

ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE TRAITEMENT DES EFFLUENTS AQUEUX RESOLUTE



Projet Resolute

N° Version	Date	Modification	
A	18/11/2022	Version initiale	
Établi par :		Vérifié par :	Approuvé par :
Enola MARTINEZ emartinez@falco.fr		Adrien CASTANG acastang@falco.fr	

I. Sommaire

I.	SOMMAIRE	2
II.	CONTEXTE	3
III.	CARACTÉRISATION DES EFFLUENTS	4
3.1.	DONNÉES BRUTES	4
3.2.	INTERPRÉTATION FALCO.....	5
IV.	ETUDES DE TRAITABILITÉ MENÉES	7
4.1.01.	Essais de VEOLIA	7
4.1.02.	Données de WATERL'EAU.....	8
4.1.03.	Essais menés par France Evaporation.....	9
4.1.04.	Données des « Essais de traitement des eaux usées » de RLS.....	10
4.1.05.	Données provenant de l'autre source d'eaux usées : purge de la tour de refroidissement.....	10
4.2.	PRINCIPALES CONCLUSIONS À RETENIR.....	11
V.	ETUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE DES LIGNES DE TRAITEMENT POSSIBLES	11
5.1.	SCÉNARIO 1 : DÉGRADATION ANAÉROBIE/AÉROBIE + ÉVAPORATION + OSMOSE INVERSE + CHARBON ACTIF	11
5.2.	SCÉNARIO 2 : ÉVAPO-CONCENTRATION ET CHARBON ACTIF	16
5.3.	SCÉNARIO 3 : ÉVAPO-CONCENTRATION ET REJET DANS UNE STATION D'ÉPURATION EXTERNE OU UNE STATION D'ÉPURATION BIOLOGIQUE APPARTENANT À CIRCA.....	17
5.4.	BESOINS POUR CHAQUE SCÉNARIO	21

II. Contexte

CIRCA va implanter son futur site de production sur le site industriel géré par GAZELENERGIE à Saint-Avoid (France, dép. 57).

Pour ce faire, CIRCA doit trouver une solution de traitement de ses eaux usées industrielles.

Face au nombre de solutions possibles et à la volonté de trouver le traitement le plus adapté, la société CIRCA est accompagnée sur son projet par FALCO, pour étudier les faisabilités technico-économiques du sujet.

Le présent document correspond à l'analyse des données existantes sur les effluents et sur les méthodes de traitement possibles.

III. Caractérisation des effluents

3.1. Données brutes

Les données d'entrée communiquées par CIRCA sont les suivantes :

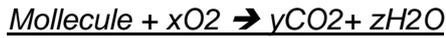
- Volume d'effluents rejetés = 1 tonne heure, soit **24 T/j**
- Composition des effluents (pH ≈ 3, T°≈37°C) : **DCO** ≈ 100 g/l, **Acide acétique** ≈ 40 g/L, **Furfural** ≈ 21 g/L, **Acide formique** ≈ 10 g/L, **Lévoglucosénone** ≈ 4 g/L

Le tableau complet donné par CIRCA est le suivant :

UNIT		300
Stream Number TEN		308
Steam Number Package Supplier		8
Name		
Package		RR
Temperature	C	36.86
Pressure	Barg	200 kpa
Mass Vapor fraction		0
Mass Density	kg/cum	985.06
Average MW		19.27
Heat capacity, mixture	J/kg-K	3950.83
Viscosity, mixture	cP	0.72
Thermal conductivity,	Watt/m-K	0.42
Mass Flow avearage	Kg/Hr	980.5
Mass Flow max	Kg/Hr	
Mass Frac Water	%wt	0.913
Mass Frac ACETI-AC	%wt	0.0397
Mass Frac FURFURAL	%wt	0.0208
Mass Frac FORMI-AC	%wt	0.0103
Mass Frac F1	%wt	
Mass Frac 2-MET-PH	%wt	0.0127
Mass Frac LGO	%wt	0.004
Mass Frac Cyrene	%wt	
Mass Frac F3	%wt	
Mass Frac Sulph	%wt	0.000
Mass Frac CONTMNT1	%wt	0.000
Mass Frac CONTMNT2	%wt	0.000
Mass Frac TAR-1	%wt	0.000
Mass Frac TAR-2	%wt	0.000
Mass Frac TAR-3	%wt	0.000
Mass Frac AIR	%wt	0.000

3.2. Interprétation FALCO

FALCO a réalisé une estimation de DCO grâce aux équations stockiométriques du type :



Nous obtenons une DCO estimée de **107.7 gO₂/l**

Pour chaque molécule présente en quantité significative un retour d'expérience et les points importants concernant leur traitabilité sont développés.

Acide acétique

L'acide acétique est très biodégradable (99% selon la méthode du flacon fermé OCDE301D). Il sera dégradé par un traitement biologique.

Avec un point d'ébullition à 116 °C, il peut être séparé par évapo-concentration mais présente un risque élevé de passage dans le distillat. Le risque est encore multiplié dans le cas d'un pH acide.

L'acide acétique peut être adsorbé sur du charbon actif, avec des résultats modérés à bons selon les sources et les conditions d'utilisation.

Furfural

Le furfural est une molécule cyclique avec un point d'ébullition de 162 °C, ce qui lui permet d'être séparée par évapo-concentration.

C'est une molécule biodégradable avec un rapport DCO / DBO de 2. Un résultat de test indique que 95% disparaissent dans les 14 jours dans l'eau (méthode OCDE 301C). Ainsi, un traitement biologique peut être utilisé.

Des rapports antérieurs montrent que le furfural peut être adsorbé sur du charbon actif. Cette absorption dépend des propriétés du charbon actif et de la compétition avec d'autres molécules plus facilement absorbables (ce qui est très probable avec le futur effluent). Le charbon actif peut être utilisé dans la dernière étape du traitement, pas sur de l'eau brute, afin de traiter le furfural.

Lévoglucosénone

La lévoglucosénone est une molécule cyclique dont le point d'ébullition est de 231 °C, ce qui lui permet d'être facilement séparée par évapo-concentration.

Il y a peu de perspective sur l'élimination de cette molécule. C'est une molécule organique, donc certainement biodégradable, mais seulement miscible dans l'eau à hauteur de 10%, ce qui est un frein à l'assimilation bactérienne.

En raison de son poids moléculaire élevé, le LGO doit pouvoir être absorbé sur charbon actif.

Sur le rapport "Qualitative & Quantitative Characterization of Synthetic ReSolute Wastewater", D. Richardson mentionne la possibilité de dégradation du LGO soit dans un environnement acide, soit en présence d'eau.

La première réaction conduit à la dégradation en acide formique et en acide lévulinique. Ces deux molécules sont plus facilement biodégradables.

La deuxième réaction aboutit aux formes hydratées de la molécule sous l'effet de la polarisation. Cela peut être un inconvénient pour l'adsorption sur CAG.

La synthèse des informations permet d'établir un tableau avec les informations suivantes :

Composés	Température d'ébullition (°C)	Traitements adaptés sur l'eau brute (note supérieure à 5)				Tests nécessaires
		Anaérobie	Aérobie	Évaporation	Charbon actif	
Acide acétique	116	5	5	3	2	Évapo-concentration
Furfural	162	5	5	4	2	
Lévoglucosénone	231	3	3	5	3	

IV. Etudes de traitabilité menées

4.1.01. Essais de VEOLIA

a) *Travaux et conclusions de VEOLIA*

Veolia a reçu l'échantillon reconstitué du pilote australien, objet d'un précédent rapport.

L'analyse de l'eau montre une concentration de DCO de 75 g/l.

Le premier test de dégradation anaérobie est concluant puisqu'après 8 jours, plus de 50% de la DCO a été convertie en méthane. Cependant, il semblerait qu'une dilution soit nécessaire selon VEOLIA, ce qui pourrait s'expliquer par la présence de composés inhibiteurs.

Quelques semaines plus tard, le pourcentage de conversion de la DCO stagne à 65%. Dans un premier temps, VEOLIA a indiqué qu'un taux de conversion de 90% serait souhaitable pour poursuivre les tests de traitabilité en digestion anaérobie.

Dans son dernier rapport, VEOLIA a effectué davantage de tests de biodégradabilité anaérobie et aérobie. Les résultats de l'essai de biodégradabilité aérobie confirment ceux de l'essai de biodégradabilité anaérobie, avec un niveau prévu de biodégradabilité de 87% après 28 jours. Les résultats de l'essai ultime de biodégradabilité anaérobie prouvent la conversion de 65% de la DCO des eaux usées non diluées en méthane.

Environ 10 g de DCO/l peuvent être obtenus avec la combinaison d'un traitement anaérobie suivi d'un traitement aérobie.

Falco est entré en contact direct avec VEOLIA pour savoir si des tests d'évapoconcentration ont été réalisés. Cela n'a pas été fait mais VEOLIA a de l'expérience sur l'évapoconcentration et de nombreux points peuvent poser problème :

- Risque de décapage de matière organique dans le distillat en raison d'une concentration de DCO très élevée et de l'absence de matière organique présente dans la matière sèche (si elle n'est pas dans la MS, elle est volatile) et se retrouvera au niveau du distillat
- Les phénols pouvant être emportés dans le distillat en évapo-concentration
- Le risque que la viscosité augmente lors de la concentration
- Risque de moussage

b) *Interprétation de Falco*

Au vu des recherches menées précédemment sur les molécules qui composent les effluents, les problèmes constatés par VEOLIA lors de la mise en place du test de digestion anaérobie ne sont pas surprenants. La digestion anaérobie est un processus complexe qui peut être perturbé par la présence d'inhibiteurs mais aussi par leur création tout au long des phases d'activité bactérienne.

Il est possible que le ralentissement voire l'inhibition de la 3ème phase de méthanisation (acétogénèse) soit dû à une phase 2 trop importante (acidogénèse) qui crée trop d'acide et déstabilise la croissance bactérienne. Il ne s'agit que d'explications purement théoriques mais qui semblent admissibles.

De plus, l'arrêt de la conversion de la DCO à 65% laisse une très grande partie de la pollution à réduire. Des tests complémentaires doivent être effectués pour connaître la nature de cette pollution et sa dégradation possible sur divers traitements connus. Une réduction de 65% laisse environ 26 g/l de DCO, ce qui rend impossible un écoulement sans traitement supplémentaire.

En ce qui concerne les informations délivrées sur un traitement d'évapo-concentration, **nous arrivons à la même conclusion que lors de notre analyse des composés. Une évapo-concentration reste possible avec un traitement complémentaire sur les distillats.**

4.1.02. Données de WATERL'EAU

a) Conclusion de WATERL'EAU

WATERL'EAU n'a pas reçu d'échantillon, mais ont travaillé sur 2 scénarios de traitement. Le premier par évapo-concentration, peu développé, et le second par traitement anaérobie, plus détaillé.

Une réduction de 80% de la DCO en méthanisation serait possible mais des tests de laboratoire doivent être effectués pour confirmer ou non le risque d'inhibition.

De plus, les informations suivantes sur certaines molécules ont été données :

- Furfural : peut être traité en anaérobiose
- Sulfolane : aucune information
- Lévo-glucosénone : aucune information
- 2-méthoxy phénol : selon la littérature, il faudrait 2 semaines de temps de séjour pour la dégradation anaérobie
- Cyrene : aucune information disponible

b) Interprétation de Falco

Selon nos recherches et les résultats de WATERL'EAU, un taux de conversion de 80% semble optimiste.

Nous n'avons pas plus de données sur la lévoglucosénone et il est possible que le sulfolane ne se dégradera pas facilement en environnement anaérobie.

L'évapo-concentration et le traitement anaérobie restent possibles.

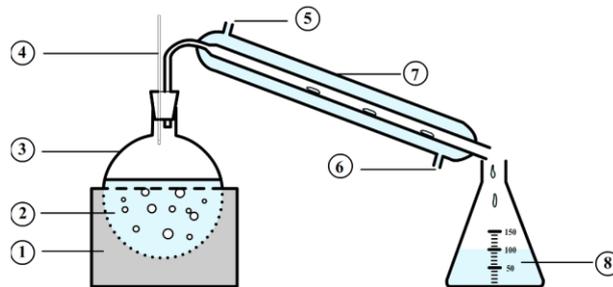
4.1.03. Essais menés par France Evaporation

a) *Mode opératoire*

Les essais ont été réalisés au laboratoire FE de Lille, du 22/09/21 au 01/10/21.

Pour évaporer, nous utilisons un système, présenté ci-dessous, composé de :

- 1) Ballon en verre (3) où est chargé le produit (2) à traiter.
- 2) Réchauffeur (1) pour donner de la chaleur au produit (augmentation de la température et évaporation)
- 3) Condenseur (7) pour condenser l'eau évaporée.
- 4) Récipient en verre (8) pour recueillir les condensats.



La concentration se fait par batch.

Deux phases ont été définies :

1. La phase d'évaporation : Evaporation du produit pour diminuer le volume final du produit à déstructurer.
2. La phase de stripping : Elimination des produits volatils légers du condensat avant rejet.

Les tests suivants ont été effectués pour déterminer l'efficacité de chacun :

- Evaporation sous vide avec neutralisation par la soude caustique ;
- Evaporation sous vide sans pré-neutralisation.

Pour chaque test, un stripping a été effectué sur le condensat.

b) *Conclusions de France Evaporation*

Pour l'évaporation avec neutralisation par la soude caustique, malgré une étape de stripping efficace, l'étape de concentration n'est pas industrialisable à cause du dépôt de lignine. Ce composé est assez difficile à éliminer de la zone d'échange et génère une indisponibilité de l'unité.

En ce qui concerne l'évaporation sans neutralisation, l'étape de concentration a été efficace mais à un pH faible. La sélection des matériaux nécessitera des matériaux de haute qualité. Le stripping direct ne permet pas d'éliminer la majeure partie de la DCO, une étape supplémentaire a dû être réalisée avant le processus de stripping. Après cette étape, l'efficacité du stripping était bonne.

4.1.04. Données des « Essais de traitement des eaux usées » de RLS

c) *Conclusions du RLS*

Le laboratoire RLS a été mandaté par CIRCA pour effectuer des tests de traitabilité. Voici leurs conclusions :

Jar test

Dans ce test, plusieurs méthodes de traitement sont étudiés. Coagulation, oxydation et adsorption sur charbon actif. Les trois méthodes peuvent être combinées différemment.

Les résultats ont montré une capacité de coagulation de l'effluent et une diminution de l'absorbance après adsorption sur charbon actif. La DCO quant à elle n'a pas diminué et est restée presque similaire après le traitement (moins de 10% d'élimination).

Test DCO

Les tests montrent une faible proportion de DCO biodégradable dans l'effluent, puisque seulement entre 14% et 18% de la DCO sont identifiés comme biodégradables.

Ces résultats sont surprenants et doivent être discutés.

Aération et digestion anaérobie

Ces essais n'ont pas montré de réelle biodégradabilité en phase aérobie ou anaérobie (respectivement 17% et 3% de réduction).

Évaporation

Aucune conclusion ne peut être tirée quant à la traitabilité par évaporation des effluents.

4.1.05. Données provenant de l'autre source d'eaux usées : purge de la tour de refroidissement

a) *Conclusions de WOOD*

La composition de l'eau de purge du système de refroidissement est très différente de celle des eaux usées de processus. Beaucoup moins polluée, la charge dépend en partie de la qualité de l'eau de refroidissement utilisée et du produit chimique utilisé en complément (acide sulfurique et chlore (hypochlorite de sodium)).

Cependant le débit est plus élevé **(1,3 m³/h)**.

b) *Interprétation de Falco*

GAZELENERGIE envisage de mettre en place une station de traitement physico-chimique des eaux à faible teneur en DCO mais chargées en métaux et sulfates, c'est-à-dire pour les effluents similaires à ceux annoncés par WOOD.

La station prévoit de traiter environ 300 m³/h selon les premières estimations et le débit généré par CIRCA peut facilement être pris en charge.

4.2. Principales conclusions à retenir

La composition des eaux usées est complexe. Leur caractérisation précise n'est pas facile et selon les laboratoires nous n'avons pas toujours des résultats similaires, d'où la nécessité de confirmer les premières conclusions sur la traitabilité après les premiers mois d'opérations.

Les principales molécules identifiées correspondent à celles attendues et celles-ci sont pour la plupart théoriquement biodégradables.

Seuls des tests de traitabilité au plus près des conditions réelles permettront de définir la meilleure méthode disponible. Avec toutes les conclusions que nous avons concernant des essais et des données spécifiques, nous possédons des informations intéressantes sur la nature biodégradable de l'effluent. Les essais menés par France Évaporation concluent positivement sur la traitabilité par évapo-concentration

Nous pouvons d'ores et déjà affirmer qu'une seule étape de traitement ne sera pas suffisante pour atteindre les limites du rejet acceptable dans la DCO en particulier. En effet, l'arrêté préfectoral actuel du site GAZELENERGIE autorise une concentration maximale de 50 mg/l de DCO dans les eaux rejetées, ce qui correspond à une réduction de 99% de la DCO entrante.

Les essais menés par VEOLIA montrent que la dégradation anaérobie peut être une étape dans le traitement.

La recherche et notre retour d'expérience montrent plusieurs possibilités théoriques de traitement des effluents.

A ce stade des connaissances il semble que la meilleure option soit une dégradation anaérobie suivie d'une étape supplémentaire de traitement pour 40% de la DCO restante ou de la concentration de l'effluent par évaporation avec destruction dans un centre externe du condensat et traitement secondaire sur les distillats.

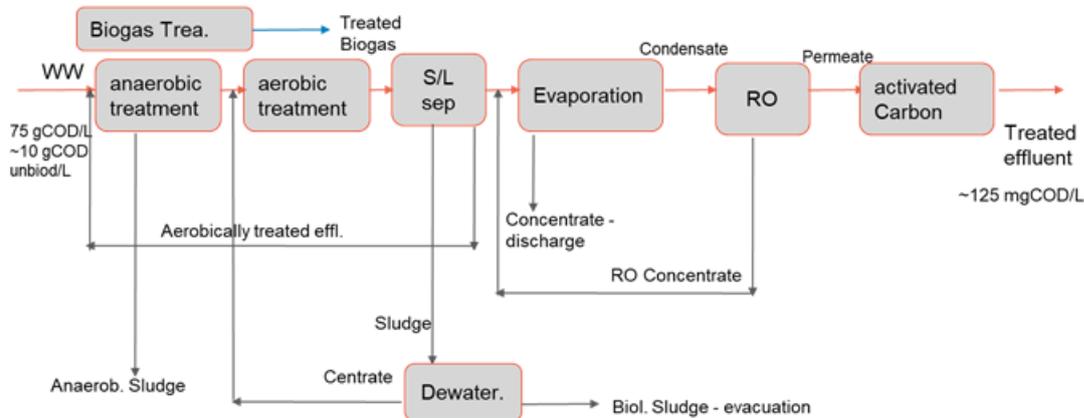
V. Etude technico-économique des lignes de traitement possibles

5.1. Scénario 1 : dégradation anaérobie/aérobie + évaporation + osmose inverse + charbon actif – Proposition VEOLIA

a) Principe

Le premier principe de traitement des eaux usées est proposé par la société VEOLIA. Il s'agit d'un cheminement complet combinant plusieurs technologies pour assurer le traitement de la valeur DCO élevée de l'effluent CIRCA.

Ainsi, la solution suivante est suggérée :



La station est composée de 5 techniques principales :

- Traitement anaérobie :

Ce type de traitement s'apparente à une méthanisation. Il n'a pas besoin d'énergie d'aération pour éliminer la DCO et la DBO, c'est-à-dire que le système fonctionne sans apport d'oxygène.

Le principe de cette technologie repose sur la dégradation de la matière organique par les micro-organismes, dans des conditions contrôlées et donc en l'absence d'oxygène. Cette dégradation biologique produit :

- o Un produit humide appelé « digestat »
- o Du biogaz, mélange gazeux composé de méthane CH_4 et de gaz carbonique CO_2

- Traitement aérobie :

Cette deuxième étape de traitement est mise en œuvre à la sortie du bassin anaérobie. Le but de ce traitement est d'éliminer le plus possible la DCO, les limites étant définies par la fraction de DCO soluble non biodégradable.

Cette étape de traitement est réalisée dans un bassin où l'effluent brut est mis en contact avec un mélange de boues permettant la dégradation biologique, avec apport d'oxygène.

Une partie de l'effluent traité en aérobie est recirculée vers la tête de la station.

A la sortie de ces deux traitements combinés, un séparateur liquide/boue est nécessaire pour poursuivre le traitement de l'eau d'une part (développé ci-dessous) et le traitement des boues d'autre part.

- Évaporation

A ce stade, les effluents bruts ont été traités biologiquement et les installations fonctionnent sur une eau sans boues.

L'objectif ici est de traiter la DCO ultime non éliminée en amont. C'est pourquoi l'une des solutions adoptées consiste à installer une unité d'évaporation. Ce type de traitement donne généralement de bons résultats pour les rendements d'élimination de la DCO. Le concentré (eau sale) est évacué de l'unité et le condensat est dirigé vers la sortie au rejets naturel ou vers une étape de finition.

- Osmose inverse

Après l'évaporation, une osmose inverse peut être mise en place pour traiter le condensat. De cette façon, le système conserve la dernière partie des matières organiques présentes et améliore l'élimination de la DCO.

Comme nous le décrivons ci-dessus, le flux est divisé en concentré d'osmose inverse, qui est recirculé à l'entrée de l'évaporation, et en perméat, qui est obtenu sous forme d'eau propre en aval de l'osmose inverse.

- Charbon actif

Enfin, le perméat d'osmose inverse peut être filtré sur une unité de charbon actif. Le charbon actif a un impact sur la couleur, l'odeur et la DCO avant d'être rejeté dans l'environnement.

Cette station de traitement est très complète et implique un grand nombre de technologies existantes. Les coûts d'investissement seront très importants en comparaison du débit.

b) Dimensionnement

Pour le traitement par voie biologique, l'eau de process est mélangée avec l'eau de refroidissement produite. Dépourvue en DCO, elle permet de diminuer les temps de séjour dans les ouvrages bien que ceux-ci soient long pour ce type de traitement.

Traitement anaérobie

Le rapport VEOLIA du 13 août 2021 confirme l'analyse de FALCO sur la traitabilité des effluents par digestion anaérobie, à savoir une réduction maximale de 65% de la DCO et une non-conversion de certaines molécules, ici certainement le sulfolane. Il est probable que le furane n'ait pas non plus été dégradé lors de la digestion anaérobie.

Après le traitement anaérobie, nous pouvons supposer que tout l'acide acétique, le furfural et le LGO ont été éliminés. Il reste 35% de la DCO, soit environ 30 g/l.

Ces équipements coûteront environ **2 000 000 d'euros** d'investissement (**CAPEX**) et **100 000 euros** de coûts d'exploitation annuels (**OPEX**) dont une personne sur site à temps plein.

Traitement aérobie

Deux dimensionnements, l'un sur l'eau de sortie de digestion anaérobie, l'autre directement sur l'eau brute sont présentés dans le tableau suivant :

	Après traitement anaérobie		Sur eau brute	
Entrée	[DCO] ^o	30 gCOD/l	[DCO] ^o	80 gCOD/l
	Débit	73 m ³ /j	Débit	73 m ³ /j
	Flux	2190 kg DCO/j	Flux	5840 kg DCO/j
Estimation DBO ₅	1095 kg DBO ₅ /j		2920 kg DBO ₅ /j	
Volume du réservoir	2607 m³		6952 m³	
Besoin en O ₂	54,8 kg O ₂ /j		146,0 kg O ₂ /j	
Temps de séjour (h)	857,1 h		2285,7 h	
Station d'épuration des eaux usées municipales équivalente	18 250	Habitants	97 333	Habitants

	Hauteur (m)		
	4	6	8
Diamètre pour un bassin de 2600 m ³ (en m)	29	23	20
Diamètre pour un bassin de 7 000 m ³ (en m)	47	39	33

La comparaison de la taille de la structure avec des stations d'épuration des eaux usées municipales permet de mettre en évidence la taille des ouvrages envisagés puisque cela reviendrait à créer une station d'épuration des eaux usées pour une ville de 20 000 habitants pour traiter l'eau sortant du traitement anaérobie ou même une ville de 100 000 habitants dans le cas d'un traitement direct.

Avec cette approche, nous pouvons estimer les investissements associés. Les coûts (CAPEX) s'élèvent à environ **5 millions** d'euros pour le premier scénario, **12 millions pour le second**, selon nos retours d'expérience.

A noter que ces estimations sont cohérentes avec un rapport de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse qui donne pour 2016 le plafond d'investissement pour les stations d'épuration en fonction du nombre d'habitants (le ratio donne 4,5 millions pour le premier scénario, 13 millions pour le second)

L'OPEX est estimé à **200 000 euros par an** (certains coûts sont partagés avec la méthanisation) pour la première option, environ **600 000 euros pour la seconde**.

Après le traitement aérobie, nous pouvons supposer que tous les acides acétique, furfural, LGO et sulfolane ont été éliminés. Il reste 10 % de la DCO, soit environ 8 g/l.

Nous devons attirer l'attention sur le fait qu'avec un tel effluent concentré, le dimensionnement habituel du traitement biologique peut ne pas convenir. Le temps de séjour de l'effluent étant long par rapport aux unités conventionnelles.

Évapo-concentration

Bien que 90% de la pollution soit traitée par les étapes précédentes, tous les effluents issus du traitement biologique doivent passer par une évapo-concentration (moins 10% de la production de boues). L'évaporateur doit avoir une capacité d'environ 60 tonnes par jour, soit 2,5 t/h. Dans cette configuration il ne servira qu'à séparer la DCO dure (non biodégradable) de l'effluent, soit environ 7 à 8 gDCO/l).

Un facteur de concentration volumique de 10 peut être envisagé sur ses effluents déjà traités.

Cela signifie que 6 tonnes par jour doivent être évacuées (300 euros/tonnes, soit 700 000 € par an)

L'investissement pour un tel système se situe entre **500 000 et 700 000 euros**

Le coût d'utilisation, hors évacuation des concentrés, est d'environ **100 000 euros par an**.

Osmose inverse et charbon actif

À ce niveau de traitement, nous ne croyons pas qu'un traitement membranaire soit nécessaire. Nous recommandons l'utilisation de charbon actif comme traitement de finition.

Pour cette étape du traitement, la location semble le plus appropriée pour les raisons suivantes :

- Pas d'investissements : il s'agit de location ;
- Flexibilité : selon l'évolution du procédé et/ou des normes, il est facile de passer à un filtre plus ou moins grand ;
- Pas de manutention ou de gestion des déchets ;

L'OPEX pour cette solution est **d'environ 60 000 à 150 000 euros/an**

Difficile d'être plus précis car cela dépend fortement de l'efficacité des étapes précédentes

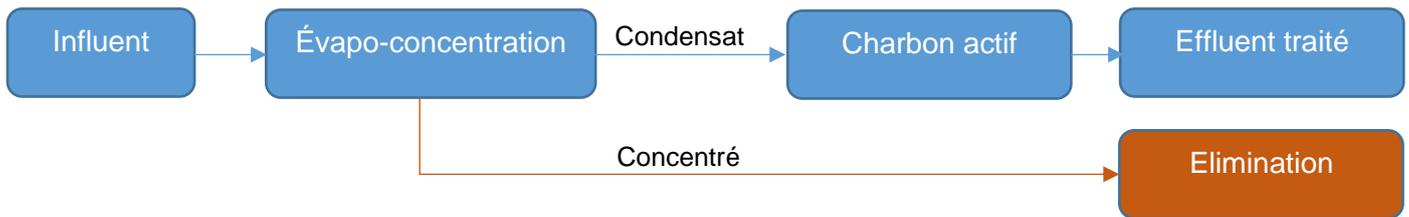
c) Synthèse

Le tableau suivant présente les données de l'étude

	Anaérobic digestion		Aerobic treatment		Evapoconcentration		Activated carbon		Total	
	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
Option 1	2 000 000 €	100 000 €	5 000 000 €	200 000 €	600 000 €	100 000 €	- €	100 000 €	7 600 000 €	500 000 €
Option 2	- €	- €	12 000 000 €	600 000 €	600 000 €	100 000 €	- €	100 000 €	12 600 000 €	800 000 €

5.2. Scénario 2 : évapo-concentration et charbon actif

Le second scénario associe une unité d'évapo-concentration en directe et une filtration du condensat sur charbon actif avant rejet.



Ce choix est basé sur la capacité de la technique d'évapo-concentration à éliminer la DCO avec des rendements adéquats combinés à des propriétés de charbon actif comme traitement de finition.

Sur l'eau brute, un facteur de concentration volumique de 8 à 9 doit être pris en considération, le furane étant entraîné dans les distillats.

Cela signifie environ 2 tonnes par jour de déchets à évacuer et un distillat d'environ 3 gDCO/l.

Cette quantité de DCO traitée au charbon actif est importante, c'est pourquoi les tests d'évapo-concentration sont essentiels.

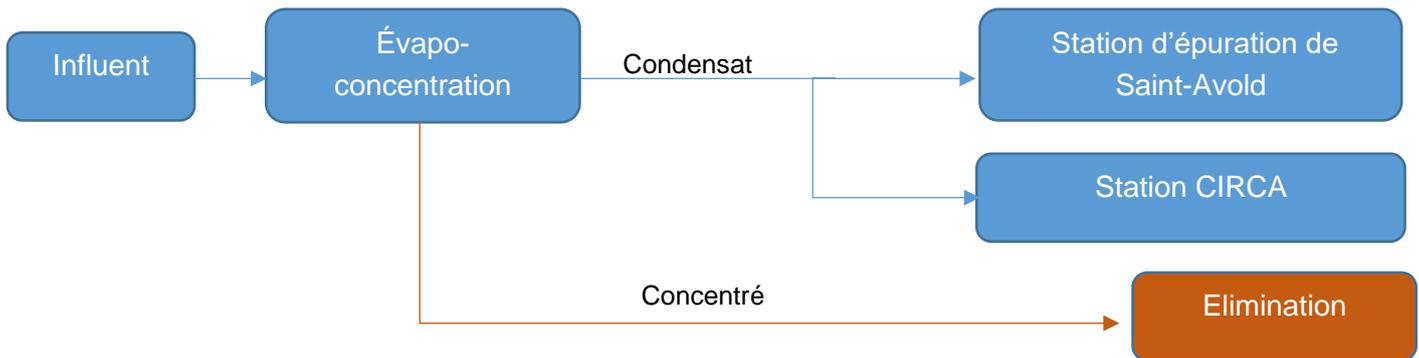
Avec une approche purement théorique **500 000 euros** de charbon actif seront nécessaires par an (environ 160 tonnes...).

Les coûts totaux d'investissement et d'exploitation de cette option s'élèvent à :

Évapo-concentration		Charbon actif		Total	
CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
1 200 000 €	163 300 €	- €	500 000 €	1 200 000 €	663 300 €

5.3. Scénario 3 : évapo-concentration et rejet dans une station d'épuration externe ou une station d'épuration biologique appartenant à CIRCA

Le dernier scénario est très similaire au second décrit ci-dessus.



L'unité d'évapo-concentration est toujours maintenue comme traitement principal pour l'effluent CIRCA. Mais dans ce cas, le condensat ne passe pas par le charbon actif, mais est transféré vers une station d'épuration externe. Cela signifie que le traitement par évaporation est suffisant pour éliminer une partie raisonnable de la DCO de l'effluent, puis la traiter sur un autre étage.

Deux façons différentes peuvent être envisagées :

- Une entreprise existante sur la plateforme de Saint-Avold possède une usine pouvant accepter l'effluent prétraité
- Conception d'une usine de traitement aérobie selon la même méthode que dans le scénario 1

Dans ce cas, nous supposons qu'une partie de l'acide acétique est transférée au distillat et que le furane sera biodégradé en aérobie (voire strippé lors de l'aération). Nous avons vu des cas de traitement aérobie permettant l'élimination de molécules complexes telles que le furane par compétition et stress entre bactéries. Cela reste théorique.

Les CAPEX et OPEX sont les mêmes pour la phase d'évaporation.

Le dimensionnement de la phase aérobie est indiqué ci-dessous :

		Après évapo-concentration	
Entrée	[COD] ^o	5 g DCO/l	
	Débit	60 m ³ /j	
	Flux	300 kg DCO/j	
Estimation DBO5		150 kg DBO5/j	
Volume du réservoir		357 m³	
Besoin en O ₂		7,5 kg O ₂ /j	
Temps de séjour (h)		142,9 h	
Station d'épuration des eaux usées municipales équivalente		2 500 Habitants	

	Hauteur (m)		
	4	6	8
Diamètre pour un bassin de 360 m ³ (en m)	11	9	8

Estimation de l'investissement	1 365 000 Euros
--------------------------------	-----------------

Les coûts totaux d'investissement et d'exploitation de cette option s'élèvent à :

Évapo-concentration		Traitement aérobique		Total	
CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
1 200 000 €	163 300 €	1 365 000 €	100 000 €	2 565 000 €	263 300 €

5.4. Scénario 4 : Destruction en centre extérieur

Le traitement en centre extérieur pour l'ensemble des déchets liquides issus du process a été étudié.

En plus des eaux usées process déjà présenté précédemment, la possibilité de traitement des eaux de refroidissement a été pris en compte.

Nous pouvons assimiler ce flux aux flux déjà présents sur le site Emile Huchet et correspondant aux purges des chaudière et aux eaux de refroidissements de la centrale thermique au gaz naturel. En effet, les eaux de process utilisées pour le refroidissement et pour la création de vapeur seront issues des mêmes forages.

Le tableau ci-après reprend les caractéristiques du flux.

Purge TAR et chaudières					
TAR		48,0 m3/j	2,0 m3/h		
Paramètres	[] mg/l	Flux kg/j	Paramètres	[] mg/l	Flux kg/j
DCO	10	0,48	Mercure	0,00003	0,0000014
DBO5	1,8	0,09	Nickel	0,0581	0,0027888
Azote NGL	16,41832	0,79	Etain	0,0002	0,0000096
Nitrate	15,594	0,75	Zinc	0,633	0,0303840
Nitrite	0,02432	0,00	Plomb	0,0004	0,0000192
Phosphore	1,09	0,05	MES	3	0,1440000
Arsenic	0,00739	0,00	Sulfate	640	30,7200000
Cadmium	0,00323	0,00	Chlorure	380	18,2400000
Chrome	0,0011	0,00	AOX	NC	NC
Cuivre	0,00886	0,00	In HdroCar	<0,1	<0,1

5.4.01. - Rejets issu de la distillation « Stream from distillation », eaux de process chargées :

Le produit sera vers une filière d'incinération avec injection.

Le déchargement se fera directement du camion-citerne vers une ligne d'injection de l'incinérateur à un débit de 0.5 à 1 m3/h.

Le niveau de prix de traitement sur cette filière est d'environ 250,00 à 400,00 € HT/tonne

Les lieux de livraison potentiels seraient (Limay, Courrières, Sandouville).

De fait le coup du transport et d'immobilisation des camions citernes le temps du déchargement pourraient augmenter le coup de traitement à la tonne d'environ 100€.

Le cout total de traitement estimé est donc compris entre 350 et 500 euros la tonne.

Un prétraitement sur site par évapo-concentration permettrait de diviser par un facteur 10 le coût de traitement en centre extérieur pour ce déchet (à pondérer avec le facteur de concentration volumique obtenu)

5.4.02. Rejets issus du système de refroidissement :

Une proposition de traitement nous a été parvenu pour un traitement physico-chimique minéral sur le site CEDILOR à Malancourt la Montagne. Le coût estimatif est de 80,00 € HT/tonne à 150,00 € HT/tonne.

A cela il faut ajouter le transport estimé à 280 euro l'intervention et 40 euros la tonnes soit environ 55 euros la tonnes.

Le cout total de traitement estimé est donc compris entre 135 et 255 euros la tonne.

5.5. Scénario 5 : location d'un evapo-concentrateur puis destruction en centre extérieur des concentrats

La société France Evaporation a réalisé des essais sur un échantillon d'effluent d'eau usée de process (voir paragraphes précédents). Ceux-ci ont débouché sur une étude technico économique pour la vente ou la location d'un évapo-concentrateur.

Les caractéristiques détaillées de l'équipement sont reprises ci-après :

Unité comprenant 3 étages de traitement :

- Etape 1 : Concentration du produit par évaporateur à effets multiples sous vide
 - o Unité de neutralisation sous-produit de l'étape 1
- Étape 2 : Concentration du sous-produit de l'étape 1 par évaporateur à effets multiples
- Etape 3 : Stripping des condensats de l'étape 2 par vapeur

Pour une alimentation à 1t/h d'effluent, les capacités attendues sont les suivantes :

- Concentrats :
 - o 1ere étage : 50 kg/h à 20% de Matière Sèche
 - o 2eme étage : 20 kg/h à 25% de Matière Sèche
 - o Tête de colonne de stripping : 40 kg/h composé majoritairement d'acide acétique

Le taux de concentration massique estimé est donc de 9.09.

France Evaporation a étudié deux types d'évaporateur, un par compression mécanique de vapeur, avec un investissement initial plus important et une consommation électrique plus importante mais une consommation de vapeur divisée par 3. La deuxième solution utilise de la vapeur libre. Cette dernière solution est économiquement plus viable si de la vapeur perdue est disponible sur le site.

Les consommations estimées pour chaque solution sont les suivantes :

- Solution par compression mécanique de vapeur :
 - o Consommation électrique : 70 kW
 - o Consommation de vapeur : 400 kg/h
- Solution par utilisation de vapeur libre :
 - o Consommation électrique : 40 kW
 - o Consommation de vapeur : 1 400 kg/h

Le tableau suivant reprend les CAPEX et OPEX de ses solutions :

	Location		Utilité		Total	
	CAPEX (1 ^{er} loyer)	OPEX	CAPEX	OPEX	CAPEX	OPEX
CMV	450 000 €	50 000 €	-	200 000 €	450 000 €	250 000 €
Vapeur libre	300 000 €	35 000 €	-	615 000 €	300 000 €	650 000 €

Base heure de fonctionnement : 5 300 h/an

Prix de KW/h : 0.10 €

Prix de la tonne de vapeur : 80€/t

5.6. Besoins pour chaque scénario

Pour tous les scénarios détaillés dans les parties précédentes, il sera nécessaire de proposer et dimensionner un bassin tampon. En effet, ce type de réservoir est vraiment important pour prévenir un impact potentiel de la variabilité de l'apport. Selon l'étape de traitement en aval, un bassin tampon peut assimiler la variation de volume ou de charge en homogénéisant les effluents bruts. L'installation d'un aérateur dans le bassin peut être un moyen d'une première oxydation des effluents.

En première approche, un réservoir tampon entre 150 et 180 m³ semble convenir. Les calculs et le dimensionnement sont les suivants :

Calculation of buffer tank parameters

Flow rate biological feed nominal sizing		Admissible limit inflow of biological treatment	
Hourly flow	3,0 m3/h	Hourly flow	No determinate yet
Storage time	2,0 j		

Nominal inflow		Peak inflow (50% increase)	
Daily inflow	72 m3/j	Daily inflow	108 m3/j
Hourly flow	3,0 m3/h	Hourly flow	4,5 m3/h
Storage capacity for 2 days		Storage capacity for 2 days	
Volume	144 m3	Volume	216 m3
Storage capacity for 5 days inlet/7		Storage capacity for 5 days peak/7	
Volume	0 m3	Volume	180 m3

sizing of the buffer tank

	Height (m)		
	4	6	8
Diameter for a basin of 180 m3 (in m)	7,6	6,2	5,4

Dans ce type de station, les retours d'expérience conduisent à la mise en place de réservoirs en acier revêtus de verre, faciles à installer, à démonter ou à modifier. Vous pouvez trouver ici une photo par exemple. Le coût d'un tel réservoir est d'environ 35 000 €.



5.7. Tableau comparatif et conclusion

Le tableau suivant reprend pour chaque scénario les CAPEX et OPEX associés, uniquement pour les eaux usées de process, sur la base d'une production annuelle de 5 300 tonnes.

		CAPEX	OPEX	Prix à la tonne sur 5 ans
Scénario 1 : filière complète anaérobie +aérobie (1) (2)	Traitement sur site	7 600 000 €	500 000 €	511 €
	Destruction		700 000 €	
Scénario 1b : filière complète aérobie (1)	Traitement sur site	12 600 000 €	800 000 €	755 €
	Destruction		700 000 €	
Scénario 2 : évapo-concentration, charbon actif et élimination en centre extérieur concentrats	Traitement sur site	1 200 000 €	663 300 €	220 €
	Destruction	- €	266 050 €	
Scénario 3 : evapo-concentration, station circa et élimination en centre extérieur concentrats	Traitement sur site	2 565 000 €	263 300 €	196 €
	Destruction	- €	266 050	
Scénario 4 : élimination en centre extérieur	Destruction	- €	2 394 450 €	450 €
Scénario 5a : location evapo-concentration CMV et rejet STEP GAZEL	Traitement sur site	450 000 €	250 000 €	114 €
	Destruction	- €	266 050 €	
Scénario 5a : location evapo-concentration vapeur perdue et rejet STEP GAZEL	Traitement sur site	300 000 €	650 000 €	183 €
	Destruction	- €	266 050 €	

(1) : les estimations ne prennent pas compte de l'évacuation des boues du système biologique (difficile à apprécier du fait du caractère spécifique du paramètre âge des boues.

Les scénarios les plus favorables impliquent pour chaque cas la concentration des effluents par évaporation. Par sa simplicité de mise en œuvre et l'assurance de résultats l'option d'évapo-concentration avant destruction en centre extérieur s'impose comme la solution technico-économique à retenir.