralement l'ensemble des acteurs de la chaine alimentaire, pour accompagner cette transformation en faveur de la qualité des eaux de captage et comprend plusieurs dimensions, dont un volet d'évaluation économique.
Cette pré-étude a pour objectif de contribuer à l'évaluation de coûts évités au travers de

- L'identification des potentiels bénéfices apportés par le projet
- La quantification de manière scientifique des bénéfices économiques.

Plus précisément, les impacts des pratiques agricoles sur les ressources, dont l'eau, sont multiples. Aussi les conséquences potentielles liées à un changement de ces pratiques agricoles sont également multiples. Notamment un changement d'ampleur impliquant de nombreuses exploitations et/ou de profondes modifications de leurs pratiques pourrait entraîner une modification des couts d'épuration et de transformation des eaux brutes en eau potable. Ces coûts sont aujourd'hui principalement supportés par les consommateurs locaux. Autre exemple, le changement des pratiques agricoles pourrait aussi induire une réduction de la fréquence de dépassement des normes de potabilité imposant aux collectivités, voire aux particuliers, des dépenses de protection telles que l'achat massif d'eau en bouteille ou des dispositifs d'épuration domestique. Le premier objectif de cette contribution est donc de recenser toutes ces conséquences potentielles sur l'eau.
Toutes ces conséquences ne sont pas facilement mesurables. Par ailleurs, le changement de pratiques peut avoir des conséquences très indirectes sur la qualité et disponibilité de l'eau distribuée dans la métropole rennaise. Le deuxième objectif de cette contribution consiste à mesurer rigoureusement certaines conséquences économiques, plutôt que d'approximer la totalité des conséquences du projet (par exemple les conséquences en termes de biodiversité ou de morbidité/mortalité). Cette pré-étude s'attache donc à quantifier les coûts évités de traitement des eaux brutes, liés à une reconquête de leur qualité.

1.2. Méthode

Des chroniques de données techniques et comptables transmises par CEBR (Collectivité Eaux du Bassin Rennais) et SPL (Société Publique Locale), en charge de l'exploitation du réseau et de la distribution d'eau, ont été utilisées. Elles ont servi à analyser les coûts de production de l'eau potable afin de construire des fonctions de coût dépendantes de la qualité de l'eau brute, ainsi que des niveaux de production d'eau potable par les usines. Cette première phase est basée sur les principes du calcul économique distinguant les investissements pour le traitement et les coûts de fonctionnement. Cela nous conduit à calculer une valeur nette du mètre cube d'eau potable dans diverses situations passées, caractérisées par la qualité de l'eau brute et les volumes produits par captage et globalement.
La deuxième phase est prospective, basée sur quelques scénarios simples tenant compte de la croissance de la demande d'eau potable associée à la croissance de la population et à l'amélioration attendue de la qualité de l'eau brute dans différentes dimensions (nitrates, turbidité et polluants chimiques d'origine agricoles) par la transformation de l'agriculture promue par le projet.

2. Description du service de production d'eau potable

2.1. Les installations

Au cours de l'année 2016, grâce à sa capacité de production de 146 000 m^3/jour, CEBR/SPL a été en mesure de produire 24,6 millions de m^3 d'eau potable. 21,3 millions de m^3 ont été consommé par les abonnés de CEBR/SPL. Les volumes restant constituent :

- Des ventes à d'autres syndicats d'approvisionnement en eau
- Des pertes au cours du processus de production
- Des pertes sur les adductions

Les ressources et capacités de traitement sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Descriptif des ressources et capacités de traitement des eaux brutes.

Usine	Capacité de traitement	Captage	Type d'eau	Débit/Volume		Bassin versant
	m3/jour				Unité	ha
Mézière sur Couesnon	25 000	Drains du Coglais	Souterraine	10 000	m3/jour	3 300
		Le Couesnon	Surface	15 000	m3/jour	37 700
Rophémel	30 000	Rance		5	million m3	37 400
Villejean	80 000	Chèze		14,5	million m3	6 200
		Le Meu		75 000	m3/jour	61 900
		Bougrières		1,75	million m3	
Champ-Fleury	5 500	Fénicat	Souterraine	1 680	m3/jour	
		Marionnais		2 160	m3/jour	
		Pavais		4 320	m3/jour	
La Noé	1 400	Forage		1 500	m3/jour	
		Puits				
Vau Rezé	400	Forage		520	m3/jour	
		Puits				
Lillion	1 400	Puits N°2		3 600	m3/jour	
		Puits N°3				
		Puits N°4				

2.2. Les stratégies mises en œuvre pour l'approvisionnement en eau

En fonction des usines et des caractéristiques des captages impliqués dans leur approvisionnement, différentes stratégies d'approvisionnement sont mises en œuvre par CEBR/SPL.
La stratégie générale inter-usines est d'utiliser au maximum de leurs capacités les usines autres que celles de Villejean. Cette dernière sert à faire l'appoint dans trois types de situations :

- Lorsque les autres usines ne sont plus en mesure de produire
- Si la ressource est indisponible, en quantité, sur la retenue de Rophémel ou le Couesnon
- Si la ressource est indisponible, en qualité, sur la retenue de Rophémel en raison de la présence d'algues, notamment en fin d'été ou à l'automne.

Le

Tableau *2* présente les taux d'utilisation en moyenne annuelle des différentes usines. Toutes les usines ne sont pas utilisées au même niveau de leurs capacités. La fonction d'usine d'appoint de Villejean est clairement mise en évidence. En effet, celle-ci ne fonctionne qu'entre 22 à 32% de sa capacité nominale.

Tableau 2 : Taux d'utilisation des usines (%), en moyenne annuelle, compte-tenu de leurs capacités maximales théorique de traitement.

Usine	Année	Noubres de jours	Taux d'utilisation	Usine	Année	Noubres de jours	Taux d'utilisation
Champ Fleury	2015	365	66,7	Champ Fleury	2017	365	49,1
La Noé			82,5	La Noé			62,4
Lillion			0,0	Lillion			77,0
Mézières			87,7	Mézières			81,5
Rophémel			73,0	Rophémel			79,5
Vau Rezé			1,2	Vau Rezé			2,8
Villejean			22,1	Villejean			32,0
Champ Fleury	2016	365	65,1	Champ Fleury	2018	243	57,4
La Noé			77,8	La Noé			57,6
Lillion			0,0	Lillion			82,2
Mézières			86,5	Mézières			91,9
Rophémel			64,2	Rophémel			66,3
Vau Rezé			1,8	Vau Rezé			0,0
Villejean			27,1	Villejean			27,2

Pour une même usine, les différents captages sont sollicités en fonction de leurs caractéristiques et des enjeux associés à chacun d'eux. Le Tableau 3 présente les niveaux de contributions des différents captages à l'approvisionnement des différentes usines au cours du temps. L'année 2018 étant incomplète (janvier à juillet), la comparaison avec les autres années doit se faire avec réserve.

Tableau 3 : Contribution des différents captages à l'approvisionnement des usines (%).

Usine	Captage	2015	2016	2017	2018
Mézières	Drains	43,4	42,9	32,5	53,3
	Couesnon	56,6	57,1	67,5	46,7
Rophémel	Rance	100,0	100,0	100,0	100,0
Villejean	Chèze	97,4	100,0	63,7	65,0
	Meu	2,6	0,0	28,3	25,3
	Bougrières	0,0	0,0	8,0	9,8
Champ Fleury	Pavais	50,2	47,4	50,6	44,8
	Marionnais	26,8	26,9	27,3	27,5
	Fénicat	22,9	25,7	22,1	27,8
La Noé	Puits	30,1	30,3	34,5	41,6
	Forage	69,9	69,7	65,5	58,4

Le

Tableau *4* montre que les captages des Drains du Coglais, du Couesnon, de la Rance et de la Chèze sont les principales sources d'approvisionnement de CEBR/SPL. Les prélèvements dans ces quatre captages représentent 82 à 91% des volumes. On notera toutefois une forte augmentation des prélèvements dans le Meu, au détriment de la Chèze. Exception faite des Drains du Coglais, les prélèvements d'eaux sous-terraine sont faibles.
Le détail des stratégies d'approvisionnement par usine est décrit dans les sections ci-dessous.

Tableau 4 : Contribution des différents captages aux prélèvement totaux (%).

Usine	Captage	2015	2016	2017	2018
Mézières	Drains	14,3	13,8	9,0	17,7
	Couesnon	18,7	18,3	18,7	15,6
Rophémel	Rance	33,0	28,6	32,5	28,8
Villejean	Chèze	25,9	32,2	22,1	20,8
	Meu	0,7	0,0	9,8	8,1
	Bougrières	0,0	0,0	2,8	3,1
Champ Fleury	Pavais	2,8	2,6	1,9	2,1
	Marionnais	1,5	1,5	1,0	1,3
	Fénicat	1,3	1,4	0,8	1,3
La Noé	Puits	0,5	0,5	0,4	0,5
	Forage	1,2	1,1	0,8	0,7

2.2.1. Usine de Villejean

La retenue de la Chèze est considérée comme étant stratégique. Dans la mesure du possible, elle n'est donc pas mobilisée. L'approvisionnement se fait donc prioritairement via pompage dans le Meu lorsque cette ressource est disponible, généralement sur la période allant de Janvier à Juin. La charge en matières en suspension est le second facteur limitant à la mobilisation de cette ressource.

De Juin et Décembre, période d'étiage du Meu, l'approvisionnement est en général réalisé à 100% par la retenue de la Chèze.

Lors d'années exceptionnelles, avec arrêté préfectoral, la retenue des Bougrières peut être mobilisée. Ce fut le cas en 2017 et 2018. Dans la même stratégie, sur des années exceptionnelles les eaux du Meu peuvent être pompées pour remplir la retenue de la Chèze.

2.2.2. Usine de Mézières sur Couesnon

La totalité du volume fourni par les drains est utilisé pour la production. Le reste est complété par le Couesnon. Les prélèvements dans le Couesnon servent également gérer les teneurs en nitrates des eaux des drains.

2.2.3. Usine de Rophémel

De fin Décembre à Mai/Juin, les volumes prélevés sont en général proportionnels au débit de la rivière approvisionnant la retenue. Sur cette période, les charges en matières organiques et minérales peuvent être importantes. Les volumes prélevés sont réduits en cas de teneurs en $FeCl_3$ trop importantes.

De Mai/juin à Décembre, les débits pompés sont supérieurs à la somme des débits entrant et restitués à l'aval du barrage (débit réservé). Le stock diminue donc. En septembre, la stratégie consiste à réduire le débit prélevé pour ne pas se trouver dans une situation « à sec », en novembre par exemple.

2.2.4. Usine de Champ-Fleury

Les volumes prélevés dans les différents captages sont ajustés en fonction du niveau de la nappe.

2.2.5. Usine de La Noé

Forage n'a pas de nitrates contrairement au puits. En fonction de l'évolution de la nappe, le débit peut être réduit en automne/hiver.

2.2.6. Usine de Lillion

Le volume global produit dépend de la demande aval, plus particulièrement du réservoir de Mordelles. Cependant, en cas de problème de qualité d'eau (par exemple pesticides en 2018), le débit d'un ou plusieurs puits peut être revu à la baisse.

2.3. Structure des coûts actuels

Cette section décrit les coûts de production observés sur la période 2016-2017. Compte-tenu du fait que :

- 2018 présente des données incomplètes, cette année n'étant pas révolue au moment de la rédaction de ce rapport
- 2015 présente des données hétérogènes, en raison du changement d'exploitant, passage de Véolia à SPL

Ces deux années sont exclues de l'analyse. Les données utilisées proviennent des rapports annuel du délégataire.

Les coûts de production de l'eau sont composés de différents postes :

- L'énergie assurant le fonctionnement des usines ainsi que le pompage de la ressource. Il s'agit essentiellement d'énergie électrique.
- Les réactifs assurant le traitement de l'eau
- La gestion des terres de décantation
- La sous-traitance et les fournitures diverses pour les opérations de maintenance et d'entretien courant des installations
- La masse salariale affectée aux usines et autres installations de production
- Les investissements et l'amortissement des installations

L'énergie, les réactifs et les terres de décantation constituent les coûts variables, les autres postes les coûts fixes. En cas de reconquête de la qualité de l'eau à court/moyen terme, les coûts évités concerneront essentiellement les coûts variables.

2.3.1. Volumes produits

93% en 2016 et 91% en 2017 de la production d'eau potable sont assurés par les trois usines principales de Mézières-sur-Couesnon, Rophémel et Villejean (Figure 1). La production des autres usines est bien moindre. Les variations de production entre les deux années ne suivent pas les mêmes tendances en fonction de l'usine considérée (Figure 1). Les petites unités voient une diminution de leur production, alors que pour les usines principales est plus contrastée : légère diminution pour Mézières-sur-Couesnon (-6,5%) et augmentation pour Rophémel (+23,6%) et Villejean (+15,7%).

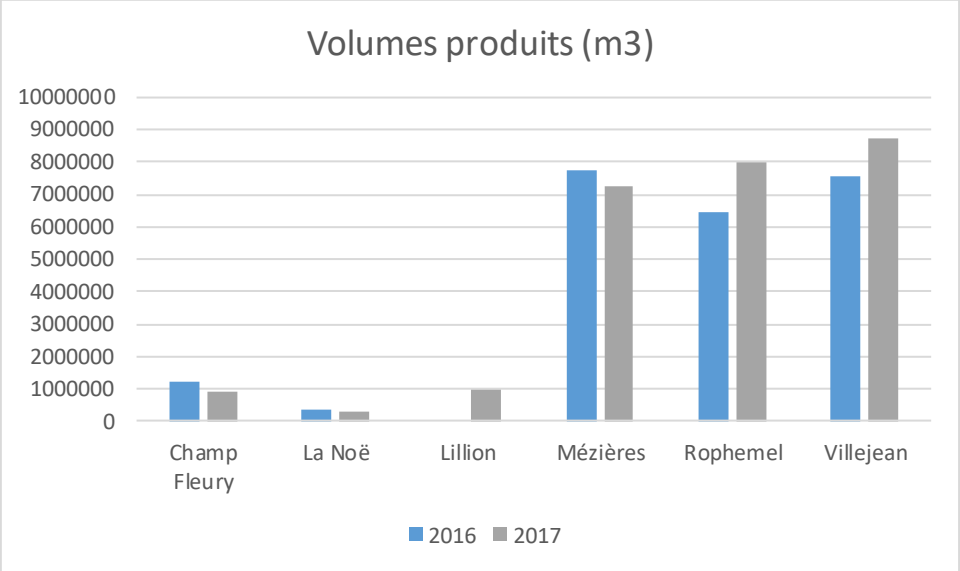

Figure 1 : Volumes d'eau produits en 2016 et 2017 par les différentes unités de production de la CEBR/SPL.

2.3.2. Coûts observés

La Figure 2 présente les coûts de production totaux des deux années considérées. Entre 2016 et 2017, le coût total progresse de 13% et celui par m^3 produit de 7%.

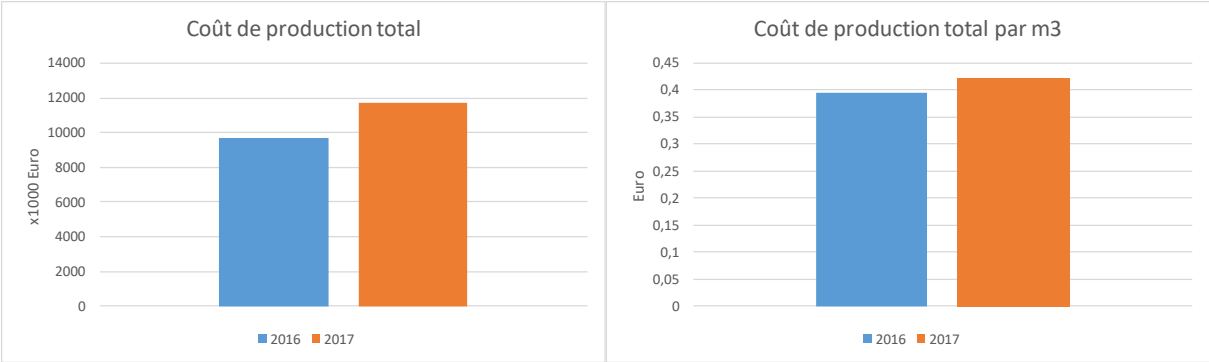

Figure 2 : Coûts de production totaux et par m3 pour les années 2016 et 2017.

La Figure 3 présente les principales composantes du coût de production par m^3 en valeur et en pourcentage (coûts variables et masse salariale). Deux groupes se distinguent, les petites unités d'un côté, présentant des coûts de production plus élevés, et les trois unités principales. Tout d'abord les petites unités de production pour lesquelles une part importante des coûts est liée à l'énergie, 40% à 92% du coût en 2017. Le second poste étant occupé par les réactifs sur le site de Champ-Fleury. Pour ces unités, la somme de l'énergie et des réactifs représente 63% et 94% des coûts, pour les sites de Lillion et La Noé respectivement. Au sein des unités principales, les réactifs constituent le plus gros poste, environ 1/3, suivis par la masse salariale, environ 1/3 également, puis l'énergie. Ces proportions varient en fonction des sites et des années considérées. Ces évolutions peuvent s'expliquer d'une part par les variations de prix des différents réactifs et de l'énergie, d'autre part par la variation des niveaux de qualité de l'eau, nécessitant une plus ou moins grande consommation d'énergie et de réactifs. La part des coûts associée à la gestion des terres de décantation reste faible sur l'ensemble des sites. Elle varie de 2,2% à 5,3% du coût/m^3 en fonction des sites et des années considérées.

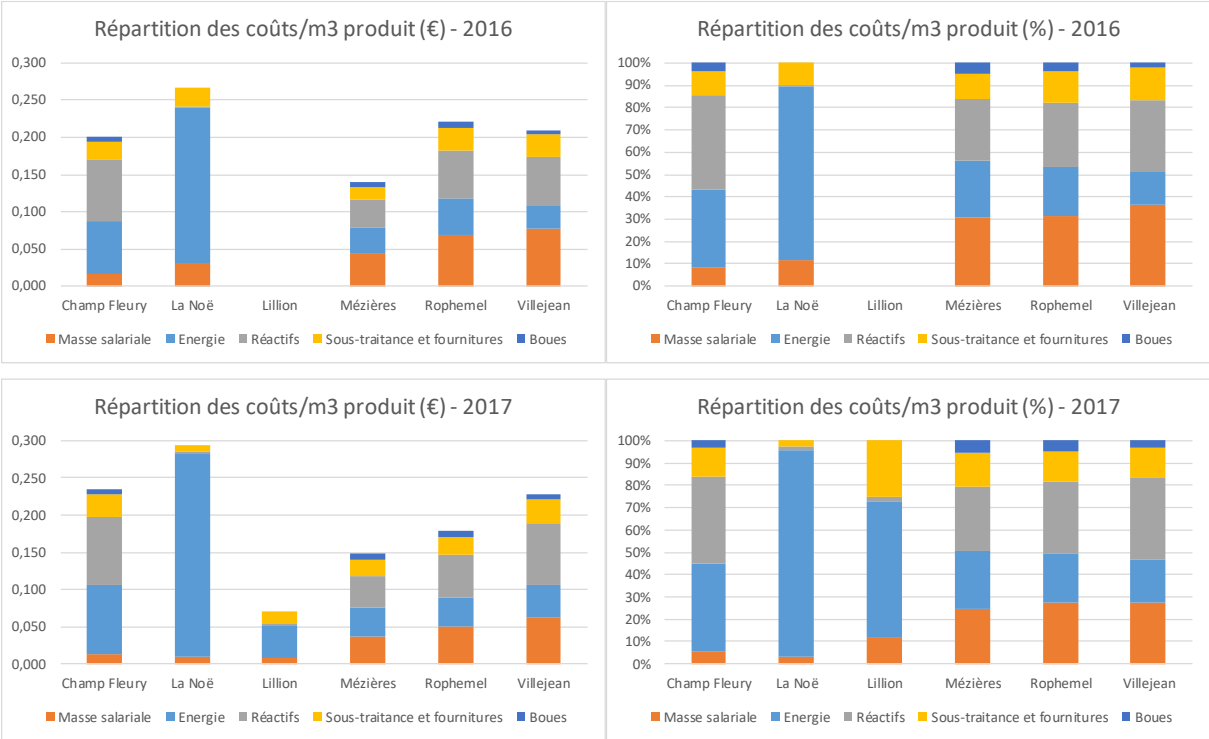

Figure 3 : Décomposition des coûts de production par m3 en 2016 et 2017.

Lorsque l'on s'intéresse aux coûts liés aux réactifs, les petites et les grosses unités ont une fois de plus des profils très différents (Figure 4). Cette différence est expliquée par les technologies de traitements mises en œuvres dans les deux types d'unités. En effets, les trois grosses unités sont amenées à traiter majoritairement des eaux de surface, alors que les petites ne traitent que des eaux sous-terraines.

Dans les petites unités de La Noé et Lillion, l'eau de javel constitue l'essentiel des coûts, alors qu'à Champ-Fleury, il s'agit de la soude. Pour les trois unités principales, le Chlorure ferrique ($FeCl_3$) représente environ 1/3 des coûts, suivi par le Charbon Actif en Poudre (CAP) ou en Grain (CAG), environ 15 à 20% des coûts en fonction des

années et des usines. L'année 2017 à vue une forte augmentation des coûts liés au CAP sur le site de Villejean. Cette dépense est ainsi passé de 19 à 28% des coûts/m^3.

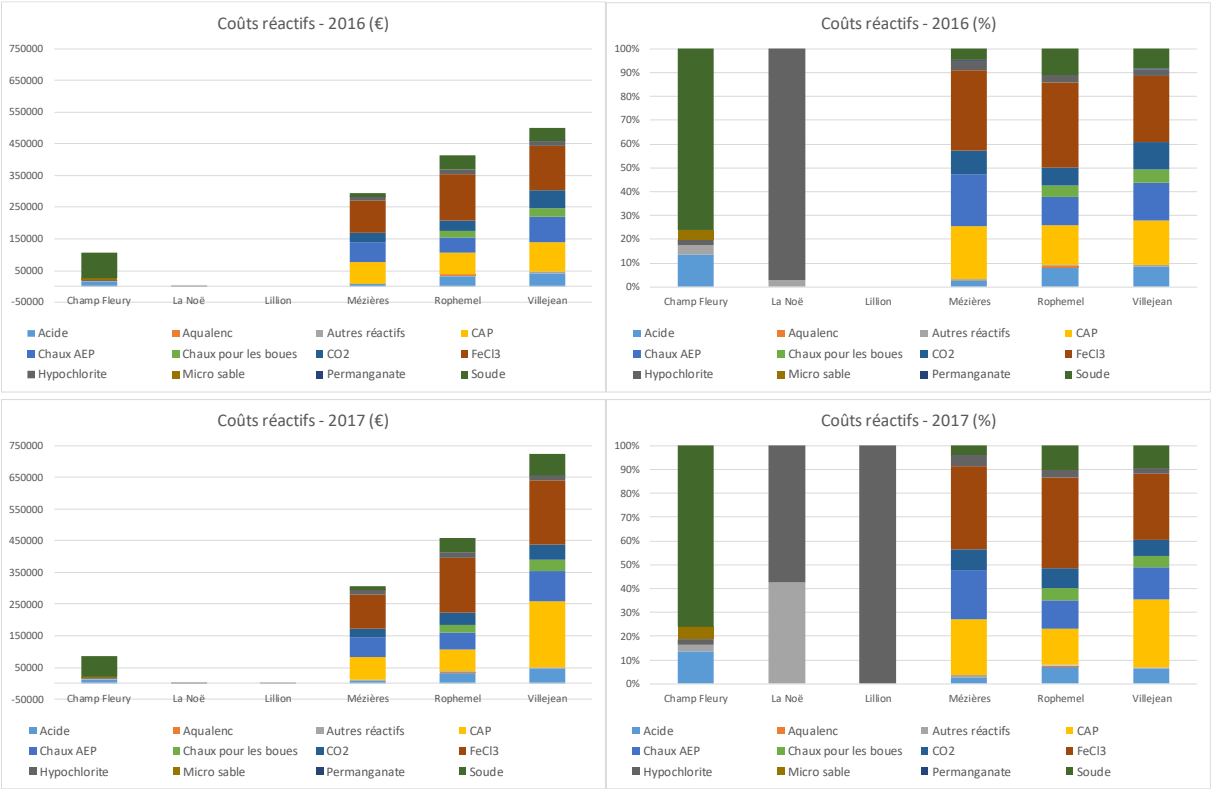

Figure 4 : Composition des coûts liés aux réactifs en 2016 et 2017.

2.3.3. Coûts évités potentiels

Des coûts de production d'eau potable peuvent être évités selon deux mécanismes. Premièrement en optimisant l'approvisionnement en eau des usines en fonction de la qualité des eaux brutes observée à un instant donné. En effet, limiter les prélèvements d'eaux de moindre qualité au profit de captages présentant une meilleure qualité permet de produire un même volume d'eau potable à moindre coût. Le second mécanisme, de plus long terme, consiste à reconquérir durablement la qualité des eaux brutes.

Les postes concernés par les coûts évités sont les réactifs, l'énergie, la production et la gestion des terres de décantation.

Compte-tenu de leurs différentes fonctions dans le processus de traitement de l'eau, les réactifs ne peuvent pas tous prétendre à une réduction de leur utilisation en cas de reconquête durable de la qualité des eaux brutes. Parmi les réactifs, on distingue en effet plusieurs groupes :

- Le CO_2, les différents acides, la soude utilisés dans les processus de reminéralisation de l'eau. Les quantités sont incompressibles.
- L'eau de javel utilisée en fin de processus de traitement pour prévenir toute contamination biologique de l'eau potable. Les quantités sont incompressibles.
- La chaux utilisée dans les processus de reminéralisation de l'eau. Les quantités sont incompressibles.
- La chaux utilisée pour traiter le carbone organique et autres matières organiques. Ces quantités sont fonction de la qualité de l'eau brute et peuvent donc être diminuées.
- La chaux utilisée dans la filière boue. Elle est dépendante de la quantité de terres de décantation produites et donc de la qualité de l'eau brute. Ces quantités peuvent donc être réduites.
- Le CAG et CAP utilisés pour abattre la charge en carbone organique et en micropolluants. Ces quantités sont fonction de la qualité de l'eau brute et peuvent donc être diminuées.
- Le chlorure ferrique utilisé pour traiter le carbone organique et autres matières organiques. Ces quantités sont fonction de la qualité de l'eau brute et peuvent donc être diminuées.

Dans le cadre d'une reconquête de la qualité de l'eau, la production de terres de décantation pourrait être réduite. Deux processus conduiraient à cette réduction : i) la diminution des teneurs en matières organiques et autres matières en suspension et ii) la diminution des teneurs en polluants traités par le charbon actif. En effet, ce réactif

est utilisé dans le processus de traitement en fonction de la charge en substances polluantes et se retrouve dans les terres de décantation à l'issue du processus de traitement.
Enfin, les dépenses énergétiques pourraient en partie être réduite. En effet, les dépenses énergétiques associées aux processus de traitement et de gestion des terres de décantation pourraient diminuer en raison du plus faible besoin en réactifs d'une part et de la plus faible production de terres de décantation d'autre part. Enfin, le pompage d'eaux brutes moins chargées en substances polluantes pourrait se révéler moins énergivore également.

3. Méthodologie

3.1. Périmètre étudié

Les activités de CEBR/SPL couvrent à la fois des activités de production et de distribution d'eau potable. Les travaux menés dans le cadre de cette pré-étude se focalisent exclusivement sur les activités de production d'eau potable. La Figure 5 représente schématiquement la chaine de traitement de l'eau et les limites du périmètre retenu ici. Ont été inclus dans ce périmètre :

- L'énergie pour le pompage et le fonctionnement des installations de traitement
- Les réactifs
- La filière terres de décantation
- Le contrôle analytique
- La main d'œuvre

Les calculs ont été réalisés à la fois à l'échelle des captages.

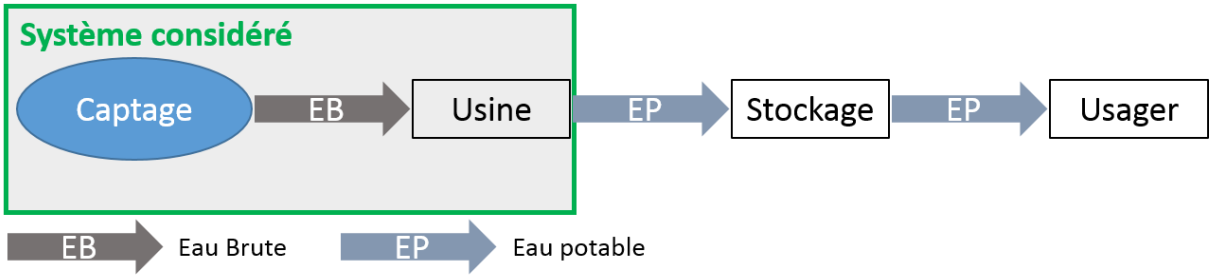

Figure 5 : Représentation schématique de la filière de production et de distribution d'eau potable. Limites du système considéré.

3.2. Données

Différents types de données ont été fournis par CEBR/SPL pour permettre la quantification de coûts évités. Sont ainsi présentées dans les section suivantes les données techniques relatives à la qualité de l'eau pour les différents captages ainsi qu'au fonctionnement des installations de traitement. Les données couvrent la période allant de Janvier 2015 à Juillet 2018.
Pour la réalisation des analyses statistiques décrites ci-après, certains choix ont été faits. Il a en effet été décidé d'analyser uniquement les données relatives aux trois principales usines : Mézières-sur-Couesnon, Rophémel et Villejean. Ces usines représentent 92% de l'eau produite par CEBR/SPL sur la période étudiée. Il a également été décidé de regrouper les données des captages du Meu et de la Chèze en raison de l'étroite relation entre ces deux captages dans la stratégie d'approvisionnement de l'usine de Villejean. Dans ce rapport ce regroupement sera référencé : Meu/Chèze.

3.2.1. Données techniques

Les données techniques transmises par la SPL portent sur :

- La qualité de l'eau, au travers de chroniques de teneurs en substances polluantes mesurées dans les eaux brutes
- Le type et la quantité de réactif utilisé
- La quantité annuelle de boues produites, ainsi que le nombre de pressages mensuel
- La quantité d'énergie utilisée pour les activités de pompage et de fonctionnement des usines
- Les prélèvements d'eau brute et la production d'eau potable

La qualité de l'eau est suivie sur de nombreux points de contrôle tout au long du processus de production de l'eau potable. Le Tableau 5 présente les différents points de prélèvements retenus dans le cadre de cette étude.
De nombreux paramètres physicochimiques et biologiques sont suivis dans des démarches de contrôle réglementaire ou d'autocontrôle. En concertation avec CEBR/SPL il a été décidé de se focaliser sur certains d'entre-eux. Les paramètres retenus sont présentés dans le

Tableau *6*.

Les analyses de qualité de l'eau sont réalisées de façon ponctuelle et à des fréquences variables en fonction de l'indicateur concerné. Les séries de données présentent donc des données manquantes, dont le nombre varie en fonction de l'indicateur concerné. Ces séries ont été complétées par interpolation. La méthode d'interpolation retenue se base sur l'hypothèse qu'entre deux dates n et n+1, le pilotage de l'usine se fait en supposant que la qualité de l'eau n'a pas varié sur cette période. Si la donnée de qualité en n+1 est manquante, sa valeur est alors égale à celle de la mesure directement antérieure.

Tableau 5 : Point de prélèvements considérés pour les mesures de la qualité des eaux brute.

Usine	Code point de prélèvement	Adresse
Champ-fleury	PC-FENICA-PC3	Fenicat
	PC-MARION-PC2	La Marionnais
	PC-PAVAIS-PC1	La Pavais
La Noé	PC-NOEFOR-PC1	Forage de la Noë
	PC-NOEPTS-PC2	Puits de la Noë
Lillion	PC-LILLIONPTS-PC002	Lillion Puits n°2
	PC-LILLIONPTS-PC003	Lillion Puits n°3
	PC-LILLIONPTS-PC004	Lillion Puits n°4
Mézière	PC-CAPTAG-C01	Arrivée ensemble captages
	PC-COUESNO-C20	Le Couesnon
Rophémel	PC-RANCE-C30	Tour d'exhaure Rophemel
Villejean	PC-BOUGRIER-C60	Etang des Bougrières
	PC-CANUT-C41	Barrage sur le Canut
	PC-MEU-C50	Le Meu à Mordelles

Tableau 6 : Liste des paramètres qualifiant la qualité des eaux brutes retenus pour l'étude. µg/L : microgramme par litre, mg/L : milligramme par litre, NFU : Formazine Nephelometric Unit.

Type	Paramètre	Unité
Phytosanitaire	2-Hydroxy Atrazine	µg/L
	Alachlor ESA	µg/L
	Atrazine-2-Hydroxy	µg/L
	Metaldehyde	µg/L
	Metazachlore	µg/L
	Metazachlore ESA	µg/L
	Metazachlore OXA	µg/L
	Metolachlor ESA	µg/L
	Metolachlor OXA	µg/L
	Metolachlore	µg/L
	S-Metolachlore	µg/L
Physicochimique	Azote total Kjeldal	mg/L
	Carbone Organique Total	mg/L
	Nitrates	mg/L
	Orthophosphates	mg/L
	PhosphoreTotal	mg/L
	Turbidite	NFU
Biologique	Cyanobactéries	Cellules/L

Le second type de données concerne le processus de traitement des eaux brutes. Le Tableau 7 présente les données brutes transmises par la SPL. Toutefois, l'étude portant sur les coûts en fonction de la qualité de l'eau pour les différents captages, les données brutes ont été affectées aux différents captages alimentant une même usine en concertation avec SPL, sur la base des caractéristiques propres à chaque captage. Le Tableau 8 présente les modalités de répartition des données brutes entre les différents captages alimentant une même usine.

Tableau 7 : Liste et format des données techniques brutes transmises par la SPL. m3 : mètre cube, kWh : kilowatt Heure.

Catégorie	Type	Unité	Pas de temps	Granulométrie
Volumes	**Prélevé**	m^3	Mensuel	Par captage
	Produit			Par usine
Réactifs	**Acide**	tonne	Mensuel	Par usine
	Soude			
	Hypochlorite de sodium			
	Chlorure Ferrique			
	CAP			
	Chaux Eteinte			
	Dioxyde de Carbone			
	Chaux Vive			
Energie	**Unité de production**	kWh	Mensuel	Par captage ou usine
	Pompage			
Terres de décantation	**Terres de décantation**	tonne	Mensuel	Par usine

Tableau 8 : Modalités d'affectation des données brutes par usine aux différents captage les approvisionnant.

<table>
<tr><th rowspan="2">Catégorie</th><th rowspan="2">Type</th><th colspan="2">Mézières</th><th>Rophémel</th><th colspan="2">Villejean</th></tr>
<tr><th>Drains du Coglais</th><th>Le Couesnon</th><th>Rance</th><th>Bougrières</th><th>Meu/Chèze</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Volumes</td><td>Prélevé</td><td colspan="5">Pas d'affectation nécessaire</td></tr>
<tr><td>Produit</td><td colspan="2">Prorata volumes prélevés</td><td rowspan="11">Pas d'affectation nécessaire</td><td colspan="2">Prorata volumes prélevés</td></tr>
<tr><td rowspan="9">Réactifs</td><td>Acide</td><td colspan="2" rowspan="3">Prorata volumes prélevés</td><td colspan="2" rowspan="9">Prorata volumes prélevés</td></tr>
<tr><td>Soude</td></tr>
<tr><td>Hypochlorite de sodium</td></tr>
<tr><td>Chlorure Ferrique</td><td>10%</td><td>90%</td></tr>
<tr><td>CAP</td><td>50%</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>Chaux Eteinte</td><td>40%</td><td>60%</td></tr>
<tr><td>Dioxyde de Carbone</td><td>40%</td><td>60%</td></tr>
<tr><td>Chaux Vive</td><td colspan="2">Prorata volumes prélevés</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Energie</td><td>Unité de production</td><td>45%</td><td>55%</td><td colspan="2">Prorata volumes prélevés</td></tr>
<tr><td>Pompage</td><td colspan="2">Pas d'affectation nécessaire</td><td colspan="2">Pas d'affectation nécessaire</td></tr>
<tr><td>Terres de décantation</td><td>Terres de décantation</td><td colspan="5">Nombre pressages mensuel</td></tr>
<tr><td>Qualité de l'eau</td><td>Tous</td><td colspan="4">Pas d'affectation nécessaire</td><td>Moyenne pondérée</td></tr>
</table>

3.3. Coûts évités

Sur la base des coûts historiques observés et de la stratégie d'approvisionnement en eau brute, un modèle permettant la quantification des coûts de production a été définit. Il se base sur les hypothèses suivantes. Les coûts de production d'eau potable supportés par CEBR/SPL sont composés :

- Des réactifs variables (chlorure ferrique, charbon actif en grain, charbon actif en poudre, chaux)
- Des réactifs fixes (acides, soude, eau de javel, dioxyde de carbone)
- De la production et de la gestion des terres de décantation
- De l'énergie
- Des autres coûts

Par ailleurs, la qualité des eaux brutes influe sur les quantités de réactifs variables utilisées et les quantités de terres de décantation produites. De plus, en fonction des niveaux de qualité constatés entre les différents captages, les niveaux de prélèvement de prélèvement peuvent être ajustés. Les prélèvements se faisant alors préférentiellement dans les captages présentant une qualité moins dégradée. Compte-tenu des modalités d'approvisionnement et de fonctionnement des usines (voir 2.2), il a été considéré que ce type d'arbitrage ne pouvais être réalisé qu'entre la prise d'eau de Rophémel et celle du Meu/Chèze.

Les coûts évités ont donc été modélisés selon l'Equation (1).

$$C = \underset{Y_i}{\text{Min}} \sum_i (w_R R_i(Q_i) + w_B B_i(Q_i) + w_E E_i)\, Y_i + \alpha \sum_i a_i(Q_i) Y_i + \eta^{-1} \sum Y_i \ln Y_i \quad (1)$$

Sous contrainte que : $\sum Y_i = \bar{Y}$

C : Coût évité total
Y_i : Volume d'eau produit par le captage i
w_R, w_B, w_E : Prix des réactifs, des terres de décantation et de l'énergie, respectivement
R_i, E_i : Quantité de réactifs et d'énergie utilisé pour le captage i
B_i : quantités de terres de décantation produites par le captage i

$\sum_i (w_R R_i(Q_i) + w_B B_i(Q_i) + w_E E_i) Y_i$: représente l'ensemble des coûts variables de traitement de l'eau brute.
$\alpha \sum_i a_i(Q_i) Y_i + \eta^{-1} \sum Y_i ln Y_i$: représente les coûts d'arbitrages entre captages pour l'approvisionnement en eau des usines. Il est fonction des coûts de production et de la qualité. Ces arbitrages sont réalisés entre Rophémel et Meu/Chèze.

Les quantités de réactifs utilisés et de terres de décantation produites ont été estimées par régression linéaire multiple selon les équations (2) et (3) :

$$R_{i,t} = \alpha_{i,t} + \beta_n Q_{n,i,t} + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$B_{i,t} = \alpha_{i,t} + \beta_n Q_{n,i,t} + \varepsilon_i \quad (3)$$

i = Captage
t = Mois
1 à n = Indicateur de qualité

Les quantités produites optimales par captage ont été estimées selon les équations (4) et (5).

$$\log\left(\frac{Y_i}{Y_j}\right) = \eta\left(w_j - w_i + a_j(Q_j) - a_i(Q_i)\right) \quad (4)$$

$$\widehat{Y_i} = \bar{Y} * \frac{e^{-\eta\left(w_i(Q_i) + a_i(Q_i)\right)}}{e^{-\eta\left(w_j(Q_j) + a_j(Q_j)\right)}} \quad (5)$$

Y_i, Y_j : Quantités produites par les captages i et j
w_i, w_j : Coût variables unitaires des captages i et j
Q_i, Q_j : Qualité de l'eau dans les captages i et j

3.4. Analyses statistiques

Exception faite des statistiques descriptives, qui ont été réalisées sous Excel, l'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel R version 3.5.1. Les différentes procédures et fonctions utilisées sont décrites dans les paragraphes ci-après. Ces analyses ont été réalisées tous sites confondus.

3.4.1.Statistiques descriptives

Les statistiques descriptives (moyenne, médiane, écart-type, minimum, maximum, données manquantes) ont été réalisées pour décrire de façon synthétique le jeu de données techniques et de qualité de l'eau fournies par SPL. Les boxplots présentées dans l'Annexe 1 ont été réalisées avec la procédure « boxplot ».

3.4.2.Analyses de corrélations

Les analyses de corrélations entre variables ont été réalisées avec la procédure « rcorr », méthode Pearson, du package « Hmisc ».

3.4.3. Régressions

Les régressions linéaires multiples ont été réalisées avec la procédure « lm ».

3.5. Scénarios

Afin de définir les coûts évités potentiels dans différents contextes, plusieurs scénarios ont été construits en concertation avec CEBR/SPL (Tableau 9). Ils permettent de considérer différents niveaux sur les variables suivantes :

- Prix des intrants (réactifs variables, énergie, terres de décantation)
- Inflation
- Volume total d'eau potable à produire
- Indicateurs de la qualité des eaux brutes

Tableau 9 : Liste des simulations.

Nom	Description
2017	2017 : Données observées
Illustratif -50%	2017 : Diminution de 50% des teneurs en polluants
Tendanciel	2030 : Scénario prospectif de référence
-50%	2030 : Diminution de 50% des teneurs en polluants
TerresDécantation	2030 : Nouvelle filière de traitement des terres de décantation
SEQ-Eau	2030 : Classement de toutes les masses d'eau en "Eau Bleue" (SEQ-Eau)

3.5.1.Simulations de référence : « 2017 » et « Tendanciel »

Le scénario « 2017 » représente les résultats de simulation sur les données observées.
Le scénario « Tendanciel » est définit selon les modalités présentées dans le

Tableau *10*. Il représente une prolongation de la situation actuelle. Aucune mesure supplémentaire de préservation de la ressource en eau n'est prise en compte dans ce scénario. Ne sont pas non plus considérés dans ce scénario des modifications du contexte réglementaire réglementaires, des technologies mises en œuvre dans les procédés de traitement ou du comportement des acteurs.

Tableau 10 : Description des modalités du scénario de référence S0-2030.

Scénario de référence : S0-2030	
Variable	**Modalités**
Horizon de projection	2030
Volumes produits	+ 1% par an
Prix réactifs variables	+ 1% par an
Prix terres de décantation	+ 1% par an
Prix réactifs fixes	+ 1% par an
Prix électricité	+ 3,1% par an (Prix électricité en 2030 : 0,1283 €/kWh)[1]
Coût de gestion des usines	+ 1% par an
Quantité de réactif fixe/m3 produit	Projection linéaire de la tendance observée sur 2015-2018
Quantité d'électricité/m3 produit	Projection linéaire de la tendance observée sur 2015-2018
Indicateurs de qualité de l'eau	Teneurs mensuelles identiques à celles observées en 2017

3.5.2. Scénarios alternatifs : « Illustratif -50% », « -50% », « TerresDécantation » et « SEQ-Eau »

Les scénarios « Illustratif -50% » et « -50% » permettent l'estimation des variations des coûts et des volumes produits pour une diminution de 50% des teneurs de l'ensemble des substances polluantes. Le premier esst réalisé sur les données observées en 2017 et le second sur les données projetées en 2030. Le Tableau 11 précise les modalités de ces deux scénarios.

Le scénario « TerresDécantation » a pour objectif d'évaluer les effets d'une modification de la filière de production/gestion des terres de décantation. Actuellement, ces terres de décantations sont épandues sur les parcelles agricoles. Le coût de cette filière de traitement est de 25€/tonne. Ce scénario fait l'hypothèse que les agriculteurs n'acceptent plus l'épandage sur leurs parcelles. D'autres filières de traitement sont donc utilisées, compostage ou incinération par exemple. L'hypothèse d'un coût pour ces filières de 75€/tonne a été retenu. Les modalités de ce scénario sont présentées dans le Tableau 11.

Le scénario « SEQ-Eau » est basé sur le principe d'une reconquête de la qualité des eaux. La notion de qualité des eaux s'appuie sur le Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux (SEQ-Eau[2]) proposé par le Ministère de l'Environnement et du Développement durable et les Agences de l'Eau. Ce système classe les masses d'eau par couleur (Bleu, Vert, Jaune, Orange et Rouge) en fonction des concentrations en différents indicateurs de pollution. Le « Bleu » indique une eau de très bonne qualité, par opposition au « Rouge » indiquant une eau fortement dégradée. L'hypothèse de ce scénario est que d'ici 2030, l'ensemble des paramètres physico-chimiques caractérisant les masses d'eau prélevées soient compatible avec un classement de l'ensemble de ces dernières dans la catégorie « Bleu ». L'hypothèse principale de ce scénario est que les concentrations en substances polluantes sont inférieures ou égales aux seuils permettant un classement en catégorie « Bleu ». Les modalités de ce scénario sont présentées dans le Tableau 11.

[1] Source : CGDD (2017). Analyse théma - Concept d'autoroute électrique - Evaluation socioéconomique (p22).
[2] Source : MEDDE & Agences de l'eau (2003). Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau – Rapport de présentation SEQ-Eau (Version 2)

Tableau 11 : Description des modalités des simulations réalisées.

Paramètres testés	Illustratif -50%	-50%	TerresDécantation	SEQ-Eau
Horizon de projection	2017	2030	2030	2030
Volumes produits	Niveaux observés	+ 1% par an	+ 1% par an	+ 1% par an
Prix réactifs variables				
Prix terres de décantation			75 €/tonne	
Prix réactifs fixes			+ 1% par an	
Coût de gestion des usines				
Prix électricité		+ 3,1% par an (Prix électricité en 2030 : 0,1283 €/kWh)		
Quantité de réactif fixe/m3 produit		Projection linéaire de la tendance observée sur 2015-2018		
Quantité d'électricité/m3 produit		Projection linéaire de la tendance observée sur 2015-2018		
Indicateurs de qualité de l'eau	Teneurs mensuelles observées en 2017 réduites de 50%	Teneurs mensuelles observées en 2017 réduites de 50%	Teneurs mensuelles observées en 2017	Teneurs mensuelles obser 2017 limitées supérieurem seuils de la catégorie "Bl SEQ-Eau

4. Résultats

4.1. Statistiques descriptives – Analyses des corrélations entre variables

4.1.1.Statistiques descriptives

Les statistiques descriptives réalisées sur l'ensemble de la base de donnée sont présentées dans le Tableau 12 et

Tableau *13*. Les statistiques détaillées par captage sont présentées dans l'Annexe 1.

4.1.2.Analyses des corrélations

Cette section du rapport présente les résultats des analyses des corrélations entre variables réalisées sur l'ensemble des sites (

Tableau *14*). Les résultats détaillés par captage sont disponibles dans l'Annexe 1. Les résultats montrent des coefficients de corrélation supérieurs à 0,6 et positifs entre les réactifs fixes et variables ainsi qu'entre les volumes prélevés et produits. Les réactifs variables sont également corrélés à la quantité d'énergie utilisée par m^3 produit. En revanche, aucun indicateur technique n'est corrélé avec les indicateurs de qualité. Les substances phytosanitaires ne sont corrélées à aucun autre indicateur de qualité. En revanche, on constate de fortes corrélations (>0,75) positives entre turbidité, COT et phosphore total d'une part, et phosphore total et COT d'autre part.
Les résultats par captage présentent des corrélations similaires sur ces indicateurs, mais également d'avantage de corrélations entre indicateurs de qualité (voir Annexe 1).

Tableau 12 : Statistiques descriptives sur l'ensemble des sites. Données techniques et coûts de production.

		Volumes		Intrants et terres de décantation				Coûts de production			
	Variable	Prélevé par captage	Produit par captage	Réactifs fixes	Réactifs variables	Terres de décantation	Energie	Réactifs fixes	Réactifs variables	Terres de décantation	Energie
	Unité	m3		kg/m3 produit			kWh/m3 produit	Euro/m3 produit			
Tous sites confondus	Minimum	0	0	0,0000	0,0000	0,1043	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	1er Quartile	211722	207443	0,0438	0,0847	0,2103	0,2904	0,00688	0,02005	0,02593	0,00000
	Médiane	373329	364663	0,0609	0,1779	0,2816	0,4608	0,00959	0,03778	0,04115	0,00000
	Moyenne	394375	373145	0,0754	0,1593	0,3045	0,3885	0,01244	0,03497	0,03470	0,00310
	3éme Quartile	599715	555941	0,1234	0,2372	0,3939	0,5103	0,02037	0,04802	0,04557	0,00599
	Maximum	1208715	1163454	0,2222	0,3976	0,7871	1,3060	0,03822	0,08999	0,11663	0,01968
	Ecartype	268305	249030	0,0520	0,0978	0,1324	0,2207	0,00902	0,02233	0,01971	0,00430
	Données manquantes	0	0	0	0	140	0	0	0	0	31

Tableau 13 : Statistiques descriptives sur l'ensemble de sites. Indicateurs de qualité des eaux brutes.

		Phytosanitaires					Physico-chimique						Autres
	Variable	Hydroxy Atrazine	Alachlor ESA	Metaldehyde	Metazachlore	Metolachlore	Azote total kjeldal (NTK)	Nitrates	Carbone organique total (COT)	Ortho-phosphates	Phosphore Total	Turbidité	Cyano - bactéries
	Unité	µg/L					mg/L					NFU	cellules/L
Tous sites confondus	Minimum	0,0081	0,0054	0,0053	0,0037	0,0062	0,216	0,000	0,400	0,000	0,000	0,35	11
	1er Quartile	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,500	5,283	3,900	0,040	0,060	1,90	549
	Médiane	0,0200	0,0200	0,0300	0,0200	0,0200	0,700	21,550	6,100	0,080	0,120	5,10	1594
	Moyenne	0,0301	0,0379	0,0333	0,0183	0,0393	0,788	22,644	6,401	0,072	0,169	12,28	5995
	3éme Quartile	0,0400	0,0200	0,0500	0,0200	0,0200	1,000	36,805	7,982	0,100	0,185	14,40	5672
	Maximum	0,0900	0,3500	0,1380	0,0500	1,1300	1,800	50,400	85,870	0,147	6,167	229,60	85120
	Ecartype	0,0177	0,0568	0,0184	0,0064	0,1071	0,433	16,638	6,616	0,037	0,440	21,62	13710
	Données manquantes	19	19	15	19	19	50	1	6	100	15	4	82

Tableau 14 : Résultats des analyses de corrélations entre variables – Tous sites confondus.

	Volume prélevé	Volume produit	Réactifs fixes	Réactifs variables	Energie	Terres de décantation	Hydroxy Atrazine	Alachlor ESA	Métaldéhyde	Métazachlore	Métolachlore	NTK	Nitrates	COT	Cyano-bactéries	Ortho-phosphates	Phosphore Total	Turbidite
Volume prélevé	1	0,998*	0,741*	0,627*	0,409*	0,069	-0,39*	-0,02	-0,16*	-0,32*	0,215*	-0,17*	0,074	0,343*	0,146	-0,19*	0,136	0,261*
Volume produit		1	0,731*	0,624*	0,415*	0,067	-0,41*	-0,00	-0,16*	-0,32*	0,204*	-0,18*	0,095	0,330*	0,132	-0,21*	0,135	0,259*
Réactifs fixes			1	0,751*	0,485*	0,007	-0,31*	-0,15*	-0,18*	-0,41*	0,155*	-0,26*	-0,04	0,332*	0,162	-0,40*	0,032	0,177*
Réactifs variables				1	0,756*	0,506*	-0,28*	0,028	-0,21*	-0,21*	0,117	-0,13	0,077	0,292*	-0,00	-0,05	0,140*	0,338*
Energie					1	0,172	-0,24*	0,123	-0,37*	0,132	0,077	0,105	0,429*	-0,06	0,061	0,358*	0,076	0,154*
Terres de décantation						1	0,099	0,283*	0,193	0,223	0,046	0,223	-0,24*	0,084	-0,15	-0,15	0,019	0,195
Hydroxy Atrazine							1	-0,11	0,405*	0,277*	0,151*	0,267*	-0,45*	-0,06	-0,03	0,282*	-0,15*	-0,19*
Alachlor ESA								1	-0,22*	0,291*	-0,00	0,161*	0,276*	-0,14*	-0,00	0,193*	0,047	-0,02
Métaldéhyde									1	-0,17*	-0,11	-0,06	-0,26*	-0,03	-0,01	-0,24*	-0,15*	-0,08
Métazachlore										1	0,052	0,378*	0,102	-0,29*	0,081	0,365*	-0,04	-0,14*
Métolachlore											1	0,119	-0,06	0,093	0,102	-0,00	0,014	-0,04
NTK												1	0,042	-0,17*	0,158	0,462*	-0,01	0,051
Nitrates													1	-0,40*	-0,05	0,419*	-0,00	-0,08
COT														1	-0,00	-0,23*	0,815*	0,755*
Cyano-bactéries															1	0,069	-0,05	-0,08
Orthophosphates																1	-0,05	-0,09
Phosphore Total																	1	0,760*
Turbidite																		1

* : Significatif à un seuil de 5%.

4.2. Estimation des paramètres

4.2.1. Réactifs variables

L'équation 6 représente le modèle retenu pour estimer les quantités de réactifs variables utilisés par m^3 d'eau produit. Les valeurs estimées des élasticités sont présentées dans le Tableau 15. Ces élasticités représentent la variation de la quantité de réactifs variables utilisée lorsque la teneur d'un indicateur de qualité varie de 1%.

$$R_i = \alpha_i + \beta_1 Hydroxy\ Atrazine + \beta_2 Phosphore\ Total + \beta_3 Turbidité * NTK + \beta_4 Turbidité * COT \quad (6)$$

Tableau 15 : Elasticités estimées pour la simulation des quantités de réactifs variables consommés.

Variable	Elasticité
PhosphoreTotal	0,176
HydroxyAtrazine	0,473
NTK	0,033
COT	-0,027
Turbidite	0,007

* : Significatif à 5%, ** : Significatif à 1%, *** : Significatif à 0,1%.

4.2.2. Terres de décantation

L'équation 7 représente le modèle retenu pour estimer les de terres de décantation produites par m^3 d'eau produit. Les valeurs estimées des élasticités sont présentées dans le Tableau 16.

$$B_i = \alpha_i + \beta_1 Métaldéhyde + \beta_2 Métazachlore + \beta_3 Phosphore\ Total + \beta_4 Turbidité \quad (7)$$

Tableau 16 : Elasticités estimées pour la simulation des quantités de terres de décantation produites.

Variable	Elasticité
Metaldehyde	0,301
Metazachlore	0,344
PhosphoreTotal	0,159
Turbidite	0,157

. : Significatif à 10%, * : Significatif à 5%, ** : Significatif à 1%.

4.3. Résultats de simulation

4.3.1. Simulations sur les données observées : « 2017 » et « Illustratif -50% »

Ces simulations permettent de quantifier quels auraient été les coûts évités en 2017 si les teneurs des différents indicateurs de qualité avaient été réduites de moitié. Les principaux résultats pour l'ensemble des captages sont présentés dans le

Tableau *17*. Les résultats détaillés par captage sont disponibles en Annexe 2.

Tableau 17 : Principaux résultats des simulations « 2017 » et « Illustratif -50% ». Les résultats de « Illustratif -50% » sont présenté en variation par rapport à la référence (en valeur et pourcentage).

		2017	Illustratif -50% - Variations	
Variable	Unité		Valeur	%
Coût réactifs fixes	Euro	427 609	-1 144	-0,3
Coût réactifs variables	Euro	1 137 903	-253 727	-22,3
Coût énergie	Euro	1 008 253	19 113	1,9
Coût terres de décantation	Euro	228 253	-118 840	-52,1
Coût variable	Euro	2 802 018	-354 598	-12,7
Coût variable/m3	Euro/m3	0,1168	-0,0148	-12,7
Coût Total	Euro	11 752 000	-381 729	-3,2
Coût Total/m3	Euro/m3	0,4898	-0,0159	-3,2
Quantité produite	m3	23 991 877	0	0

Le volume total produit reste inchangé (24 millions de m^3). En revanche, la répartition des prélèvements entre les différents captages varie (Figure 6). Les prélèvements augmentent de 17% à Rophémel au détriment du captage du Meu/Chèze. Cette substitution s'explique par un coût de production plus faible à Rophémel. De plus, la diminution des coûts variables par m^3 plus importante pour ce captage.

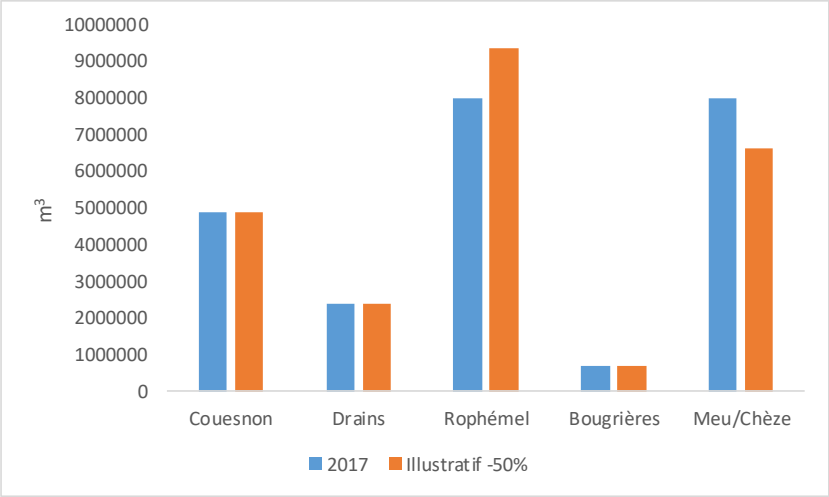

Figure 6 :Répartition des prélèvements entre les différents captages.

L'amélioration de la qualité de l'eau entraine une diminution du coût total de 382 k€ (3,2%). Cette diminution est majoritairement le fait d'une diminution des coûts variables (-12,7%), notamment les réactifs variables (-22% / -254 k€) et les terres de décantation (-52% / 119 k€).

4.3.2.Simulations sur les données projetées en 2030 : « Tendanciel », « -50% », « TerresDécantation » et « SEQ-Eau »

Les principaux résultats pour l'ensemble des captages sont présentés dans le

Tableau *18*. Les résultats détaillés par captage sont disponibles en Annexe 2

Tableau 18 : Principaux résultats des simulations réalisées pour 2030 : « Tendanciel », « -50% », « TerresDécantation » et « SEQ-Eau ». Les résultats des scénarios alternatifs sont présentés en pourcentage de variation par rapport au scénario tendanciel.

		Tendanciel	-50%	TerresDécantation	SEQ-Eau
Variable	**Unité**	**Valeurs**	**Variations (%)**		
Coût réactifs fixes	**Euro**	624 734	-0,2	0,8	-0,2
Coût réactifs variables	**Euro**	1 468 216	-22,1	-0,2	-21,6
Coût énergie	**Euro**	1 919 222	2,0	0,9	0,2
Coût terres de décantation	**Euro**	297 711	-52,3	131,9	-48,1
Coût variable	**Euro**	4 309 883	-10,3	9,6	-10,6
Coût variable/m3	**Euro/m3**	0,1579	-10,3	9,6	-10,6
Coût Total	**Euro**	14 495 798	-3,1	2,8	-3,2
Coût Total/m3	**Euro/m3**	0,5309	-3,1	2,8	-3,2
Quantité produite	**m3**	27 302 318	0	0	0

L'impact sur les volumes totaux produits est nul. En revanche, à l'échelle des captages, on observe des substitutions entre les captages de Rophémel et Meu/Chèze (Figure 7). Pour l'ensemble des scénarios, les prélèvements augmentent à Rophémel de 2% pour « SEQ-Eau » à 18% pour « -50% ». Ces effets sont la conséquence d'un coût/m^3 plus faible à Rophémel.

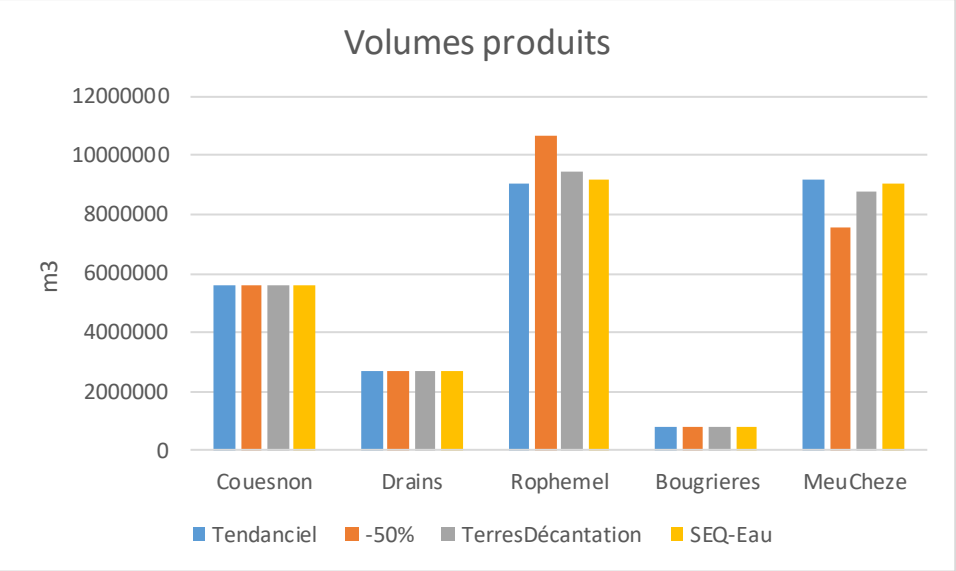

Figure 7 : Répartition des prélèvements entre les différents captages pour les différents scénarios testés.

En termes de coûts évités, les scénarios « -50% » et « SEQ-Eau » présentent des profils très similaire avec une diminution des coûts totaux de l'ordre de 3% (442 k€ et 457 k€ respectivement). L'essentiel de cette réduction est dû à la réduction des coûts variables et plus particulièrement les coûts en réactifs variables (342 k€ et 317 k€ respectivement).

Le scénario « TerreDécantation » simule une dégradation des coûts de traitement en lien avec une modification de la filière de valorisation des terres de décantation. La valorisation, initialement agronomique (25€/t), est remplacée par un compostage ou une incinération. Le coûts unitaire est alors estimé à 75€/t. le surcoût total est alors de l'ordre de 3% (412 k€) et essentiellement dû à la filière boue. Les effets sur les autres postes sont minimes.

5. Conclusions

Cette pré-étude a permis, au travers de l'analyse des données historiques, de définir la structure des coûts de production de l'eau potable ainsi que les stratégie d'optimisation des approvisionnements en eau brute. Il a alors été possible d'identifier des coûts évités potentiel. Un modèle de calcul de ces coûts évités a donc été construit. Ce modèle permet de simuler des coûts évités résultants à la fois d'une reconquête de la qualité de l'eau, au travers de la diminution de l'utilisation de réactifs variables et de la production de terres de décantation, mais également de l'optimisation des prélèvements entre les différents captages. Ce modèle permet également de simuler des surcoûts dus à une dégradation des qualités des eaux ou des modifications des filières de valorisation des terres de décantation par exemple.

Différents indicateurs de qualité des eaux ont été retenus pour le modèle. Ils ont été identifiés au travers d'une analyse statistique comme étant les indicateurs expliquant le mieux le comportement de CEBR/SPL pour assurer son approvisionnement en eau brute et sa production d'eau potable. Il convient de garder à l'esprit qu'il s'agit d'indicateurs captant et agrégeant de nombreux effets et ne doivent pas être interprétés en tant que molécule.

Les simulations réalisées dans le cadre de cette pré-étude illustrent les potentialités de l'outil. Une pleine intégration dans le projet Terres de Sources se fera au travers de la définition des scénarios à simuler. Il serait pertinent de traduire le scénario « Afterres2050 – Territoire du bassin rennais » en termes d'impact sur les quantités de substances polluantes présentes dans les eaux brutes. Il sera alors possible de simuler les coûts évités potentiels à l'aide du simulateur, et de les confronter aux investissements nécessaires pour atteindre ces objectifs de qualité.

Annexe 1 : Statistiques descriptives tous captages confondus et par captage

Tous captages confondus :

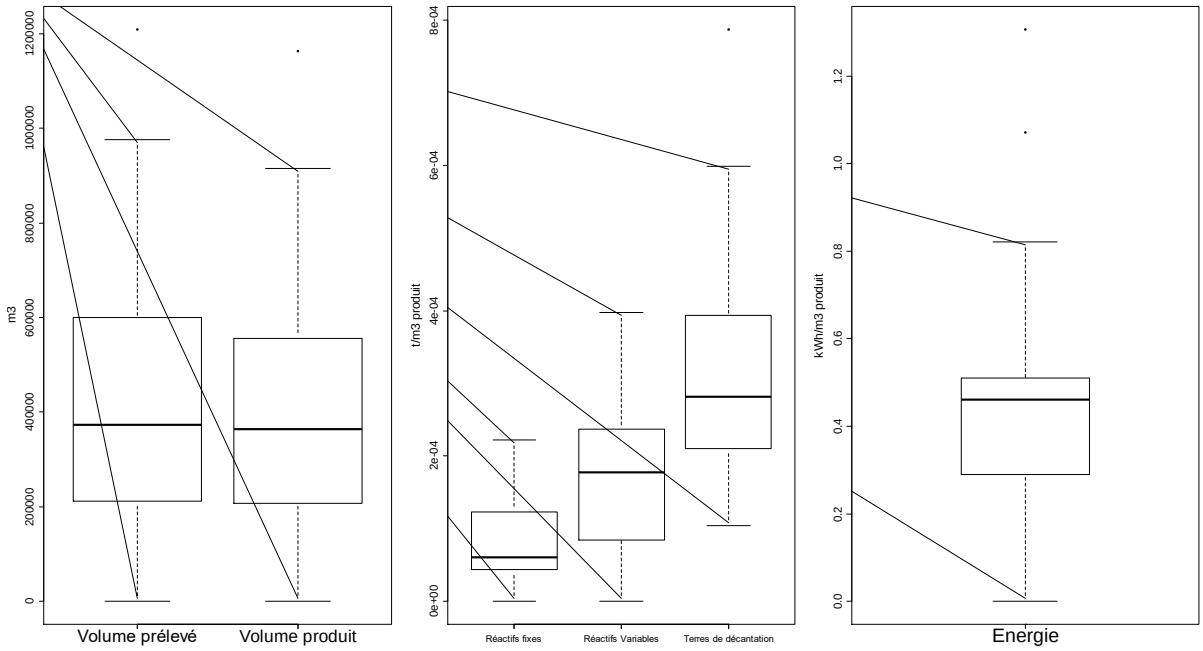

Figure 8 : Données techniques – Tous captages confondus.

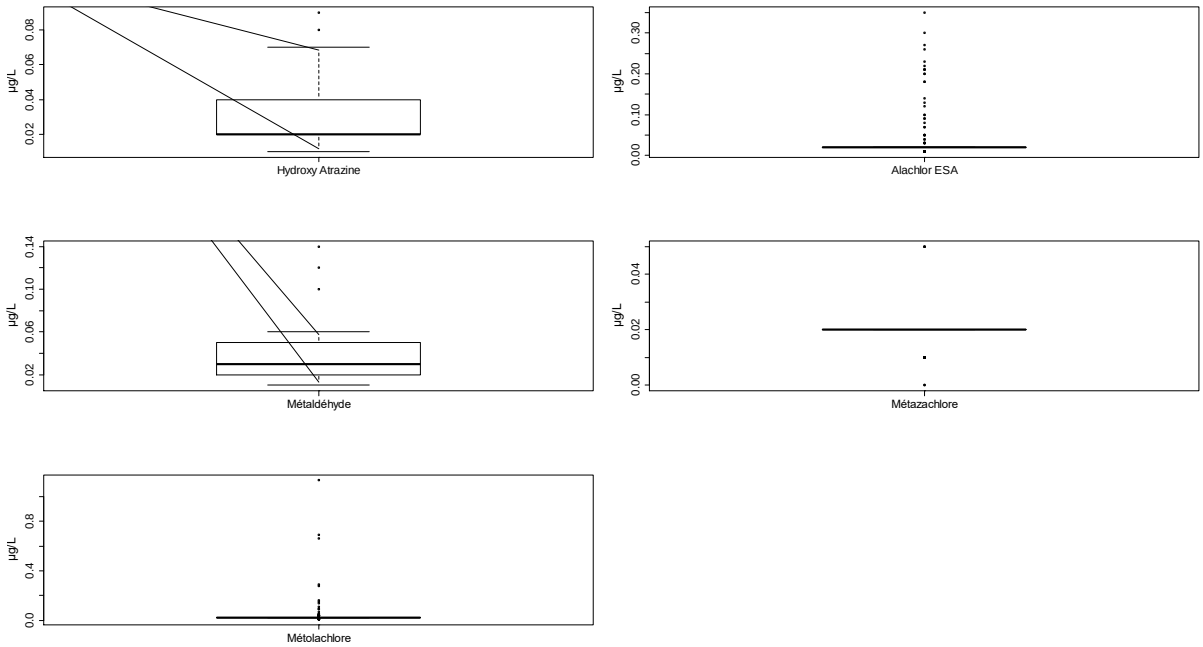

Figure 9 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Phytosanitaires – Tous captages confondus.

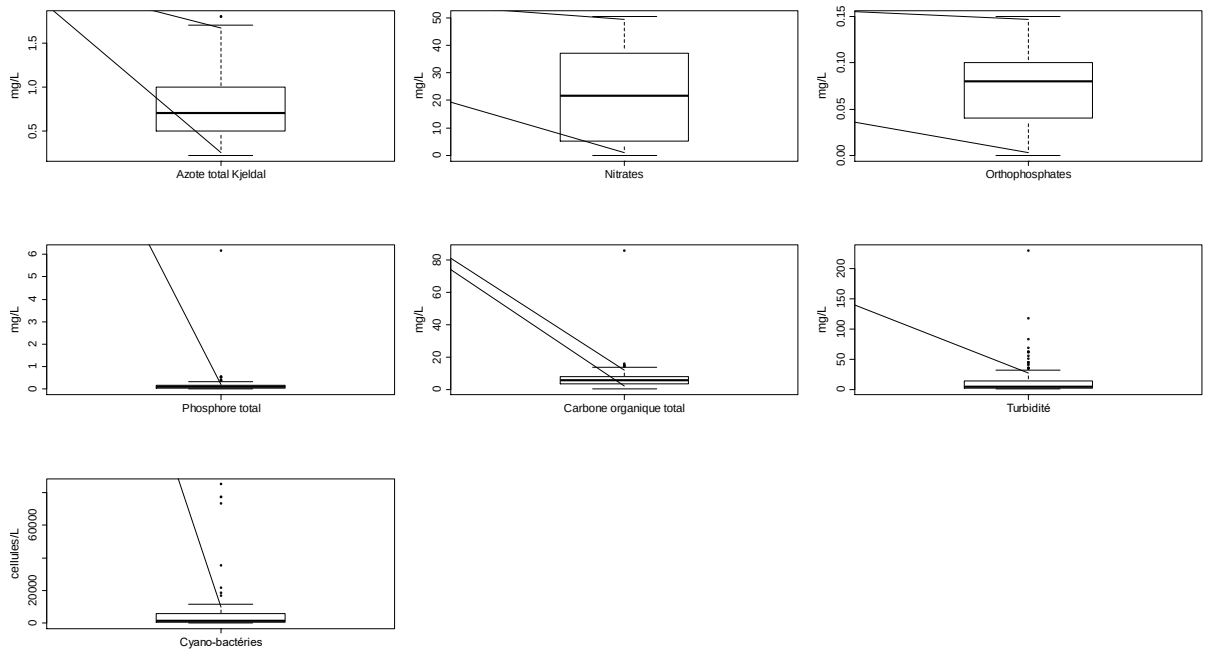

Figure 10 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Paramètres physicochimiques et biologiques – Tous captages confondus.

Par captage – Données techniques

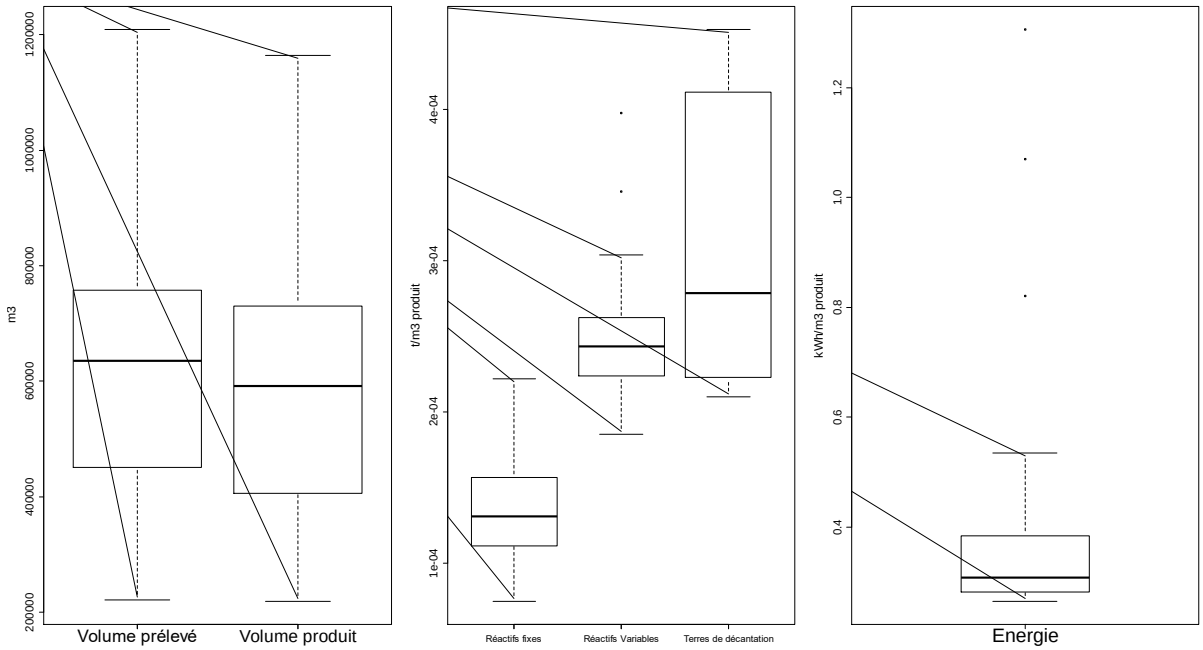

Figure 11 : Données techniques – Meu/Chèze

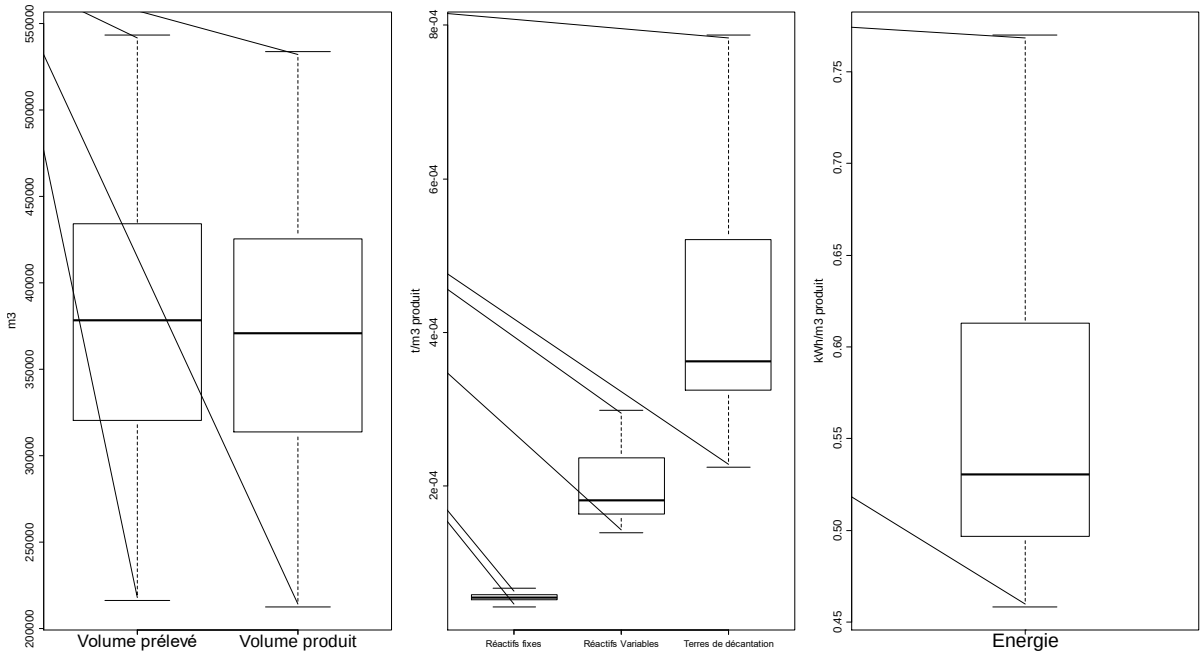

Figure 12 : Données techniques – Couesnon

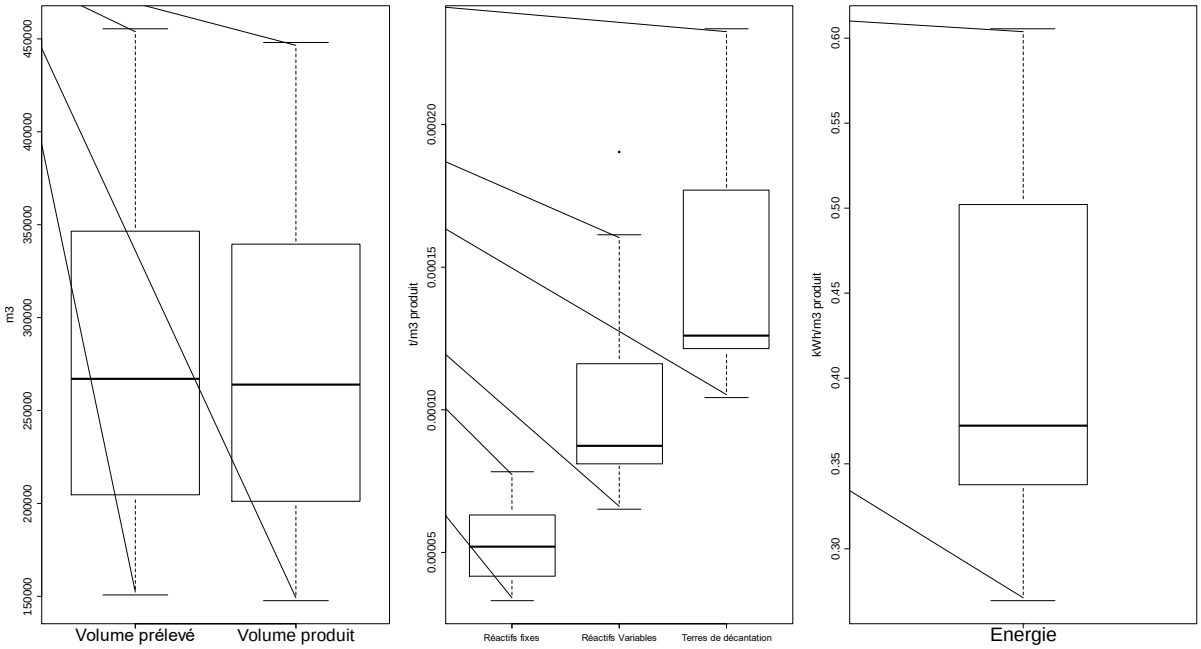

Figure 13 : Données techniques – Drains du Coglais

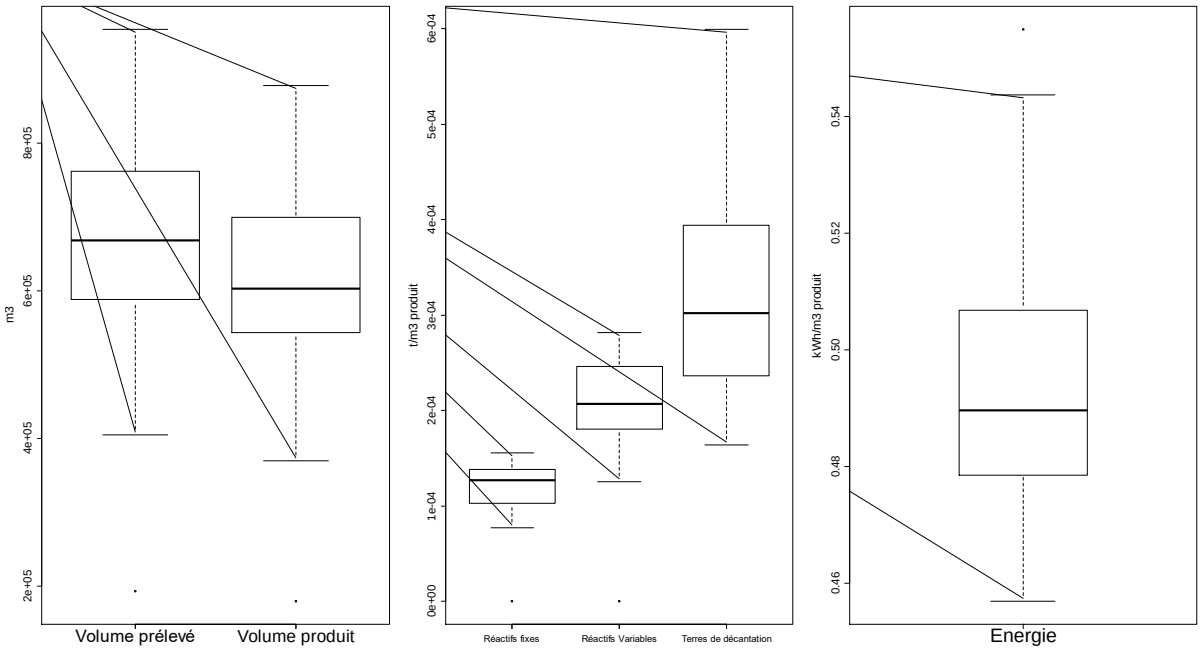

Figure 14 : Données techniques – Rophémel

Par captage – Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Phytosanitaires

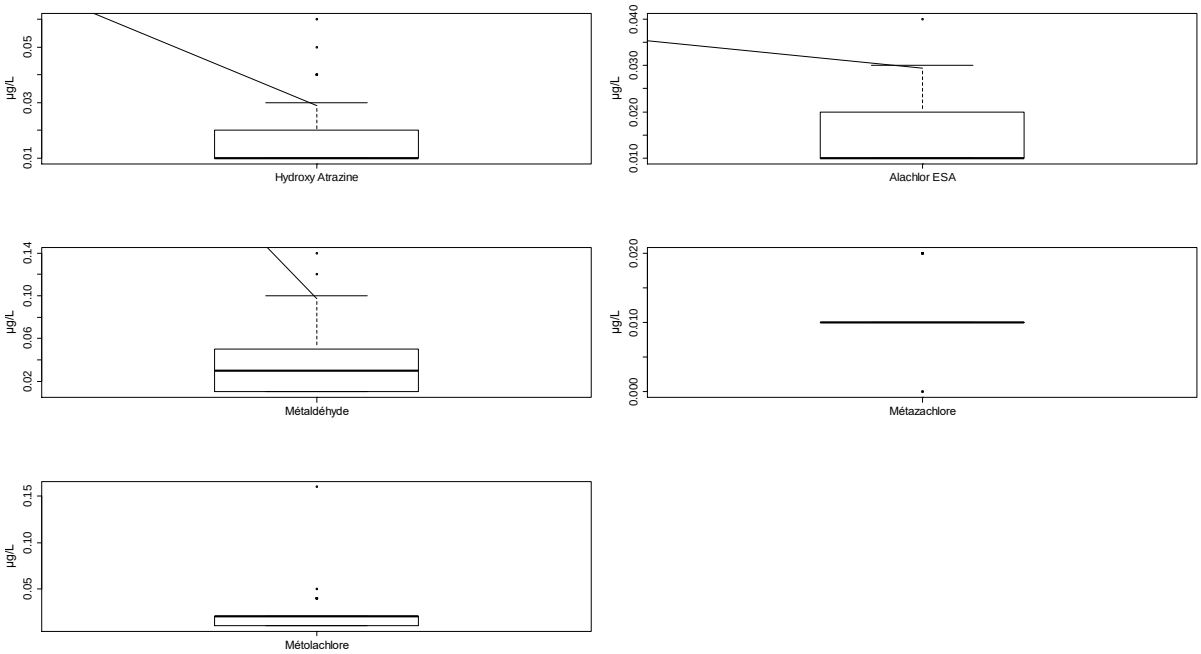

Figure 15 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Phytosanitaires – Meu/Chèze

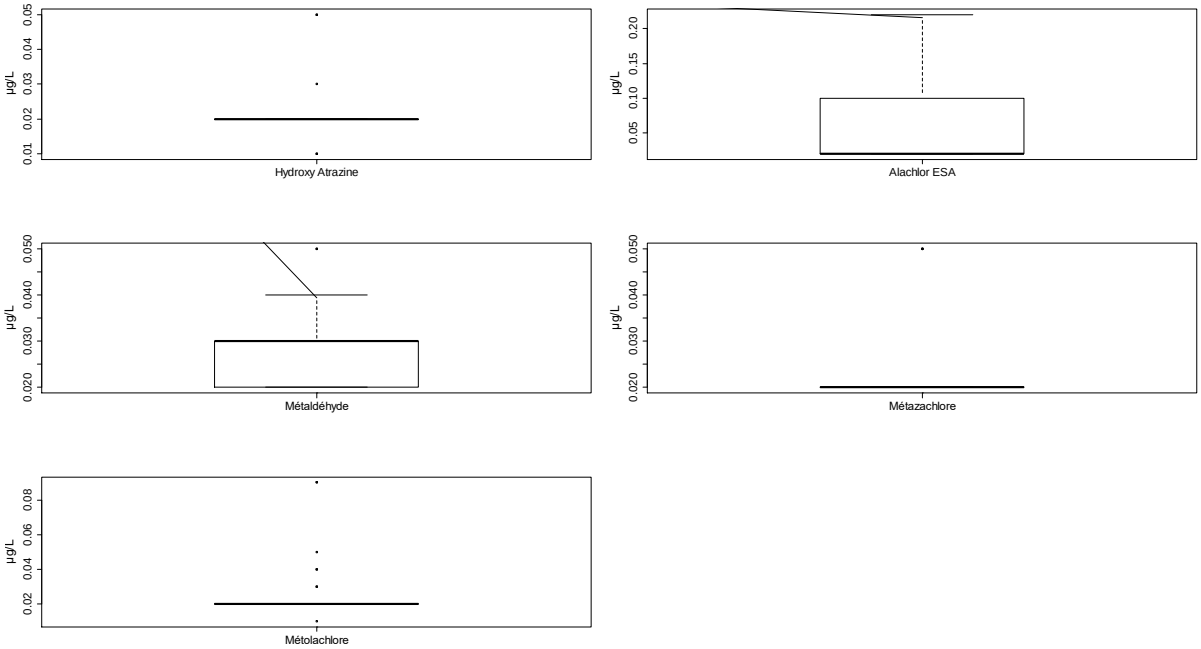

Figure 16 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Phytosanitaires – Couesnon

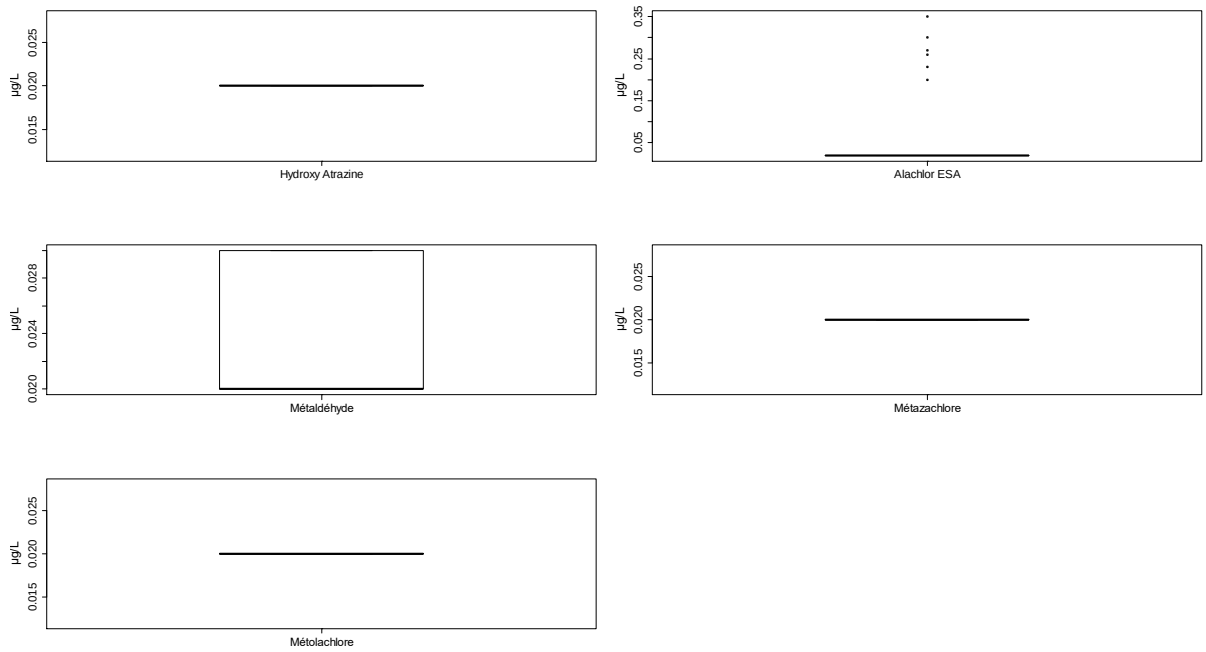

Figure 17 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Phytosanitaires – Drains du Coglais

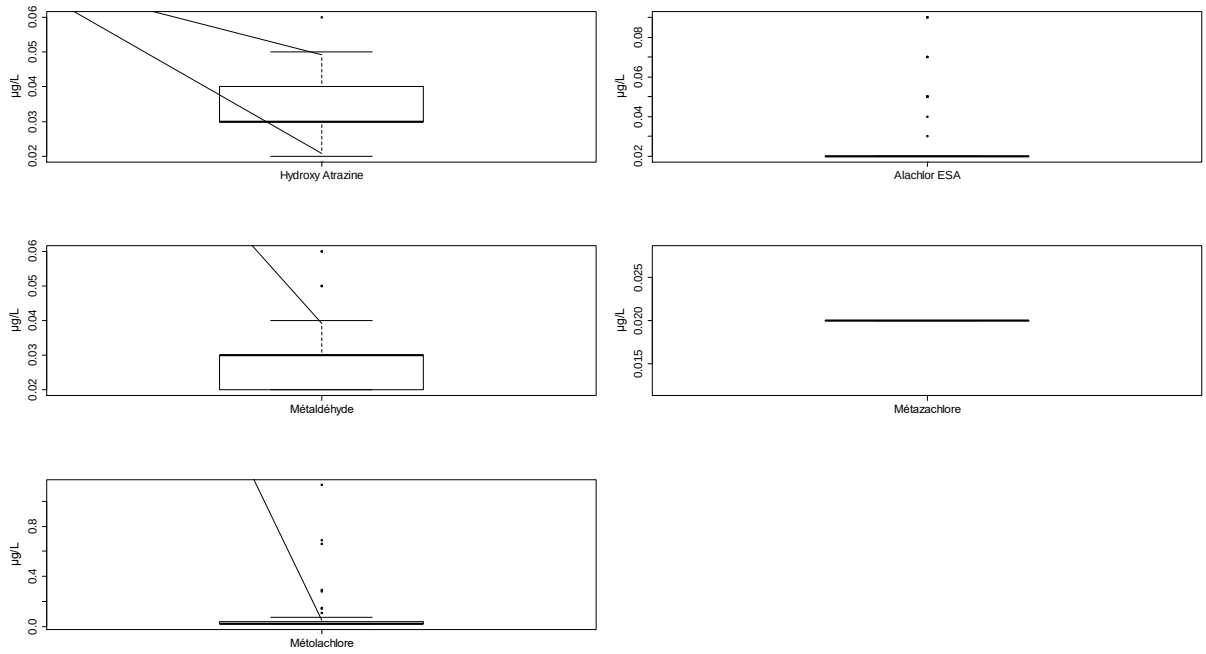

Figure 18 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Phytosanitaires – Rophémel

Par captage – Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Paramètres physicochimiques et biologiques

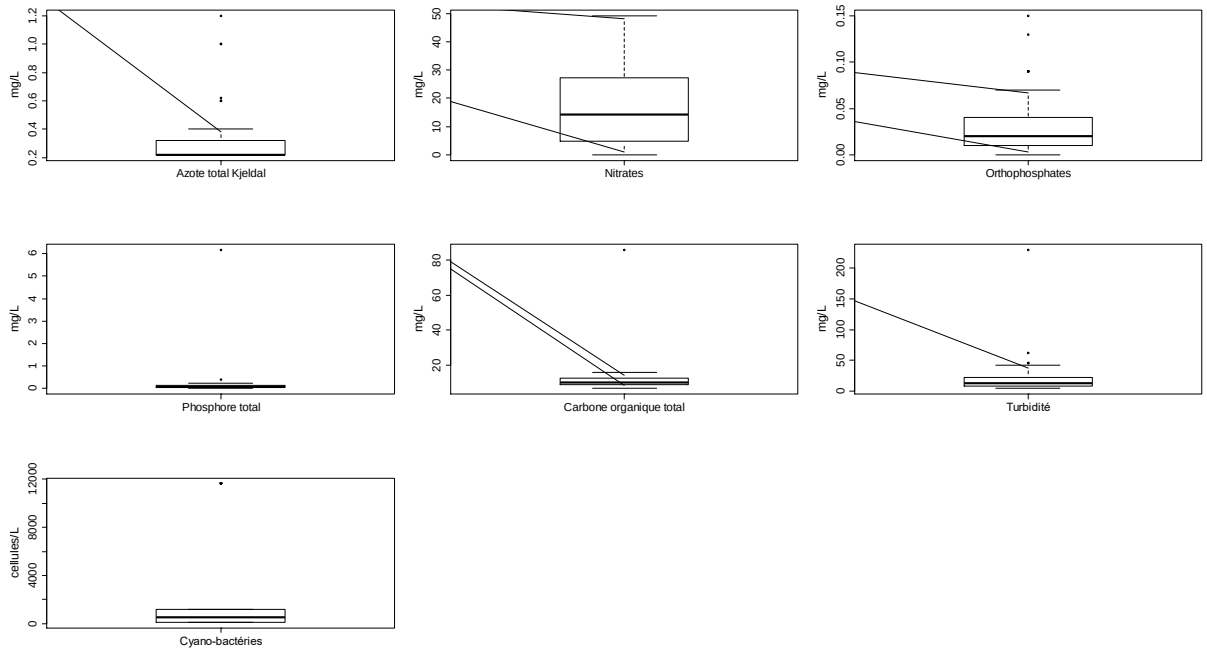

Figure 19 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Paramètres physicochimiques et biologiques – Meu/Chèze

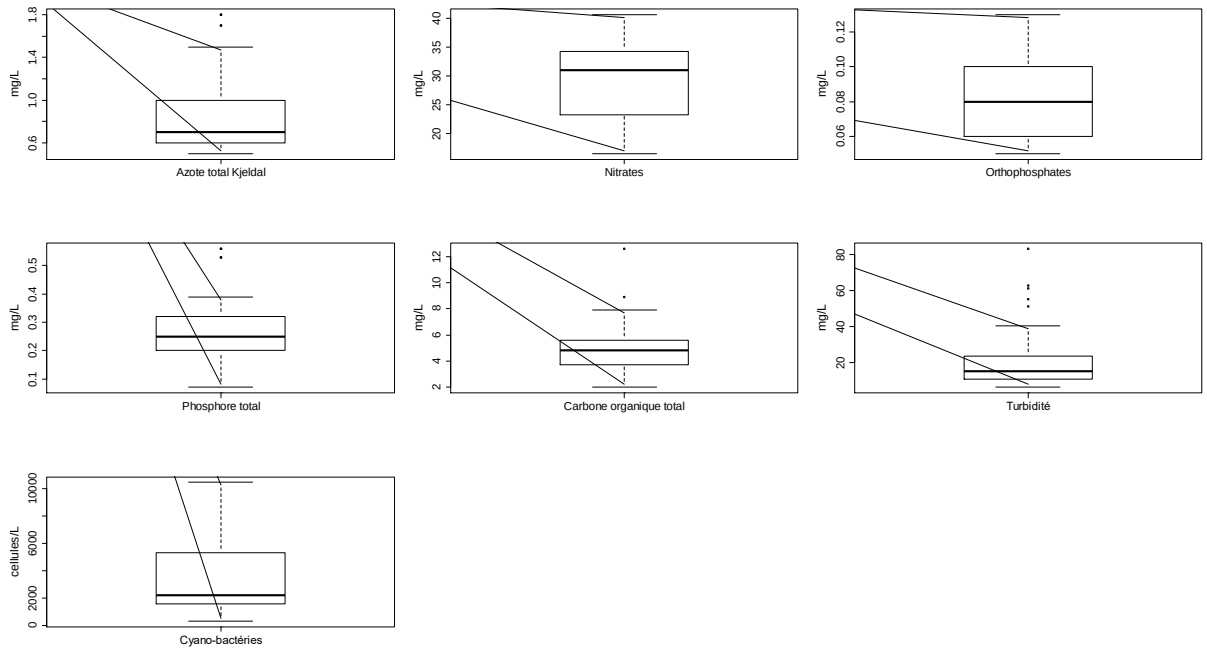

Figure 20 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Paramètres physicochimiques et biologiques - Couesnon

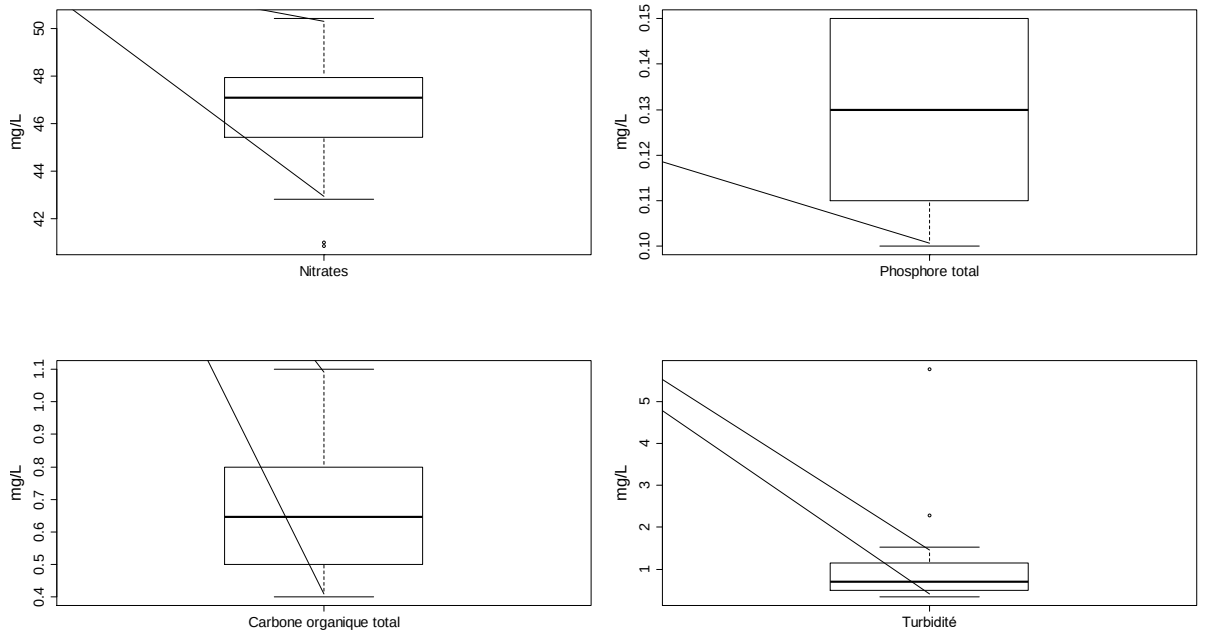

Figure 21 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Paramètres physicochimiques et biologiques – Drains du Coglais

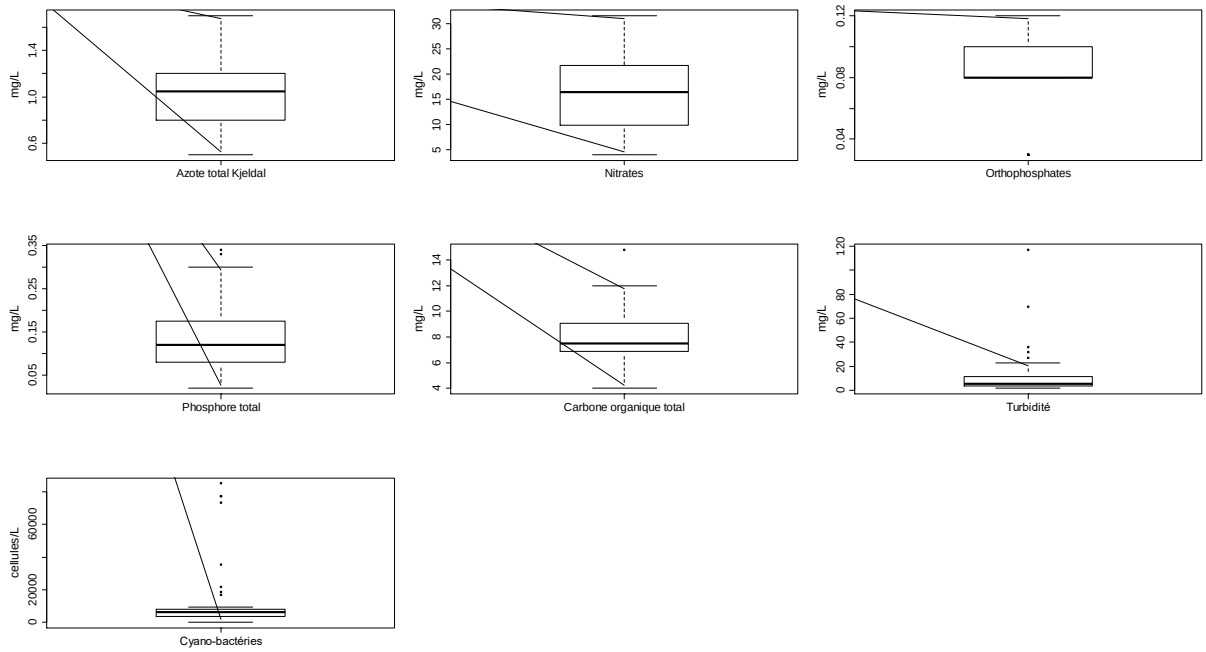

Figure 22 : Indicateurs de la qualité des eaux brutes : Paramètres physicochimiques et biologiques - Rophémel

Tableau 19 : Statistiques descriptives par captage. Données techniques et coûts de production.

		Volumes		Intrants et terres de décantation				Coûts de production			
	Variable	Prélevé par captage	Produit par captage	Réactifs fixes	Réactifs variables	Terres de décantation	Energie	Réactifs fixes	Réactifs variables	Terres de décantation	Energie
	Unité	m3		kg/m3 produit			kWh/m3 produit	Euro/m3 produit			
Couesnon	Minimum	216488	212526	0,0419	0,1387	0,2237	0,4582	0,00618	0,02619	0,04091	0,00000
	1er Quartile	320341	313968	0,0513	0,1633	0,3312	0,4967	0,00780	0,03123	0,04436	0,00000
	Médiane	378627	371006	0,0546	0,1807	0,3620	0,5306	0,00849	0,03558	0,04738	0,00000
	Moyenne	378057	371357	0,0541	0,2011	0,4230	0,5575	0,00837	0,03962	0,04979	0,00295
	3éme Quartile	434460	425662	0,0578	0,2364	0,5049	0,6130	0,00896	0,04435	0,05474	0,00626
	Maximum	543433	534063	0,0661	0,2980	0,7871	0,7699	0,01115	0,06726	0,06876	0,01968
	Ecartype	80206	78830	0,0053	0,0470	0,1575	0,0880	0,00106	0,01076	0,00785	0,00521
	Données manquantes	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0
Drains Coglais	Minimum	150892	147728	0,0331	0,0652	0,1043	0,2693	0,00522	0,01345	0,02405	0,00000
	1er Quartile	204648	201153	0,0417	0,0812	0,1215	0,3376	0,00681	0,01878	0,03015	0,00000
	Médiane	267260	264179	0,0521	0,0873	0,1259	0,3724	0,00796	0,02304	0,03326	0,00000
	Moyenne	278430	273629	0,0536	0,0988	0,1473	0,4125	0,00832	0,02453	0,03684	0,00103
	3éme Quartile	346632	339771	0,0632	0,1162	0,1699	0,5020	0,00979	0,02716	0,04483	0,00272
	Maximum	455487	448311	0,0782	0,1904	0,2334	0,6054	0,01148	0,05257	0,05406	0,00584
	Ecartype	83763	82806	0,0136	0,0284	0,0403	0,1028	0,00189	0,00863	0,00918	0,00175
	Données manquantes	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0

Rophémel	**Minimum**	192709	179081	0,0000	0,0000	0,1637	0,4570	0,00000	0,00944	0,04081	0,00000
	1er Quartile	587865	542776	0,1025	0,1805	0,2405	0,4786	0,01834	0,03862	0,04274	0,00501
	Médiane	668086	603142	0,1268	0,2069	0,3016	0,4897	0,02137	0,04137	0,04373	0,00681
	Moyenne	664305	608598	0,1198	0,2069	0,3180	0,4950	0,02068	0,04226	0,04420	0,00666
	3éme Quartile	761880	699301	0,1379	0,2460	0,3913	0,5068	0,02444	0,04839	0,04526	0,00908
	Maximum	953895	877579	0,1556	0,2818	0,5991	0,5549	0,02820	0,05447	0,04955	0,01498
	Ecartype	155750	143227	0,0278	0,0520	0,1076	0,0238	0,00523	0,00831	0,00212	0,00385
	Données manquantes	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
Bougrières	**Minimum**	0	0	0,0000	0,0000	0,2103	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	1er Quartile	0	0	0,0000	0,0000	0,2147	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	Médiane	0	0	0,0000	0,0000	0,2190	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	Moyenne	29534	27841	0,0155	0,0418	0,2801	0,0938	0,00255	0,01131	0,00838	0,00049
	3éme Quartile	0	0	0,0000	0,0000	0,3150	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	Maximum	262420	255799	0,1415	0,3976	0,4110	0,7414	0,02416	0,08999	0,06621	0,01028
	Ecartype	76339	72115	0,0396	0,1066	0,1134	0,2363	0,00654	0,02853	0,02110	0,00191
	Données manquantes	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0
Meu/ Chèze	**Minimum**	221345	218377	0,0749	0,1852	0,2103	0,2643	0,01070	0,03620	0,02361	0,00526
	1er Quartile	450961	405891	0,1115	0,2240	0,2251	0,2810	0,01806	0,04596	0,02510	0,00563
	Médiane	635640	592095	0,1313	0,2435	0,2790	0,3078	0,02139	0,05367	0,02749	0,00697
	Moyenne	621546	584303	0,1340	0,2478	0,3088	0,3837	0,02225	0,05715	0,03427	0,00772
	3éme Quartile	756986	729947	0,1567	0,2624	0,4114	0,3834	0,02687	0,06462	0,03424	0,01029
	Maximum	1208715	1163454	0,2222	0,3976	0,4530	1,3060	0,03822	0,08999	0,11663	0,01132
	Ecartype	213337	206341	0,0325	0,0409	0,0966	0,2077	0,00606	0,01425	0,01855	0,00242
	Données manquantes	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31

Tableau 20 : Statistiques descriptives par captage. Indicateurs de qualité des eaux brutes.

		Phytosanitaires					Physico-chimique						Autres
	Variable	Hydroxy Atrazine	Alachlor ESA	Metaldehyde	Metazachlore	Metolachlore	Azote total kjeldal (NTK)	Nitrates	Carbone organique total (COT)	Ortho-phosphates	Phosphore Total	Turbidité	Cyano - bactéries
	Unité	µg/L					mg/L					NFU	cellules/L
Couesnon	Minimum	0,0100	0,0200	0,0200	0,0200	0,0100	0,500	16,520	2,000	0,050	0,070	6,18	325
	1er Quartile	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,600	23,190	3,755	0,060	0,200	10,66	1594
	Médiane	0,0200	0,0200	0,0300	0,0200	0,0200	0,700	30,940	4,860	0,080	0,250	15,00	2227
	Moyenne	0,0212	0,0630	0,0274	0,0221	0,0251	0,870	29,304	4,990	0,085	0,261	21,42	2806
	3éme Quartile	0,0200	0,1000	0,0300	0,0200	0,0200	1,000	34,200	5,600	0,100	0,320	23,71	5335
	Maximum	0,0500	0,2200	0,0500	0,0500	0,0900	1,800	40,600	12,600	0,130	0,560	83,17	10469
	Ecartype	0,0070	0,0701	0,0085	0,0077	0,0159	0,378	6,837	1,870	0,027	0,127	17,22	2087
	Données manquantes	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6
Drains Coglais	Minimum	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,000	40,850	0,400	0,000	0,100	0,35	0
	1er Quartile	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,000	45,425	0,500	0,000	0,110	0,50	0
	Médiane	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,000	47,070	0,645	0,000	0,130	0,71	0
	Moyenne	0,0200	0,0681	0,0229	0,0200	0,0200	0,000	46,445	0,654	0,000	0,128	0,95	0
	3éme Quartile	0,0200	0,0200	0,0300	0,0200	0,0200	0,000	47,935	0,800	0,000	0,150	1,14	0
	Maximum	0,0200	0,3500	0,0300	0,0200	0,0200	0,000	50,400	1,100	0,000	0,150	5,76	0
	Ecartype	0,0000	0,1020	0,0046	0,0000	0,0000	0,000	2,069	0,197	0,000	0,020	0,86	0
	Données manquantes	12	12	12	12	12	43	0	3	43	12	1	43

Rophémel	**Minimum**	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,500	4,000	4,000	0,030	0,020	1,54	67
	1er Quartile	0,0300	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,800	9,800	6,910	0,080	0,080	3,85	3782
	Médiane	0,0300	0,0200	0,0300	0,0200	0,0200	1,050	16,500	7,480	0,080	0,120	5,17	6271
	Moyenne	0,0356	0,0291	0,0284	0,0200	0,1002	1,037	16,354	7,962	0,084	0,140	12,81	13419
	3éme Quartile	0,0400	0,0200	0,0300	0,0200	0,0400	1,200	21,800	9,075	0,100	0,175	11,65	8107
	Maximum	0,0600	0,0900	0,0600	0,0200	1,1300	1,700	31,600	14,800	0,120	0,340	117,00	85120
	Ecartype	0,0110	0,0191	0,0109	0,0000	0,2181	0,291	7,640	1,998	0,026	0,087	20,52	21965
	Données manquantes	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Bougrières	**Minimum**	0,0400	0,0200	0,0400	0,0200	0,0200	0,500	0,100	4,800	0,000	0,010	1,40	11
	1er Quartile	0,0500	0,0200	0,0500	0,0200	0,0200	0,500	1,655	5,168	0,000	0,010	1,80	11
	Médiane	0,0500	0,0200	0,0500	0,0200	0,0200	0,600	2,935	6,100	0,000	0,060	4,00	11
	Moyenne	0,0555	0,0205	0,0518	0,0200	0,0203	0,860	2,943	5,742	0,000	0,053	3,37	571
	3éme Quartile	0,0700	0,0200	0,0600	0,0200	0,0200	1,150	4,120	6,100	0,000	0,060	4,00	11
	Maximum	0,0900	0,0300	0,0600	0,0200	0,0300	1,600	5,820	6,700	0,000	0,140	5,10	6000
	Ecartype	0,0128	0,0022	0,0059	0,0000	0,0016	0,461	1,649	0,597	0,000	0,046	1,28	1638
	Données manquantes	3	3	3	3	3	3	1	3	0	3	3	29
Meu/Chèze	**Minimum**	0,0081	0,0054	0,0053	0,0037	0,0062	0,216	0,000	6,657	0,000	0,000	4,00	97
	1er Quartile	0,0081	0,0054	0,0108	0,0054	0,0094	0,216	4,931	8,837	0,013	0,060	7,65	97
	Médiane	0,0081	0,0105	0,0275	0,0054	0,0200	0,216	14,325	9,990	0,020	0,079	13,36	549
	Moyenne	0,0160	0,0140	0,0345	0,0090	0,0227	0,348	17,715	12,209	0,037	0,245	21,95	2782
	3éme Quartile	0,0172	0,0200	0,0500	0,0105	0,0200	0,316	27,356	12,417	0,040	0,150	21,72	1157
	Maximum	0,0550	0,0350	0,1380	0,0200	0,1550	1,200	49,165	85,870	0,147	6,167	229,60	11639
	Ecartype	0,0128	0,0082	0,0299	0,0054	0,0246	0,238	14,590	11,747	0,038	0,928	35,09	4569
	Données manquantes	4	4	0	4	4	4	0	0	12	0	0	4

Analyses des corrélations entre variable par captage

Tableau 21 : Analyse des corrélations entre variables – Meu/Chèze

	Volume prélevé	Volume produit	Réactifs fixes	Réactifs variables	Energie	Terres de décantation	Hydroxy Atrazine	Alachlor ESA	Métaldéhyde	Métazachlore	Métolachlore	NTK	Nitrates	COT	Cyano-bactéries	Ortho-phosphates	Phosphore Total	Turbidite
Volume prélevé	1	0,997*	0,013	-0,26	-0,27	-0,26	-0,03	-0,06	0,411*	-0,35*	-0,01	-0,10	0,077	0,138	0,177	-0,06	0,139	0,236
Volume produit		1	0,036	-0,29	-0,27	-0,28	-0,06	-0,08	0,405*	-0,37*	-0,04	-0,12	0,057	0,122	0,190	-0,09	0,119	0,215
Réactifs fixes			1	-0,37*	-0,05	-0,10	-0,35*	-0,23	0,065	-0,33*	-0,25	-0,22	-0,24	-0,09	0,470*	-0,44*	-0,17	-0,12
Réactifs variables				1	0,685*	0,520	0,541*	0,478*	-0,02	0,322*	0,109	0,557*	0,277	-0,12	-0,32*	0,511*	-0,02	-0,10
Energie					1	0,298	0,566*	0,483*	-0,08	0,541*	-0,06	0,728*	0,278	-0,14	-0,21	0,189	-0,06	-0,13
Terres de décantation						1	0,350	-0,15	0,268	-0,11	-0,13	-0,07	0,452	-0,33	-0,18	-0,38	-0,31	-0,32
Hydroxy Atrazine							1	0,397*	0,248	0,622*	0,462*	0,618*	0,423*	-0,12	-0,18	0,405*	-0,05	-0,14
Alachlor ESA								1	0,084	0,448*	0,044	0,484*	0,255	-0,13	0,304	0,573*	-0,09	-0,14
Métaldéhyde									1	-0,38*	-0,07	-0,13	0,385*	-0,17	0,456*	-0,22	-0,13	-0,10
Métazachlore										1	0,321*	0,714*	0,149	-0,03	-0,27	0,398*	-0,01	-0,05
Métolachlore											1	0,067	-0,18	0,145	-0,05	0,139	0,124	0,128
NTK												1	0,359*	-0,08	-0,27	0,441*	0,024	-0,05
Nitrates													1	-0,29	-0,27	0,465*	-0,15	-0,22
COT														1	-0,03	-0,05	0,971*	0,932*
Cyano-bactéries															1	-0,35	-0,11	-0,00
Orthophosphates																1	0,019	-0,12
Phosphore Total																	1	0,923*
Turbidite																		1

Tableau 22 : Analyse des corrélations entre variables - Bougrières

	Volume prélevé	Volume produit	Réactifs fixes	Réactifs variables	Energie	Terres de décantation	Hydroxy Atrazine	Alachlor ESA	Métaldéhyde	Métolachlore	NTK	Nitrates	COT	Cyano-bactéries	Phosphore Total	Turbidite
Volume prélevé	1	0,999*	0,975*	0,919*	0,955*	-0,24	0,601*	0,378*	0,165	-0,06	-0,32*	-0,16	-0,39*	-0,29	0,064	-0,50*
Volume produit		1	0,973*	0,916*	0,952*	-0,48	0,599*	0,375*	0,161	-0,06	-0,32*	-0,16	-0,39*	-0,29	0,064	-0,50*
Réactifs fixes			1	0,950*	0,976*	-0,64	0,610*	0,426*	0,209	-0,06	-0,32*	-0,17	-0,38*	-0,29	0,065	-0,51*
Réactifs variables				1	0,993*	0,922	0,658*	0,646*	0,271	-0,06	-0,32*	-0,11	-0,37*	-0,30	0,065	-0,52*
Energie					1	0,964	0,652*	0,577*	0,251	-0,06	-0,33*	-0,13	-0,38*	-0,30	0,066	-0,53*
Terres de décantation						1			-2,95			0,939	-0,92	5,100	NA	-0,46
Hydroxy Atrazine							1	0,535*	-0,26	0,183	-0,37*	-0,39*	0,108	-0,03	-0,30	-0,82*
Alachlor ESA								1	0,322*	-0,03	-0,18	0,053	-0,15	-0,14	0,036	-0,31
Métaldéhyde									1	-0,32*	-0,17	0,130	-0,74*	-0,46	0,523*	0,165
Métolachlore										1	-0,12	-0,16	0,260	0,226	0,025	-0,22
NTK											1	0,386*	0,435*	-0,09	-0,59*	0,427*
Nitrates												1	0,052	-0,13	0,061	0,522*
COT													1	0,429	-0,74*	0,168
Cyano-bactéries														1	0,185	-0,24
Phosphore Total															1	0,024
Turbidite																1

Tableau 23 : Analyse des corrélations entre variables - Couesnon

	Volume prélevé	Volume produit	Réactifs fixes	Réactifs variables	Energie	Terres de décantation	Hydroxy Atrazine	Alachlor ESA	Métaldéhyde	Métazachlore	Métolachlore	NTK	Nitrates	COT	Cyano-bactéries	Ortho-phosphates	Phosphore Total	Turbidite
Volume prélevé	1	0,999*	-0,24	-0,61*	-0,73*	-0,72*	-0,09	-0,16	0,065	-0,00	0,037	-0,42*	-0,19	0,005	-0,46*	-0,33*	-0,28	-0,31*
Volume produit		1	-0,24	-0,62*	-0,73*	-0,73*	-0,08	-0,17	0,067	-0,01	0,046	-0,42*	-0,19	-0,00	-0,46*	-0,33*	-0,29	-0,31*
Réactifs fixes			1	0,086	0,120	0,248	-0,26	0,030	-0,20	0,063	0,060	-0,01	-0,12	0,187	0,057	-0,45*	0,499*	0,093
Réactifs variables				1	0,833*	0,904*	0,098	0,518*	-0,20	0,057	-0,15	0,647*	0,170	0,368*	0,584*	0,317*	0,524*	0,571*
Energie					1	0,802*	0,162	0,186	-0,04	-0,15	-0,15	0,644*	0,444*	0,166	0,497*	0,396*	0,415*	0,583*
Terres de décantation						1	0,044	0,130	0,080	0,313	0,246	0,673*	-0,12	0,569	0,731*	0,749*	0,778*	0,764*
Hydroxy Atrazine							1	-0,02	-0,06	0,086	-0,05	0,112	0,221	-0,12	0,223	-0,03	-0,17	0,062
Alachlor ESA								1	-0,49*	0,330*	-0,10	0,141	-0,10	0,305*	0,352*	0,069	0,438*	-0,03
Métaldéhyde									1	-0,24	-0,27	-0,07	0,021	-0,05	-0,23	0,191	-0,35*	0,281
Métazachlore										1	0,084	-0,19	-0,47*	0,192	0,611*	-0,25	0,128	-0,13
Métolachlore											1	-0,17	0,031	-0,19	0,041	-0,02	-0,03	-0,16
NTK												1	0,056	0,353*	0,435*	0,149	0,583*	0,632*
Nitrates													1	-0,48*	-0,24	0,242	-0,11	0,125
COT														1	0,362*	-0,12	0,401*	0,325*
Cyano-bactéries															1	0,079	0,554*	0,256
Orthophosphates																1	-0,26	0,040
Phosphore Total																	1	0,369*
Turbidite																		1

Tableau 24 : Analyse des corrélations entre variables – Drains du Coglais

	Volume prélevé	Volume produit	Réactifs fixes	Réactifs variables	Energie	Terres de décantation	Alachlor ESA	Métaldéhyde	Nitrates	COT	Phosphore Total	Turbidite
Volume prélevé	1	0,999*	-0,85*	-0,72*	-0,82*	-0,30	0,589*	0,284	-0,35*	0,724*	0,537*	0,053
Volume produit		1	-0,85*	-0,72*	-0,82*	-0,32	0,584*	0,292	-0,35*	0,728*	0,543*	0,055
Réactifs fixes			1	0,818*	0,898*	0,109	-0,58*	-0,25	0,223	-0,63*	-0,45*	-0,16
Réactifs variables				1	0,881*	0,767*	-0,36*	-0,39*	0,164	-0,60*	-0,61*	-0,10
Energie					1	0,333	-0,49*	-0,40*	0,270	-0,70*	-0,54*	-0,06
Terres de décantation						1			-0,30	0,252	-0,06	0,322
Alachlor ESA							1	-0,30	-0,18	0,514*	0,199	0,149
Métaldéhyde								1	-0,10	0,477*	0,720*	0,047
Nitrates									1	-0,31*	-0,17	-0,02
COT										1	0,787*	0,081
Phosphore Total											1	0,122
Turbidite												1

Tableau 25 : Analyse des corrélations entre variables - Rophémel

	Volume prélevé	Volume produit	Réactifs fixes	Réactifs variables	Energie	Terres de décantation	Hydroxy Atrazine	Alachlor ESA	Métaldéhyde	Métazachlore	Métolachlore	NTK	Nitrates	COT	Cyano-bactéries	Ortho-phosphates	Phosphore Total	Turbidite
Volume prélevé	1	0,998*	-0,11	-0,15	-0,46*	-0,32	-0,01	0,078	-0,29	-1,22	0,229	-0,00	0,233	-0,09	-0,12	0,153	0,000	-0,12
Volume produit		1	-0,12	-0,16	-0,48*	-0,31	-0,02	0,064	-0,29	6,170	0,227	0,006	0,224	-0,12	-0,13	0,141	-0,00	-0,13
Réactifs fixes			1	0,355*	-0,12	-0,00	0,119	0,054	-0,21	-1,05	0,123	0,122	0,033	0,170	0,012	-0,05	0,070	-0,00
Réactifs variables				1	0,325*	0,361*	0,199	0,136	0,018	2,686	0,164	0,254	0,193	0,463*	-0,02	-0,01	0,600*	0,327*
Energie					1	0,360*	0,296	0,394*	0,043	2,106	0,063	-0,00	0,007	0,537*	0,246	-0,03	0,336*	0,370*
Terres de décantation						1	0,127	-0,05	0,371*		0,035	0,101	0,183	0,438*	-0,23	-0,30	0,635*	0,443*
Hydroxy Atrazine							1	0,320*	-0,02	-1,39	0,349*	0,228	-0,05	0,393*	-0,21	-0,06	0,142	0,221
Alachlor ESA								1	-0,35*	-9,28	0,186	-0,14	-0,00	0,205	-0,00	-0,19	0,157	0,010
Métaldéhyde									1	2,797	-0,22	0,060	0,013	0,021	-0,05	-0,00	-0,05	0,066
Métazachlore										1	-3,50	4,976	-6,44	8,474	6,509	-9,31	9,491	9,659
Métolachlore											1	0,071	-0,04	0,363*	-0,00	-0,18	0,128	-0,12
NTK												1	-0,40*	0,261	-0,13	-0,03	0,413*	0,304*
Nitrates													1	0,140	-0,01	0,592*	0,204	0,246
COT														1	-0,00	0,097	0,639*	0,720*
Cyano-bactéries															1	0,015	-0,11	-0,15
Orthophosphates																1	-0,02	0,203
Phosphore Total																	1	0,626*
Turbidite																		1

Annexe 2 : Résultats des simulations

Résultats des simulations sur les données observées : « 2017 » et « Illustratif -50% ».

Tableau 26 : Résultats des simulations « 2017 » et « Illustratif -50% ». Les résultats de « Illustratif -50% » sont présenté en variation par rapport à la référence (en valeur et pourcentage).

		2017	Illustratif -50% - Variations		2017	Illustratif -50% - Variations		2017	Illustratif -50% - Variations		2017	Illustratif -50% - Variations		2017	Illustratif -50% - Variations	
Variable	Unité	Couesnon	Valeur	%	Drains	Valeur	%	Rophémel	Valeur	%	Bougrières	Valeur	%	Meu/Chèze	Valeur	%
Coût réactifs fixes	Euro	43 086	0	0	24 106	0	0	156 853	29 304	18,7	14 141	0	0,0	189 424	-30 449	-16,1
Coût réactifs variables	Euro	197 460	-54 727	-27,7	58 711	-20 017	-34,1	332 826	-51 445	-15,5	43 496	-18 566	-42,7	505 409	-108 971	-21,6
Coût énergie	Euro	221 062	0	0	109 351	0	0	352 539	61 487	17,4	40 245	0	0,0	285 056	-42 375	-14,9
Coût terres de décantation	Euro	49 973	-23 724	-47,5	8 719	-6 040	-69,3	62 122	-20 407	-32,8	3 889	-2 449	-63,0	103 550	-66 220	-63,9
Coût variable	Euro	511 582	-78 452	-15,3	200 888	-26 058	-13,0	904 339	18 940	2,1	101 771	-21 014	-20,6	1 083 439	-248 014	-22,9
Coût variable/m3	Euro /m3	0,1070	-0,0168	-15,7	0,0855	-0,0111	-12,9	0,1143	-0,0154	-13,5	0,0359	-0,0074	-20,6	0,1340	-0,0086	-6,5
Quantité produite	m3	4 910 063	0	0	2 363 258	0	0	7 991 902	1 379 318	17,3	709 071	0	0,0	8 017 583	-1 379 318	-17,2

Résultats des simulations sur les données projetées en 2030 : « Tendanciel », « -50% », « TerresDécantation » et « SEQ-Eau ».

Tableau 27 : Résultats des simulations sur les données projetées en 2030 : « Tendanciel », « -50% », « TerresDécantation » et « SEQ-Eau ». Les résultats des scénarios alternatifs sont exprimés en pourcentage de variation par rapport au scénario « Tendanciel ».

		Couesnon				Drains				Rophemel				Bougrieres				MeuCheze			
		Tendanciel	-50%	TerresDécantation	SEQ-Eau	Tendanciel	-50%	TerresDécantation	SEQ-Eau	Tendanciel	-50%	TerresDécantation	SEQ-Eau	Tendanciel	-50%	TerresDécantation	SEQ-Eau	Tendanciel	-50%	TerresDécantation	SEQ-Eau
Variable	Unité	Valeurs	Variations (%)			Valeurs	Variations (%)			Valeurs	Variations (%)			Valeurs	Variations (%)			Valeurs	Variations (%)		
Coût réactifs fixes	Euro	63 496	0,0	0,0	0,0	35 524	0,0	0,0	0,0	228 445	19,6	5,6	1,6	20 839	0,0	0,0	0,0	276 430	-16,6	-2,7	-1,8
Coût réactifs variables	Euro	255 711	-27,7	0,0	-28,6	76 031	-34,1	0,0	-16,6	424 473	-14,6	4,8	-29,5	56 328	-42,7	0,0	-61,4	655 672	-21,6	-3,7	-10,9
Coût énergie	Euro	425 358	0,0	0,0	0,0	210 409	0,0	0,0	0,0	674 048	18,1	4,6	1,6	77 437	0,0	0,0	0,0	531 969	-15,6	-2,5	-1,1
Coût terres de décantation	Euro	64 716	-47,5	163,6	-39,0	11 227	-69,3	165,1	-20,0	79 969	-32,5	173,1	-20,6	5 036	-63,0	163,6	-8,1	136 763	-64,3	88,9	-72,3
Coût variable	Euro	809 281	-12,6	13,1	-12,1	333 192	-10,1	5,6	-4,5	1 406 937	5,6	14,4	-9,1	159 640	-17,0	5,2	-21,9	1 600 833	-22,4	4,8	-11,3
Coût variable/m3	Euro/m3	0,1486	-12,9	13,2	-12,8	0,1247	-10,1	5,5	-4,4	0,1578	-11,1	9,3	-11,1	0,0495	-17,0	5,2	-21,9	0,1758	-5,6	12,5	-9,2
Quantité produite	m3	5 587 562	0	0	0	2 689 344	0	0	0	9 052 593	17,9	4,4	1,6	806 909	0	0	0	9 165 909	-17,6	-4,4	-1,6

Annexe 3 : Guide d'utilisation du fichier de simulation des coûts évités

Le fichier de simulation des coûts évités se présente sous la forme d'un fichier Excel : « *SimulationCoutsEvites_TS_20181122_v3.xlsx* ». Il permet de simuler des coûts évités selon différents scénarios, sur les données observées en 2017 ou projetées en 2030.
Les résultats sont exprimés en **euros 2017**.

Description du fichier

Ce fichier est composé de plusieurs onglets décrits ci-dessous.

- ⇨ *Onglet "Description" :*
  - Contient la description des différents onglets du fichier
- ⇨ *Onglet "Commentaires" :*
  - Explique le fonctionnement de l'onglet de calcul
  - Précise les simulations réalisables
- ⇨ *Onglet "Simulation" :*
  - Permet de définir les modalités du scénario de référence
  - Permet de définir les modalités du scénario alternatif
  - Seules les cellules vertes sont modifiables
- ⇨ *Onglet "SortiesSimul" :*
  - Récapitule les résultats des simulations
- ⇨ *Onglet "Graphes" :*
  - Propose des graphiques réalisés automatiquement à partir des résultats de l'onglet "SortiesSimul"
- ⇨ *Onglet "Parametres" :*
  - Contient les paramètres des régressions permettant de simuler les coûts évités
  - Contient les valeurs seuil considérées dans les scénarios de type « SEQ-Eau »
  - **Ne doit pas être modifié**
  - Cet onglet est masqué
- ⇨ *Onglet "Calcul_Reference" :*
  - Permet de réaliser les simulations des situations de références en 2030
  - Pour 2017, les données observées constituent le scénario de référence
  - **Ne doit pas être modifié**
  - Cet onglet est masqué
- ⇨ *Onglet "Calcul_Alternatif" :*
  - Permet de réaliser les simulations des scénarios alternatifs
  - **Ne doit pas être modifié**
  - Cet onglet est masqué

Paramétrage des simulations

Le paramétrage des simulations est réalisé dans l'onglet « *Simulation* ». Il contient deux plages de saisie distinctes :

- ⇨ **A4:M29** : Permettant de définir les modalités des **scénarios de référence**
- ⇨ **A31:M56** : Permettant de définir les modalités des **scénarios alternatifs**

Les plages de données permettant de paramétrer les scénarios sont matérialisées par un fond vert (Figure 23).

Années de simulation

Le paramétrage des scénarios commence par définir l'année à considérer pour la référence et le scénario alternatif (Figure 24). Cette date peut être 2017 ou 2030. En 2017, le scénario de référence est constitué des données observées sur la période et n'est pas modifiable.

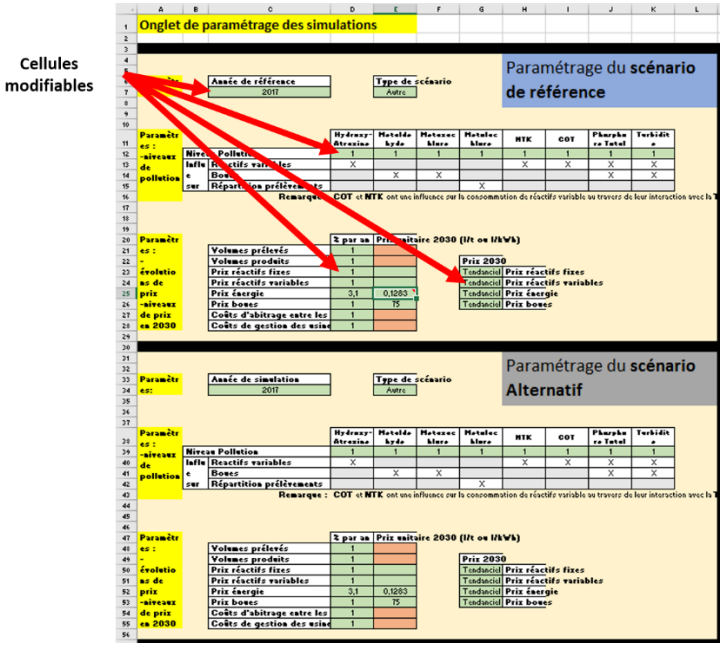

Figure 23 : Plage de paramétrage des simulations. Exemple de cellules modifiables.

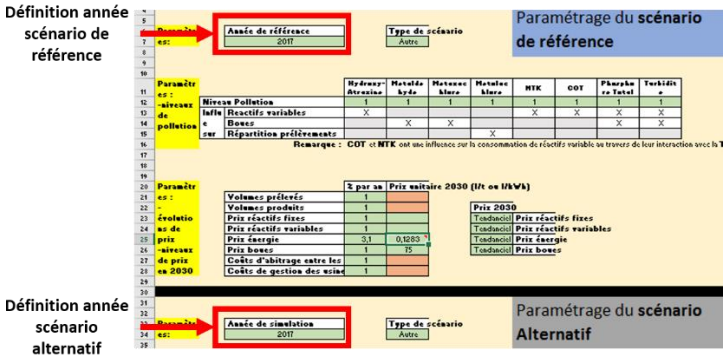

Figure 24 : Plage de paramétrage des années à considérer pour les scénarios de référence et alternatif.

Niveau des indicateurs de qualité des eaux

Les niveaux des indicateurs de qualité des eaux peuvent être, pour les scénarios de référence et alternatif, paramétrés de deux façons :

- ⇨ Scénario de type « SEQ-Eau », uniquement réalisable en 2030. Les plages « Type de scénario » (voir Figure 25) doivent alors afficher la valeur « SEQ-Eau ». Les teneurs des indicateurs de qualité prises en compte dans les calculs sont alors celles mesurées mensuellement en 2017, bornés supérieurement par les seuils du référentiel SEQ-Eau[3]. Concrètement, si la valeur d'un indicateur pour une date donnée en 2017 est inférieure au seuil SEQ-Eau, c'est cette valeur mesurée qui est considérée. En revanche, si cette valeur est supérieure au seuil, elle est remplacée par la valeur du seuil.
- ⇨ Pour des simulations autres que de type « SEQ-Eau », les plages « Type de scénario » doivent afficher la valeur « Autre ». Les valeurs des indicateurs de qualité peuvent alors être modifiés, à la hausse ou à la baisse, à l'aide des cellules dédiées (voir Figure 25).

[3] Par défaut, ce sont les seuils correspondant à un classement des masses d'eau en eau « bleue » qui sont paramétrés. Pour une modification de ces seuils, il convient de les modifier dans l'onglet « Parametres », plage A37:G53.

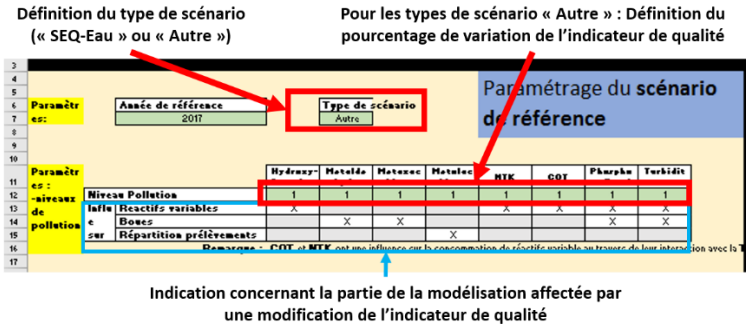

Figure 25 : Paramétrage des niveaux des indicateurs de qualité des eaux. Exemple du scénario de référence. Le paramétrage du scénario alternatif se fait à l'aide des cellules dédiées.

Evolution des prix et volumes

Pour les scénarios projetés en 2030, il est possible de définir différentes modalités de projection. Pour les volumes prélevés et produits, l'évolution est toujours tendancielle. Le pourcentage d'augmentation annuel doit donc être paramétré (voir Figure 26 A) et B)). En revanche, pour les prix des réactifs variables et fixes, de l'énergie et des terres de décantation deux options sont possibles. Dans le cas d'une évolution tendancielle, le pourcentage d'augmentation annuel doit être défini et la plage de donnée « Prix 2030 » de la variable sélectionnée doit afficher la valeur « Tendanciel » (Figure 26 A)). Il est également possible de définir des prix fixés arbitrairement en 2030. Dans ce cas, l'évolution tendancielle n'est pas considérée pour la variable sélectionnée mais uniquement le prix défini. Pour la réalisation de ce type de scénarios, la plage de donnée « Prix 2030 » doit afficher la valeur « Fixe » pour la variable considérée (Figure 26 B)). Les différents prix sont indépendants. Il est donc tout à fait possible de fixer un prix, pour l'énergie par exemple, et de considérer l'évolution tendancielle pour les autres variables.

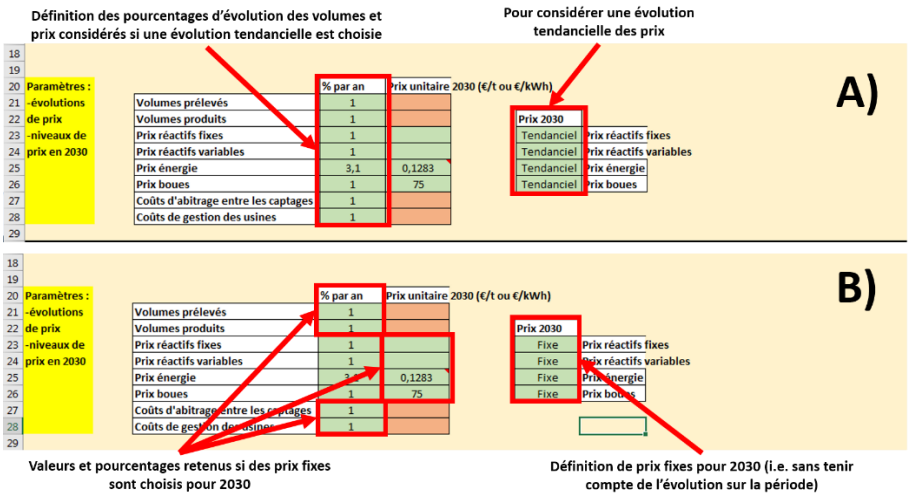

Figure 26 : Exemple de paramétrage des évolutions des prix et volumes. A) Paramétrage à considérer pour une prise en compte des évolutions tendancielles ; B) Paramétrage à considérer pour prendre en compte des prix déterminés à priori en 2030.

Visualisation des résultats

Les résultats sont regroupés dans l'onglet « SortiesSimul », dans la plage **BI2:CU17**. Les résultats du scénario de référence et du scénario alternatif sont agrégés à l'échelle annuelle, par captage et pour l'ensemble des captages.

- ⇨ Colonnes **BL:BW** : Données simulées
- ⇨ Colonnes **BX:CI** : Variations en pourcentage
- ⇨ Colonnes **BL:BW** : Variations en valeur

L'onglet « Graphes » permet également de visualiser les résultats et de comparer les scénarios. Plusieurs graphiques de base sont générés automatiquement. Les données d'entrée de ces graphiques sont celles de l'onglet « SortieSimul » décrites ci-dessus.

Annexe 4 : Synthèse

Projet Terres de Sources – AMI-TIGA

Développement d'un modèle économique – Etude des coûts évités

---

1. Objectifs du projet

Deux objectifs ont été définis pour cette pré-étude :

- ⇨ Identifier les potentiels bénéfices économiques apporté par le projet Terres de Sources
- ⇨ Quantifier de façon scientifique ces bénéfices

2. Méthodologie

2.1. Périmètre de l'étude

L'étude se concentre sur les activités de prélèvement des eaux brutes et production d'eau potable par CEBR/SPL. Les limites du système étudié sont présentées dans la Figure 27.

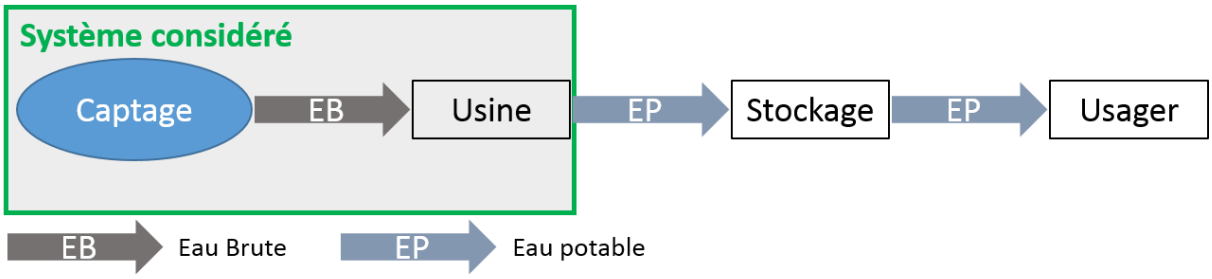

Figure 27 : Représentation schématique du processus de production et distribution d'eau potable. Limites du système étudié.

2.2. Structure des coûts et coûts évités

Les coûts associés à la production d'eau potable peuvent être répartis en plusieurs postes principaux :

- ⇨ Les réactifs. Certains sont fixes alors que d'autres peuvent être ajustés en fonction des niveaux de qualité des eaux brutes
- ⇨ L'énergie nécessaire au fonctionnement des usines et au pompage
- ⇨ La production et la gestion des terres de décantation
- ⇨ Les autres coûts (masse salariale…)

En conséquence, les qualités des eaux brutes peuvent influer sur :

- ⇨ Les quantités de réactifs variables (chlorure ferrique, charbon actif en poudre ou en grain, chaux)
- ⇨ Les niveaux de production de terres de décantation
- ⇨ Les niveaux de prélèvement dans chaque captage, en fonction des arbitrages réalisés

2.3. Démarche mise en œuvre

Sur la base des chroniques de données techniques et comptables sur la période allant de janvier 2015 à juillet 2018, transmises par CEBR/SPL, des fonctions de coût de production des usines ont été construites. Elles dépendent des niveaux de qualité des eaux brutes. Le modèle de calcul des coûts simule simultanément :

- ⇨ Les coûts variables (réactifs, énergie, terres de décantation)
- ⇨ Les coûts d'arbitrage entre les captages de Rophémel et du Meu/Chèze en fonction des coûts et de la qualité de l'eau

2.3.1. Modélisation des coûts variables

La quantité de réactifs variable utilisée pour un niveau de qualité donné est obtenue par régression linéaire multiple. L'analyse statistique a mis en évidence des variables de qualité statistiquement significatives, permettant d'expliquer les quantités de réactifs utilisés. Le modèle suivant a été retenu :

$$R_i = \alpha_i + \beta_1 Hydroxy\ Atrazine + \beta_2 Phosphore\ Total + \beta_3 Turbidité * Azote\ total\ Kjeldal + \beta_4 Turbidité * Carbone\ Organique\ Total$$

Les variables de qualité retenues sont celles qui d'après l'analyse statistique expliquent le mieux le comportement de la SPL en terme de pilotage des usines en fonction d'un niveau de pollution donné. Elles doivent donc être considéré comme des indicateurs synthétiques et non en tant que molécule[4][5]. Le fait que ce soit l'Hydroxy Atrazine, molécule dont l'usage est interdit depuis 2004, illustre bien ce fait. Les indicateurs retenus rendent compte du comportement de la SPL dans le pilotage des usines en réponse à une qualité donnée de l'eau, des effets retard.

Une démarche similaire a été mise en œuvre pour déterminer les quantités de terres de décantation produites en fonction des qualités des eaux. Le modèle suivant a été retenu :

$$B_i = \alpha_i + \beta_1 Métaldéhyde + \beta_2 Métazachlore + \beta_3 Phosphore\ Total + \beta_4 Turbidité$$

2.3.2. Modélisation des coûts d'arbitrage

En fonction des coûts de production et des qualités respectifs des captages de Rophémel et du Meu/Chèze un arbitrage des prélèvements est modélisé. Cet arbitrage permet d'optimiser les prélèvements.

2.4. Potentialités du modèle développé

Le modèle développé permet la simulation de différents types de scénarios sur les données observées en 2017, ainsi que sur des projections réalisées à l'horizon 2030. Différents niveaux de prix et de volumes produits peuvent être considérés pour les projections en 2030. Différents niveaux de qualité peuvent également être considérés pour cet horizon temporel.

Le modèle a été calibré sur les données observées entre 2015 et 2018. Des simulations dont les modalités sont éloignées des données observées engendreront donc une augmentation des incertitudes sur les résultats. De plus, la calibration a été réalisée sur la base des technologies de traitement de l'eau actuellement mises en œuvre par CEBR/SPL. Le modèle ne permet donc pas de simuler les impacts d'une modification de ces technologies. Toutefois, pour les terres de décantation, une modification des filières de valorisation (i.e. en sortie d'usine) peut être simulée au travers une modification de leur coût.

Ce modèle ne permet pas de capter l'ensemble des coûts évités potentiels. En effet, il est possible qu'une partie des coûts évités liés à la reconquête de la qualité de l'eau soient captés par des acteurs autres que CEBR/SPL. Par exemple, dans le cadre d'une vente d'eau à des acteurs extérieurs, ces derniers pourraient bénéficier de ces coûts évités.

3. <u>Résultats de simulation</u>

Ne sont présentées dans cette note que quelques-unes des simulations réalisées dans le cadre de l'étude. Toutes correspondent à des projections en 2030. Les simulations réalisées sont les suivantes (

Tableau *28*) :

- ⇨ « Tendanciel » : scénario prospectif de référence à l'horizon 2030. Ce scénario ne considère ni d'amélioration ni de dégradation des qualités des eaux.
- ⇨ « -50% » : scénario représentant une amélioration de la qualité de l'eau. Les prix et les volumes projetés sont identiques au scénario « Tendanciel », en revanche les teneurs des indicateurs de qualité des eaux sont diminués de 50%, traduisant une diminution des pollutions.
- ⇨ « TerresDécantation » : scénario représentant une modification de la filière de valorisation des terres de décantation. Celles-ci ne seraient plus épandues sur les parcelles agricoles, mais compostées ou

[4] Au cours de cette étude, il est apparu que les quantités de réactifs variable utilisées étaient bien expliquées par les évolutions des teneurs en nitrates. Toutefois, aucun traitement vis-à-vis de cette molécule n'est mis en place dans les usines. Les nitrates constituent donc un bon indicateur synthétique, mais qui ne traduit aucune réalité physique. Il a donc été décidé de l'exclure de l'analyse.

[5] L'indicateur « Pesticide total » n'a pas été exploité dans les analyses statistiques. En effet, son manque de stabilité dans le temps le rend ininterprétable.

incinérées. Le coût de production et de gestion des terres de décantation est multiplié par trois dans ce scénario. Les évolutions des autres prix et de la qualité de l'eau sont similaires au scénario « Tendanciel ».

Les résultats présentent les coûts évités en 2030, exprimés en euros 2017.

Tableau 28 : Modalités des scénarios testés.

Paramètres testés	Tendanciel	-50%	TerresDécantation
Horizon de projection	2030	2030	2030
Volumes produits	+ 1% par an		
Prix réactifs variables			
Prix terres de décantation	+ 1% par an		75 €/tonne
Prix réactifs fixes	+ 1% par an		
Coût de gestion des usines			
Prix électricité	+ 3,1% par an (Prix électricité en 2030 : 0,1283 €/kWh)[6]		
Indicateurs de qualité de l'eau	Teneurs mensuelles observées en 2017	Teneurs mensuelles observées en 2017 réduites de 50%	Teneurs mensuelles observées en 2017

3.1. Volumes produits

Les volumes totaux produits sont identiques dans les trois scénarios. En revanche, à l'échelle des captages, on constate une optimisation de prélèvements entre le captage de Rophémel et celui du Meu/Chèze (Figure 28). Cette optimisation, fonction des coûts de production, entraine une augmentation des prélèvements à Rophémel, dont le coût est moindre, au détriment de Meu/Chèze.

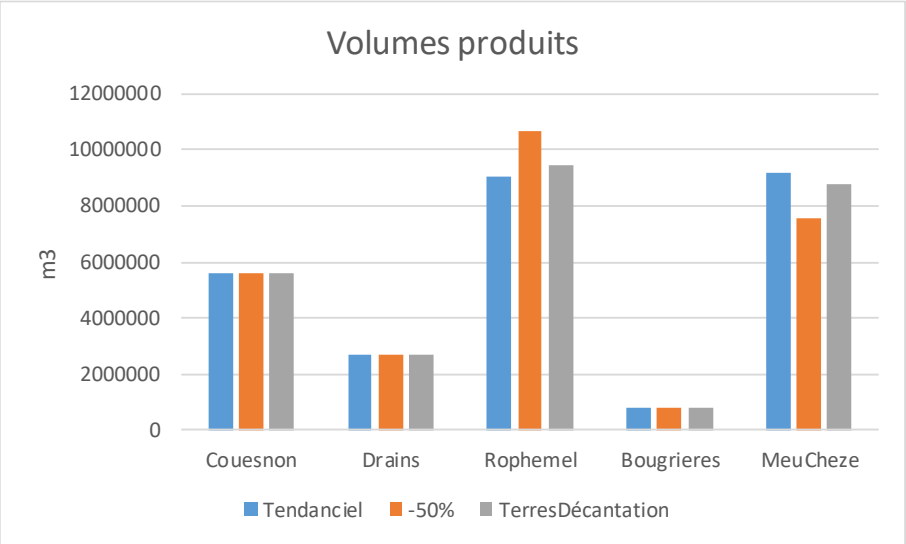

Figure 28 : Volumes prélevés par captage pour les différents scénarios testés.

3.2. Coûts de production

Les coûts de production du scénario « Tendanciel » ainsi que les évolutions par rapport à celui-ci pour les scénarios « -50% » et « TerresDécantation » sont présentées dans le

Tableau *29*.

Les coûts totaux de production diminuent de 3% pour le scénario « -50% ». Cette diminution représente un coût évité en 2030 de 442 k€, dû majoritairement à la diminution de l'utilisation de réactifs variables et de la production de terres de décantation. La modification des niveaux de prélèvements entre Rophémel et Meu/Chèze contribue également à cette diminution. Dans le scénario « TerresDécantation », la modification de la filière de valorisation

[6] Source : CGDD (2017). Analyse théma - Concept d'autoroute électrique - Evaluation socioéconomique (p22).

des terres de décantation engendre un surcout d'environ 3% du coût total. (412 k€). Cette augmentation est due à l'augmentation du coût unitaire de production et gestion des terres de décantation, multiplié par trois par rapport au scénario « Tendanciel ».

Tableau 29 : Résultats des simulations et évolutions (%) des scénarios alternatifs par rapport au scénario « Tendanciel » (référence).

Variable	Unité	Tendanciel	-50%	TerresDécantation
			Variations (%)	
Coût réactifs fixes	Euro	624 734	-0,2	0,8
Coût réactifs variables	Euro	1 468 216	-22,1	-0,2
Coût énergie	Euro	1 919 222	2,0	0,9
Coût terres de décantation	Euro	297 711	-52,3	131,9
Coût variable	Euro	4 309 883	-10,3	9,6
	Euro/m3	0,158	-10,3	9,6
Coût Total	Euro	14 495 798	-3,1	2,8
	Euro/m3	0,531	-3,1	2,8
Quantité produite	m3	27 302 318	0	0

4. Conclusions

L'outil développé dans le cadre de ce projet permet de calculer des coûts évités de traitement de l'eau en 2030 selon différents scénarios. Ces coûts évités résultent à la fois de réductions des coûts liés reconquête de la qualité de l'eau, au travers de la diminution de l'utilisation de réactifs variables et de la production de terres de décantation, mais également de l'optimisation des prélèvements entre les différents captages. L'outil permet également de simuler des surcoûts dus à une dégradation des qualités des eaux ou des modifications des filières de valorisation des terres de décantation par exemple.

Les simulations réalisées dans le cadre de cette pré-étude illustrent les potentialités de l'outil. Une pleine intégration dans le projet Terres de Sources se fera au travers de la définition des scénarios à simuler. Il serait pertinent de traduire le scénario « Afterres2050 – Territoire du bassin rennais » en termes d'impact sur les quantités de substances polluantes présentes dans les eaux brutes. Il sera alors possible de simuler les coûts évités potentiels à l'aide du simulateur, et de les confronter aux investissements nécessaires pour atteindre ces objectifs de qualité.