

Élaboration du plan d'affaires d'un service de revalorisation des effluents industriels par distillation et cristallisation membranaire de sels couplé à un service de symbiose industrielle

Plan d'affaires de *ROS*

Mémoire réalisé en vue de l'obtention du grade de
Master 120 à finalité spécialisée en

Sciences chimiques à finalité industrielle – CHIM2M/CI
Claire Clérin

Sciences de gestion – GEST2M
Charlotte Dubray

Sciences de gestion – GEST2M
Blanche Havenne

Promoteur(s)
Prof. P. Luis Alconero (EPL)
Mme R. De Hoe (LSM)

Année académique 2016-2017

Remerciements

Pour commencer, nous souhaitons adresser nos plus sincères remerciements aux nombreuses personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Sans leurs intérêt et aide, ce travail de longue haleine n'aurait pu voir le jour. C'est avec une immense reconnaissance que nous souhaitons les citer en ce début de mémoire.

Tout d'abord, les porteurs du projet, le Professeur Patricia Luis Alconero et le doctorant Israel Ruiz Salmon. Étant à l'origine du projet, ils nous ont permis d'articuler le sujet de ce mémoire autour d'une thématique qui nous tient particulièrement à coeur : le recyclage des effluents industriels. Grâce à leur dévouement, nous avons eu l'occasion de développer une stratégie de commercialisation d'un procédé de valorisation des sels.

Ensuite, nos promoteurs, le Professeur Patricia Luis Alconero et Madame Roxane De Hoe. Ce sont leurs précieux conseils, relectures et temps qui nous ont permis d'aboutir à un travail de qualité.

Le doctorant Israel Ruiz Salmon, pour son accompagnement tout au long des recherches scientifiques.

Monsieur Tanguy Van Regemorter, pour ses conseils en matière d'ingénierie.

Le Professeur Frank Janssen, pour l'organisation du master CPME, sans quoi ce mémoire collectif n'aurait jamais vu le jour, ainsi que pour ses recommandations stratégiques.

Le personnel de l'imap, Luc Wauthier, Frédérick Van Worteghem, Ronny Santoro et Nadine Deprez, ainsi que Raphaël Janssens, Wenqi Li et Sarah Reuter pour leur bonne humeur au quotidien, aide et conseils.

Tom Leyssens, Koen Robeyns et Juliana Höfler, pour leur accueil au sein de leur laboratoire, et l'encadrement pour les analyses DRX des cristaux.

Monsieur Marc Lacroix, pour sa relecture de notre analyse du marché, ainsi que les différents intervenants qui, en acceptant de répondre à nos questions, émettant leurs critiques sur notre travail au long de cette année, nous ont permis de construire ce dernier.

Enfin, nous dédions ces remerciements à toutes les personnes qui nous ont soutenues par une relecture, toute forme d'aide ou simplement par leur présence tout au long de cette année. Nous citons, Madame Marie-France Aufort, Madame Véronique Warlop, Monsieur Bruno Clérin, Madame Busschaert, Madame Christine Therace nos familles et pour terminer, nos amis proches.



L'entreprise *ROS* se positionne comme **le partenaire** des industriels belges en matière de **gestion des sels**, que ces derniers soient sous forme de déchet ou de matière première. Grâce à **l'implémentation du procédé ROS**, les usines auront l'occasion de réemployer les sels catégorisés comme déchet auparavant, de réduire leur empreinte environnementale, de diminuer leurs taxes annuelles et d'améliorer leur image, de substituer les sels importés par des sels locaux, de diminuer leurs coûts en matière d'importation et enfin, de collaborer avec des usines proches.

Business : Le service *ROS* est commercialisé sous forme de deux contrats :

- un contrat d'entreprise qui comprend l'achat du procédé *ROS*, son adaptation et son installation
- un contrat annuel de service d'une durée de 10 ans comprenant un service de maintenance, de R&D et de symbiose industrielle

Marché : le marché du recyclage des eaux usées industrielles

Equipe ROS :

- Claire Clérin : chimiste
- Charlotte Dubray : manager
- Blanche Havenne : manager
- Professeur Patricia Luis Alconero : chercheuse
- Israël Ruiz Salmon : doctorant

Clients : usines dans le secteur chimique

IP : dépôt communautaire de la marque

Financement :

- Round 1 : 12.281.00 €
- Round 2 : 464.634.00 €

Récompense : Clean Tech Challenge Belgium 2017

Contact : ROS S.A.

Rue des vignes 19, B-1435 Mont-Saint-Guibert

www.recycleyourowsalt.com

information@ROS.com

Besoins : nos clients ont besoin de trouver des sources de substitution aux sels extraits des réserves naturelles, de se procurer ces sels localement afin de réduire leurs externalités négatives sur l'environnement et d'améliorer leur image de marque.

Opportunités : les dynamiques environnementales vers lesquelles les industries se tournent à l'heure actuelle telles que la transition des processus de production vers des méthodes moins énergivores, la responsabilité sociétale des entreprises, l'économie locale, l'économie circulaire, la symbiose industrielle et enfin, l'économie de fonctionnalité

Aspect technique : *ROS* met au cœur de sa stratégie la nouvelle application membranaire trouvée par le professeur P.Luis Alconero : la revalorisation des sels via un processus de distillation et de cristallisation membranaire osmotique.

Plan opérationnel : 20 sels seront étudiés les 2 premières années. En parallèle, un projet prototype (adapté à un débit de 1 m³/h) sera implémenté dans une entreprise partenaire. Le *scale up* du processus (20 m³/h) sera effectué en 2019.

Proof of concept : la technologie a déjà été testée pour trois sels :

- Na₂CO₃
- Na₂SO₄
- KNO₃

Financement : la première année, nous avons besoin de 12.281.00€ pour financer le projet prototype (débit de 1 m³/h) et la R&D, la deuxième année, 464.624.00€ seront nécessaires pour lancer le *scale up* du procédé *ROS* pour traiter un débit de 20 m³/h.

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre 1 : L'équipe entrepreneuriale et l'entreprise	5
1. <i>Présentation de l'équipe</i>	5
1.1. Porteurs du projet.....	5
1.2. Conseillers du projet	6
1.3. L'équipe du mémoire CPME.....	6
2. <i>Présentation du projet</i>	8
3. <i>Historique du projet</i>	10
4. <i>Création d'une Spin-off</i>	11
Chapitre 2 : Les besoins du marché	14
1. <i>Vers des processus de production moins énergivores</i>	14
2. <i>La Responsabilité sociétale des entreprises</i>	16
2.1. Environnement et productivité	16
2.2. Enjeux d'une stratégie environnementale	17
2.3. La RSE et la performance	18
3. <i>Une nouvelle notion du déchet</i>	19
3.1. L'économie circulaire	20
3.2. L'écologie industrielle	26
4. <i>Conclusion des besoins.....</i>	28
Chapitre 3 : L'analyse Pestel	29
1. <i>Le contexte politique.....</i>	29
1.1. La Belgique, environnement favorable à l'entrepreneuriat.....	29
1.2. La politique fiscale pour les déchets et les eaux usées industrielles	31
1.3. Les subventions européennes, fédérales, régionales : les aides à l'innovation	31
1.4. Les lois sur le commerce extérieur.....	32
2. <i>Le contexte économique</i>	32
2.1. Volatilité imprévisible des prix des matières premières	32
2.2. Potentiel de l'économie circulaire	33
2.3. Potentiel de l'économie de fonctionnalité.....	34
2.4. Dépréciation de l'euro, crise économique, inflation, taux d'intérêt	34
2.5. Dépenses octroyées aux stratégies environnementales.....	35
2.6. Augmentation des taxes sur les eaux industrielles usées	35
2.7. Croissance des prix par quotas de CO ₂ émis.....	35
3. <i>Le contexte social.....</i>	35
3.1. Le développement durable ancré dans les entreprises belges et européennes.....	35
3.2. Acheter local semble une option difficile d'accès pour les industries	36
3.3. La tendance des partenariats pour les processus de recyclage	36
3.4. Les consommateurs accèdent à davantage d'information	37

3.5. Diminution de la quantité de déchets en Europe	37
3.6. Diminution du volume des eaux usées industrielles	37
4. <i>Le contexte technologique</i>	38
4.1. L'analyse du cycle de vie (ACV), un allié dans la gestion de l'environnement	38
4.2. Le transport facilité par les TICS	38
4.3. Technologies mobiles	38
4.4. Membrane résistante aux acides	38
4.5. Digitalisation et économie collaborative au service de la valorisation des effluents	39
5. <i>Le contexte écologique</i>	39
5.1. S'engager volontairement	39
5.2. Normes sur le transport des matières premières	40
6. <i>Le contexte législatif</i>	40
6.1. La protection du travail	40
7. <i>Tableau récapitulatif de l'analyse Pestel</i>	41
8. <i>Scénarii</i>	42
Chapitre 4 : La concurrence	46
1. <i>La concurrence indirecte</i>	47
1.1. Les services de traitement des eaux usées industrielles	47
1.2. Les fournisseurs de sels	47
2. <i>La concurrence directe</i>	49
2.1. <i>France évaporation</i>	50
2.2. <i>TMW</i>	53
2.3. <i>Veolia</i>	54
2.4. <i>Degrémont industry</i>	54
2.5. Exemple concret de l'application du procédé HPD	55
3. <i>Tableau récapitulatif de la concurrence directe</i>	56
4. <i>Le positionnement des concurrents</i>	58
5. <i>La concurrence en matière de symbiose industrielle</i>	58
5.1. <i>Suez Environnement</i>	59
5.2. <i>Soldating</i>	59
5.3. <i>L'intercommunale IDEA</i>	60
5.4. Conclusion de la concurrence en matière de symbiose industrielle	60
6. <i>L'approche Océan Bleu</i>	60
Chapitre 5 : Analyse externe	62
1. <i>Porter</i>	62
1.1. La menace des entrants potentiels	62
1.2. L'intensité concurrentielle	63
1.3. Le pouvoir de négociation des fournisseurs	64
1.4. Le pouvoir de négociation des acheteurs	67
1.5. La menace des substituts	67
1.6. Le rôle des pouvoirs publics	68
1.7. Conclusion et Hexagone sectoriel	68
2. <i>Résumé de l'analyse externe</i>	70

2.1. Le pouvoir des fournisseurs	70
2.2. La menace des substituts	70
2.3. L'intensité concurrentielle	70
3. Conclusion	71
Chapitre 6 : Le marché cible	72
1. La segmentation	72
2. Le marché cible	72
2.1. Zones géographiques du marché cible.....	74
2.2. Le marché cible traduit en chiffres : cas de la Belgique	74
3. Les stations d'épuration	77
4. Les clients potentiels	77
4.1. Demande de sels par toutes les industries belges	77
4.2. Le sulfate de sodium	77
4.3. Justification de cette étude de marché restreinte	81
Chapitre 7 : Analyse qualitative	83
1. Choix de la méthode et but de l'étude	83
2. Explication de la méthode utilisée	83
2.1. Identification de la cible	84
2.2. Facteurs Clés de Réussite selon l'équipe ROS	84
2.3. Les interviews.....	85
2.4. Style semi-directif	85
2.5. Grille d'entretien	85
3. Corps de l'analyse	85
3.1 Fédérations et organisations.....	86
3.2. Experts.....	89
3.3. Clients potentiels	96
3.4. Concurrents.....	99
3.5. Fournisseurs	100
3.6. Entreprises dans le même secteur	102
3.7. Cabinets de consultants spécialisés dans cette matière	103
4. Analyse des données résultant de l'étude.....	103
4.1. Récapitulatif des FCR résultant des entretiens et évolution de ceux-ci sur 5 ans	103
5. Conclusion de l'analyse qualitative : évaluation du marché potentiel et tendances dégagées via les entretiens.....	106
6. Étude de cas : un projet prototype.....	108
Chapitre 8 : Recherche scientifique du procédé ROS.....	109
1. Introduction : Contexte général du travail.....	109
2. État de l'art	110
2.1. État de l'environnement	110
2.2. Que fait-on pour traiter les effluents actuellement ?	113
2.3. Technologie.....	114

3. Objectifs du mémoire	138
3.1. Objectifs généraux	138
4. Matériels et méthodes	141
4.1. Produits chimiques et équipements nécessaires	141
4.2. Set-up et procédures expérimentales	144
4.3. Caractérisation et analyses	151
5. Résultats et discussion	158
5.1. Influence de la concentration et de la nature du sel	158
5.2. Influence du débit	166
5.3. Cristallisation	169
5.4. Surface membranaire	180
6. Conclusion	184
Chapitre 9 : La proposition de valeur	186
1. Mission, vision et valeurs	186
1.1. La mission	186
1.2. La vision	186
1.3. Les valeurs fondamentales	187
2. Le core business	187
2.1. L'offre	187
2.2. La commercialisation de ROS	187
Chapitre 10 : la stratégie	189
1. L'analyse interne	189
1.1 Chaîne de valeur	189
1.2. Les capacités	191
1.3. VRIO des capacités stratégiques de ROS	194
2. Les décisions stratégiques	196
2.1. SWOT	196
2.2. Stratégie Globale de ROS	199
2.3. Stratégie d'acquisition du premier client	200
2.4. Partenariats stratégiques	201
2.5. Stratégie de croissance : matrice d'Ansoff	203
Chapitre 11 : Plan de production	206
1. Recherche & développement en laboratoire	207
1.1. Analyse du nombre de sels possibles à étudier sur un an de R&D	208
1.2. Consommation annuelle des appareils utilisés en laboratoire	209
2. Conception du système ROS	210
2.1. Analyse des déchets industriels et estimations des besoins en sels de la firme	211
2.2. Conception du système : Projet-prototype, débit 1m ³ /h (Solvay)	212
2.3. Échelle industrielle : débit de 20m ³ /h	223
2.4. Monitoring du système	224
2.5. Entretien du système	225
2.6. Sécurité du système	226
3. Conclusion et incidence sur ROS	226

Chapitre 12 : Marketing opérationnel	228
1. Le positionnement	228
2. Consumer decision journey of a B2B customer	229
2.1. Identification	230
2.2. Research	230
2.3. Consider and Evaluate	232
2.4. Formal RFP (Request For Proposal)	233
2.5. Buy	234
2.6. Loyalty Repurchase & Use and service	234
3. Les quatre C : le marketing mix	235
3.1. Valeur Client	235
3.2. Coûts et politique de prix	239
3.3. Commodité	245
3.4. Communication	246
4. Les indicateurs de performance : les KPIs	251
5. La marque	253
5.1. Le nom de marque	253
5.2. Le slogan	253
5.3. Le logo	254
6. Les aspects juridiques liés au marketing	254
Chapitre 13 : Aspects juridiques	257
1. Brevet d'invention ou Secret de fabrication	257
2. La Spin-off	258
3. Choix de la structure juridique	259
3.1. Régime de commerçant ou régime de société	259
3.2. Personnalité juridique	261
3.3. Choix de la forme juridique	262
4. La Société Anonyme (SA) pour ROS	262
4.1. Les éléments requis à la constitution d'une SA	262
4.2. Le fonctionnement d'une SA	265
4.3. Le pouvoir des actionnaires	267
4.4. Les différents titres d'une SA	268
4.5. Le contrôle des comptes	269
4.6. La responsabilité des fondateurs d'une SA	270
5. Les contrats	270
5.1. Le contrat de confidentialité	270
5.2. Le contrat d'entreprise	271
5.3. Le contrat de leasing	272
5.4. Le contrat de travail	272
5.5. Le contrat de services, les clauses et les garanties	273
5.6. Le contrat de sous-traitance	273
6. La réglementation en matière de sécurité et de bien-être au travail	274
Chapitre 14 : Administration et gestion des ressources humaines	276

1. Politique de management au sein de ROS	276
2. Le management collaboratif.....	277
3. La mise en place et le développement du management collaboratif	279
4. Les fondateurs de ROS	280
5. La gestion quotidienne de ROS.....	281
6. Les rôles assignés	282
7. Les talents supplémentaires requis au sein de l'entreprise.....	284
8. Le comité d'accompagnement	284
9. Les conseillers externes	284
10. Le recrutement des employés	285
11. Les sous-traitants	286
12. Les salaires et les cotisations	286
13. Les assurances.....	287
Chapitre 15 : Plan financier	289
1. Objectifs à court, moyen et long terme.....	289
1.1. Lignes du temps	289
2. Les coûts fixes et variables	292
2.1. Les coûts fixes	292
2.2. Les coûts variables annuels.....	298
3. Les coûts totaux	303
3.1. Coûts pour l'année 2017	303
3.2. Coûts pour l'année 2018	303
3.3. Coûts pour l'année 2019	303
3.4. Coûts à partir de l'année 2020	304
3.5. Coûts à partir de l'année 2021	304
4. La politique de prix.....	304
4.1 Cas Solvay 2017 : 1 m ³ /h.....	304
4.2. Cas 2 clients 2019 : 20 m ³	306
4.3. La politique de prix générale : à partir de 2020 pour 6 clients	310
5. Révision des contrats de services à partir de l'année 2022.....	314
6. Les sources de revenus et le chiffre d'affaires de ROS.....	315
7. Prévision du compte de résultats	317
8. Prévision des flux de trésorerie	318
9. Bilan prévisionnel	319
10. Ratios	319
11. Le financement.....	320
11.1. Apports en capital	320
11.2. Autres sources de financement : les subsides et les emprunts	323
Conclusion.....	323

Conclusion	325
Recul critique.....	330
Bibliographie	332
Annexes	363
<i>Annexe A - Curriculum vitea.....</i>	<i>364</i>
Claire Clérin	364
Dubray Charlotte	365
<i>Annexe B - La formule complète des taxes sur le déversement d'eaux usées industrielle</i>	<i>367</i>
<i>Annexe C - Grille d'entretien standard, thématiques clés pour un entretien semi-directif</i>	<i>368</i>
<i>Annexe D - CD-rom regroupant les interviews qui ont pu être enregistrées avec l'accord des participants .</i>	<i>370</i>
<i>Annexe E - Tableau comparatif précisant ce qui est déjà publié sur notre technique par rapport à ce qui n'a pas encore été divulgué au grand public.</i>	<i>371</i>
<i>Annexe F – Matrice BCG.....</i>	<i>372</i>
<i>Annexe G - Devis Siva Unit</i>	<i>373</i>
<i>Annexe H - Devis ECOSTILL</i>	<i>375</i>
<i>Annexe I - Procédure de nettoyage</i>	<i>376</i>
<i>Annexe J - Procédure de nettoyage en cas de blocage total de la membrane.....</i>	<i>377</i>
<i>Annexe K - Calcul des pressions de vapeur et des activités de l'eau</i>	<i>378</i>
<i>Annexe L - Diagrammes thermodynamiques des sels étudiés</i>	<i>379</i>
<i>Annexe M - Lavement des cristaux avant détection des chlorures</i>	<i>381</i>
<i>Annexe N – Diffraction aux Rayons X.....</i>	<i>382</i>
<i>Annexe O - Calcul de la surface membranaire</i>	<i>383</i>
Méthode 1.....	383
Méthode 2.....	384
<i>Annexe P - Détails du matériel pour le laboratoire R&D :.....</i>	<i>387</i>
Liste du matériel de laboratoire nécessaire pour la recherche	388
<i>Annexe Q - Mail de Dominique Horbez concernant le projet pilote.....</i>	<i>391</i>
<i>Annexe R – Politique de prix générale : à partir de 2021 pour 6 clients.....</i>	<i>392</i>
<i>Annexe S : Devis de la société PHC, pour les pompes.....</i>	<i>395</i>

Liste des Figures

Figure 1 Facettes de l'économie circulaire	22
Figure 2 Notre économie est totalement ancrée dans la biosphère	27
Figure 3 L'efficacité énergétique des différents modes de transport	49
Figure 4 Les émissions de CO ₂ des différents modes de transport	49
Figure 5 Positionnement de la concurrence en matière de prix et d'énergie requise.....	58
Figure 6 Canevas stratégique	61
Figure 7 Résumé de l'analyse des 5 forces de Porter	69
Figure 8 Eaux usées industrielles en région flamande	76
Figure 9 Schéma d'un système de cristallisation à multiple effet	115
Figure 10 Photo d'un système d'évaporation à multiple effet utilisé en industrie	115
Figure 11 Schéma d'un système de la cristallisation par compression ou recompression mécanique de vapeur.....	116
Figure 12 Diagramme de phase binaire d'un soluté X en phase aqueuse	117
Figure 13 Synthèse des avantages et inconvénients des techniques de cristallisation pour le traitement des effluents	119
Figure 14 Schéma du transfert de masse d'un côté à l'autre de la membrane selon le type: (a) Perméation de gaz ; (b) Membranes à liquide supporté ; (c) Contacteur membranaire (contact non-dispersif)	120
Figure 15 Schémas des procédés de filtration frontale (a) et tangentielle (b)	121
Figure 16 "Schéma d'un montage de type filtre presse"	123
Figure 17 "Module bobiné en spirale Vaporsec® : représentation schématique"	123
Figure 18 Illustration d'un contacteur membranaire produit par <i>Liqui-Cel</i>	123
Figure 19 Représentation de l'angle de contact θ entre un solide et une goutte de liquide déposée dessus, déterminé par les trois vecteurs de tension de surface concernés (LV, SV et SL)	126
Figure 20 Phénomène de polarisation dans un système de distillation osmotique membranaire en fonction des débits des solutions osmotiques (NaCl) et d'alimentation (Na ₂ SO ₄) : Le débit de la solution d'alimentation a un impact sur l'efficiencia du transfert de masse, à bas débit	128
Figure 21 Principe général de la distillation membranaire	129
Figure 22 Représentation schématique des différentes sortes de distillation membranaire ..	130

Figure 23 Représentation des résistances au transfert de masse lors d'une distillation membranaire	132
Figure 24 "Evolution du nombre de publications par année dans les journaux scientifiques qui incluent les mots-clés:"Crystallization" (black diamond) et "membrane crystallization ou membrane distillation" (gray diamond). ISI Web of Science, Avril 2015"	133
Figure 25 Exemple d'un diagramme concentration/température représentant les façons d'induire une cristallisation (par variation de température, ou jeu de solvant)	135
Figure 26 Représentation de la nucléation hétérogène lors d'une cristallisation membranaire au sein d'un contacteur	137
Figure 27 Schéma simplifié du procédé du système ROS. F= système de filtration ; Conc. = système de concentration ; M-D : distillation membranaire ; M-Cr : cristallisation membranaire	138
Figure 28 Schéma du montage employé pour la caractérisation de la membrane.....	146
Figure 29 Montage expérimental pour les expériences de caractérisation de la membrane..	146
Figure 30 Schéma du montage des expériences de cristallisation	148
Figure 31 (a) Montage pour les expériences de cristallisation ; (b) agencement à deux étages des orifices des tuyaux pour la solution d'alimentation ; (c) manomètre ; (d) apparition des premiers cristaux	149
Figure 32 Courbes de calibration de la conductivité des solutions en fonction de leur concentration.....	152
Figure 33 Evolution du flux transmembranaire lors des expériences de caractérisation de la membrane, pour des concentrations différentes en KNO ₃ de la solution d'alimentation. Dans ce cas-ci, la solution osmotique a une concentration en NaCl de 300g/L	159
Figure 34 Evolution des flux transmembranaires moyen en fonction de la concentration de la solution d'alimentation en KNO ₃ , à deux concentrations osmotiques différentes (débit Alimentation : 300mL/min ; débit osmotique : 450 mL/min)	160
Figure 35 Evolution du flux à 300mL/min (alimentation) et 450 mL/min (osmotique) pour la distillation d'une solution de sulfate de sodium à différentes concentrations.....	161
Figure 36 Evolution des flux transmembranaire moyen en fonction de la concentration de la solution osmotique, pour un débit donné pour les 3 sels étudiés (alimentation : 300mL/min ; osmotique : 450 mL/min).....	163
Figure 37 Flux transmembranaire moyen en fonction de la concentration de la solution osmotique, pour une concentration de l'alimentation et un débit donné pour les 3 sels étudiés	

(Débit de la solution osmotique : 450mL/min, Solution d'alimentation : 100g/L; 300mL/min)	
.....	163
Figure 38 Evolution du coefficient de transfert de masse en fonction de la concentration en KNO_3 , pour deux concentrations de la solution osmotique .	164
Figure 39 Evolution du coefficient de transfert de masse en fonction de la concentration en alimentation, à différentes concentrations de la solution osmotique, et différents débits de la solution d'alimentation .	166
Figure 40 Evolution du flux transmembranaire à différentes concentrations de la solution d'alimentation en fonction des débits imposés, pour une concentration osmotique de 200 g/L	167
.....	167
Figure 41 du flux transmembranaire à différentes concentrations de la solution d'alimentation en fonction des débits imposés, pour une concentration osmotique de 300 g/L.....	167
Figure 42 Flux transmembranaire du KNO_3 et du Na_2CO_3 selon différents débits. Le premier débit réfère à la solution d'alimentation, et le deuxième à la solution osmotique.....	168
Figure 43 Evolution du coefficient de transfert de masse en fonction de la concentration en sulfate de sodium de l'alimentation, à différentes concentrations de la solution osmotique, et différents débits de la solution d'alimentation .	168
.....	168
Figure 44(a) Comparaison du spectre expérimental de la cristallisation du carbonate de sodium avec le spectre issu de la littérature ; (b) Echantillons du carbonate de sodium après analyse DRX	173
.....	173
Figure 45 Spectres DRX de poudre des cristaux obtenus lors de la cristallisation de sulfate de sodium pur, en comparaison avec la référence.	174
.....	174
Figure 46 Echantillons à la sortie du diffractomètre.....	175
.....	175
Figure 47 Spectres XRPD de référence et des expériences de cristallisation du nitrate de potassium	176
.....	176
Figure 48 Spectres XRPD de cristallisation du carbonate de sodium pur (a), et de référence (b) ainsi que des expériences de cristallisation du sulfate de sodium avec un et deux sels en impuretés (0.04mol/L)	177
.....	177
Figure 49 Spectres XRPD de référence et des expériences de cristallisation du sulfate de sodium avec un et deux sels en impuretés (0.4mol/L).....	177
.....	177
Figure 50 Spectres DRX des expériences de cristallisation du nitrate de potassium en présence d'impuretés, en comparaison à un spectre issu de la littérature. (a) : Spectre de référence et spectre expérimental de la cristallisation de KNO_3 en présence de Na_2CO_3 e et de	

Na ₂ SO ₄ (b) Spectre de référence du KNO ₃ , accompagné des deux spectres expérimentaux de KNO ₃ cristallisé en présence d'une et deux impuretés	178
Figure 51 Evolution théorique de la concentration de la solution d'alimentation durant l'expérience de cristallisation avec l'observation des premiers cristaux. [Na ₂ SO ₄ initial] = 175 g/L	180
Figure 52 Surface membranaire requise pour concentrer jusqu'à saturation un effluent de sulfate de sodium selon deux façons de calculs (débit : 1m ³ /h).....	181
Figure 53 Différence au pro rata de la surface de membrane nécessaire par m ³ d'effluent traité par heure pour les débits de 1 et 20 m ³ /h, pour amener à saturation un effluent à différentes concentrations	182
Figure 54 Evolution de la surface membranaire nécessaire en fonction du débit à traiter, et de la concentration initiale	183
Figure 55 Horloge de Bowman	200
Figure 56 Système ROS pour un débit de 1m ³ /h.....	212
Figure 57 Division du flux sortant de la pompe en plus petites lignes de membranes à l'aide de collecteurs.	215
Figure 58 Description de la technologie ECOSTILL	220
Figure 59 Image de synthèse d'un module ECOSTILL 2000	222
Figure 60 Decision journey	230
Figure 61 Étapes de publication de marques enregistrées	256
Figure 62 Structure d'une Société Anonyme.....	282
Figure 63 Recrutement des futurs employés.....	285
Figure 64 Lignes du temps de l'évolution de l'entreprise ROS	290
Figure 65 Diagramme des flux de trésorerie.....	318
Figure 66 Sources de financement par cycle de vie d'une entreprise.....	321
Figure 67 Evolution du nombre de publications par année dans les journaux scientifiques qui incluent les mots-clés:"Crystallization" (black diamond) et "membrane crystallization ou membrane distillation" (gray diamond). ISI Web of Science, Avril 2015"	327
Figure 69 Activités de l'eau de solutions pures de KNO ₃ , NaCl, Na ₂ SO ₄ et Na ₂ CO ₃ en fonction de la concentration.....	378
Figure 70 Diagramme de phase du carbonate de sodium	379
Figure 71 "T–X phase diagram of the binary system sodium sulfate–water at room pressure showing stable phase boundaries (solid) and metastable phase boundaries (dashed). E1 and E2 are the mirabilite– ice and the Na ₂ SO ₄ .7H ₂ O–ice eutectics, respectively. P1 and P2 are	

the peritectics $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}(\text{s}) - \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{s}) + \text{liquid (L)}$ and $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}(\text{s}) - \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{s}) + \text{L}$, respectively. The solid vertical line at 44.09 wt.% Na_2SO_4 corresponds to the composition of mirabilite, and the dashed vertical line at 52.97 wt.% corresponds to the heptahydrate”	379
Figure 72 Solubilité du nitrate de potassium dans l'eau en fonction de la température.....	380
Figure 73 Montage du lavement des cristaux	381
Figure 74 Schéma d'une module membranaire unique. La lettre Q symbolise le flux, C la concentration. Le premier indice symbolise l'alimentation par le f, et l'osmotique par le o. Le second indice réfère à la valeur initiale par 0, et à la valeur finale avec f	383
Figure 75 Densité de la solution de sulfate de sodium en fonction de sa concentration	385
Figure 76 Schéma de distillation et cristallisation membranaire	386

Liste des Tableaux

Tableau 1 Récapitulatif de l'analyse Pestel.....	41
Tableau 2 Scénarios	43
Tableau 3 Prix par tonne des sels commercialisés dans le monde.....	47
Tableau 4 Prix par tonne des sels commercialisés en Europe	48
Tableau 5 Récapitulatif de la concurrence.....	56
Tableau 6 : Résumé des FCS	71
Tableau 7 Répartition par secteur des eaux usées industrielles	75
Tableau 8 Type de verre produit par entreprise	78
Tableau 9 Répartition des activités industrielles chimiques	80
Tableau 10 Les FCR concernant le service.....	104
Tableau 11 Les autres FCR.....	105
Tableau 12 Taille des pores et pression appliquée pour les procédés de micro-, ultra-, et nano-filtration, ainsi que d'osmose inverse	122
Tableau 13 Informations techniques sur la membrane Liqui-Cel 2.5x8Extra-flow	141
Tableau 14 Mode opératoire pour la préparation d'une solution saline	143
Tableau 15 Plan de travail de réalisation des solutions d'alimentations pour les expériences de cristallisation membranaire en présence d'impuretés.....	144
Tableau 16 Conditions expérimentales pour les expériences de caractérisation du flux transmembranaire.....	147
Tableau 17 Conditions expérimentales pour les expériences de cristallisation membranaire	150
Tableau 18 Teneurs en eau théoriques des cristaux de nitrate de potassium, sulfate de sodium, et de carbonate de sodium.....	154
Tableau 19 Résultats des teneurs en eau des cristaux issus des solutions pures (moyenne, et déviation standard).....	170
Tableau 20 Résultats des teneurs en eau des cristaux issus des solutions en présence d'impuretés (0,4 mol/L) (moyenne, et déviation standard).....	171
Tableau 21 Résultats des expériences de teneurs en Chlore des surnageants ainsi que des cristaux obtenus	172
Tableau 22 Chaîne de valeur de ROS : Activités primaires.....	190
Tableau 23 Chaîne de valeur de ROS : Activités de soutien.....	190
Tableau 24 Capacités seuils et distinctives de ROS.....	193

Tableau 25 VRIO des capacités distinctives de ROS.....	196
Tableau 26 Analyse SWOT de ROS	197
Tableau 27 Matrice d'Ansoff.....	203
Tableau 28 Consommation annuelle des appareils en laboratoire.....	210
Tableau 29 Composition de l'effluent industriel de <i>Solvay</i>	212
Tableau 30 Surface membranaire nécessaire pour cristalliser l'effluent pour les débits de 300 mL/min (laboratoire), 1m ³ /h, par les deux méthodes de calculs, et 20m ³ /h	213
Tableau 31 Surfaces membranaires et leurs prix pour traiter un effluent d'un m ³ /h en fonction de leurs concentrations initiales, avec le nombre de module 2,5*8 Extra-Flow de chez Liqui-Cel correspondant nécessaires, et le prix de cette quantité de contracteurs membranaires ...	214
Tableau 32 Récapitulatif de la consommation électrique, de la surface et du volume occupés par les différents éléments du service ROS pour le projet pilote traitant 1m ³ /d'effluent par heure.....	222
Tableau 33 Récapitulatif de la consommation électrique, de la surface et du volume occupés par les différents éléments du service ROS pour une échelle industrielle sachant traiter 20m ³ /d'effluent par heure	224
Tableau 34 Résumé des informations	250
Tableau 35 Salaires bruts et cotisations patronales totaux.....	294
Tableau 36 Coûts fixes.....	296
Tableau 37 Récapitulatif des coûts variables.....	300
Tableau 38 Évaluation des coûts des contrats d'entreprise et services	314
Tableau 39 Les chiffres d'affaires de ROS pour les années 2017, 2018, 2019, 2020.....	316
Tableau 40 Compte de résultat prévisionnel.....	317
Tableau 41 Tableau des flux de trésorerie prévisionnel	318
Tableau 42 Ratios	319

Introduction

Chaque année, les usines actives sur le territoire belge importent une moyenne de 250 millions de tonnes de sels à des fins industrielles. Ces derniers parcourent des milliers de kilomètres par cargo avant d'arriver au port d'Anvers et nécessitent donc des quantités colossales de litres de carburant, émettant par conséquent des quantités astronomiques de CO₂. Ces sels sont indispensables aux processus de production des entreprises principalement présentes dans le secteur chimique. Une fois intégrés dans le processus de production, ces mêmes sels sont relâchés dans les fleuves, lacs et rivières via les eaux usées industrielles, ce qui a un impact désastreux sur l'environnement : ils assèchent les sols, privent les plantes de minéraux et perturbent l'écosystème des eaux douces. Sachant que les usines chimiques localisées en Belgique génèrent annuellement un débit moyen de 148 millions de m³ d'eaux usées, on peut affirmer que ces sels dégradent l'environnement. Il est donc de notre devoir, en tant que futures entrepreneurs, de trouver une solution à ce problème sociétal et environnemental.

Récemment familiarisées avec les concepts de cristallisation membranaire, de valorisation des sels, d'économie locale, d'économie circulaire et de symbiose industrielle, nous avons saisi cette opportunité pour mettre nos connaissances en application en vue de développer un projet d'entreprise incitant les usines belges à recycler les sels présents dans leurs eaux usées. L'objectif ultime est donc de substituer les sels importés de pays lointains par des sels produits localement via le service *ROS*.

Grâce aux nombreuses recherches innovantes effectuées par le professeur Patricia Luis Alconero dans la technologie membranaire, le projet de mémoire *ROS* a pu voir le jour. *ROS* met au coeur de sa stratégie la nouvelle application trouvée par le professeur Luis Alconero : la revalorisation des sels via un processus de distillation et de cristallisation membranaire.

ROS se définit comme un procédé de valorisation des sels des eaux usées industrielles. De par son fonctionnement supposé peu énergivore, ce dernier se veut innovant. Parallèlement, l'entreprise *ROS* propose un service de symbiose industrielle. Jamais exploité en Belgique, ce dernier permet aux usines belges utilisant le système *ROS* d'égaleement commercialiser les sels recyclés. Les usines voisines pourraient donc aussi profiter de sels locaux.

L'entreprise *ROS* se positionne comme le partenaire des industriels belges en matière de gestion des sels, que ces derniers soient sous forme de déchet ou de matière première. Grâce à l'implémentation du procédé *ROS*, les usines auront l'occasion de réemployer les sels

catégorisés comme déchet auparavant, de réduire leur empreinte environnementale, de diminuer leurs taxes annuelles, d'améliorer leur image, de substituer les sels importés par des sels locaux, de diminuer leurs coûts en matière d'importation et enfin, de collaborer avec des usines proches.

À une époque où la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE) est intégrée au coeur même des stratégies, les usines n'ont d'autre choix que d'adopter un processus de production éco-responsable. Ceci implique de trouver des sources de substitution aux matières premières extraites des réserves naturelles, dans l'optique de préserver ces dernières. ROS ambitionne d'être **la** solution. Avec un accompagnement complet, notre entreprise offre ses services aux usines désireuses de changer leur comportement environnemental et leurs méthodes de gestion de leurs eaux usées. ROS cible plus particulièrement les entreprises du secteur chimique.

Ce mémoire pluridisciplinaire de fin d'études a pour objectif de démontrer l'éventuelle viabilité technique et financière du projet d'entreprise ROS. Tout au long des chapitres, des éléments viennent étayer nos choix stratégiques et techniques permettant de répondre à la question : *notre idée d'entreprise a-t-elle une chance de voir le jour et d'être compétitive sur le marché ?*

Pour obtenir une réponse complète et pertinente à cette question, une fois l'équipe entrepreneuriale formée, le contexte et l'historique du projet exposés, nous avons mis une structure spécifique en place. Elle se présente comme suit.

Les premiers chapitres démontrent le bien-fondé du projet ROS en analysant les besoins actuels de la société et l'environnement dans lequel elle évolue. ROS s'inscrit dans une dynamique sociétale en quête de processus de production moins énergivores, d'activité locale, de réduction de l'empreinte carbone, d'un respect envers la biosphère et pour finir, d'une nouvelle forme de relation avec les clients, à savoir, une relation de type symbiose industrielle, c'est-à-dire, gagnant-gagnant.

Ensuite, une étude de la concurrence directe et indirecte nous permet d'identifier les technologies déjà existantes sur le marché, les services offerts, leurs avantages compétitifs, ce qui est exigé par le marché et enfin, les services manquants. L'analyse de Porter vient compléter cette étude et nous aide à comprendre le pouvoir de chaque acteur de l'industrie du recyclage et de la valorisation des déchets issus des eaux usées industrielles en Belgique. C'est grâce à tous ces éléments que l'évaluation de l'attractivité de cette industrie est possible. Le chapitre

suivant couvre la segmentation du marché et l'analyse de celui-ci. Il permet à ROS de cibler les groupes de clients auxquels son service serait le plus adapté ou pourrait s'adapter.

Une fois les analyses interne et externe effectuées, une étude qualitative approfondie menée auprès de vingt-huit acteurs concernés de près ou de loin par notre projet vient éclairer les Facteurs Clés de Réussite indispensables à la configuration du service ROS pour que celui soit adapté aux besoins du marché.

Le chapitre suivant présente les recherches scientifiques qui sont à l'origine du projet ROS et l'étude des sels effectuée par Claire Clérin en laboratoire. Tout d'abord, le travail scientifique sera introduit par un état sur les technologies de traitement des sels dans les effluents industriels et de technologies membranaires. Ensuite, les analyses permettant de caractériser la membrane et les cristaux obtenus seront développées pour la cristallisation du Na_2SO_4 et du KNO_3 , puis cette partie scientifique sera conclue en reprenant les points importants observés lors des expériences.

Sur base des informations récoltées dans les chapitres précédents, il est enfin possible de présenter la proposition de valeur du procédé ROS ainsi que la stratégie appropriée à celle-ci. Ces deux chapitres mettent notre *core business* en évidence. Ces derniers expliquent notre mission, notre vision, nos valeurs ainsi que nos tactiques pour introduire notre entreprise sur le marché du recyclage des eaux usées industrielles.

Les chapitres suivants sont consacrés au plan de production et au marketing opérationnel. Ils expliquent concrètement comment nous souhaitons appliquer nos stratégies sélectionnées en amont. Le chapitre de production vient appuyer la faisabilité technique de notre processus.

Finalement, nous nous penchons sur les aspects liés à la gestion des ressources humaines et juridiques. Ils nous permettent, d'une part, de comprendre l'organisation du personnel que nous avons choisie, et d'autre part, d'explorer la forme juridique de la société ROS, les contrats liés à celle-ci et les normes de sécurité au travail.

Pour terminer ce plan d'affaires, le chapitre consacré au plan financier vient traduire toutes les décisions stratégiques en chiffres, démontrant, ce faisant, l'éventuelle viabilité financière du projet d'entreprise ROS. Cette dernière étape est le fruit d'un travail de longue haleine qui détermine si notre projet pourrait réellement être implémenté.

La conclusion vient concrètement répondre à la question de la viabilité de notre projet d'entreprise. Plusieurs arguments permettent d'appuyer notre décision. Une piste de solutions

ainsi qu'un recul critique viennent apporter des réflexions supplémentaires à notre mémoire de fin d'études.

Pour faciliter la lecture et la compréhension tout au long de ce mémoire, nous avons pris la liberté de parler en terme générique et de substituer les mots contracteurs membranaires par le terme : membrane.

Nous vous souhaitons d'ores et déjà une agréable lecture.

Chapitre 1 : L'équipe entrepreneuriale et l'entreprise

Séduits par un projet d'entreprise, des investisseurs, des créanciers ou des associés potentiels s'attellent à la lecture d'un plan d'affaires réalisés avec soin par les entrepreneurs. Invités à créer une relation de proximité, les entrepreneurs commencent avant tout à se présenter et à expliquer leur projet. Viennent au fil des chapitres, les facteurs de référence pour la constitution, le financement, le démarrage et le développement d'une PME. Ces derniers accompagneront les lecteurs tout au long de leur réflexion sur la pertinence du projet aboutissant à un éventuel intérêt.

L'objet du premier chapitre est de présenter l'équipe *ROS*, son but, son origine et enfin, sa place en tant que projet de recherche au sein de l'UCL.

1. Présentation de l'équipe

1.1. Porteurs du projet

Professeur Patricia Luis Alconero

Le professeur Patricia Luis Alconero obtient son diplôme d'ingénieur chimiste en 2004, à l'Université de Cantabria, en Espagne. Cinq ans plus tard, elle y acquiert un doctorat. Depuis 2010, cette scientifique a rejoint la Belgique en vue de développer des technologies d'ingénierie chimique peu énergivores. C'est à l'Université catholique de Louvain et à la KU Leuven qu'elle effectue ses recherches sur des applications innovantes aux membranes. Parallèlement, elle fait partie de la Chaire Solvay où elle a l'occasion de discuter de ses recherches avec de nombreux scientifiques de l'entreprise chimique belge tant renommée.

Docteur Israel Ruiz Salmon

Ce doctorant en ingénierie chimique, d'origine espagnole, travaille en collaboration avec le professeur Patricia Luis Alconero. Sa thèse de doctorat porte sur un procédé de capture via les technologies membranaires du CO_2 avec comme seul intrant du NaCl , permettant une revalorisation en carbonate de calcium de CO_2 . Ses connaissances théoriques et pratiques ont été tout au long de ce mémoire, un grand soutien pour le développement du projet *ROS*.

1.2. Conseillers du projet

Madame Roxane De Hoe

C'est en 2010 que Mme Roxane De Hoe obtient son diplôme en psychologie à l'Université catholique de Louvain. Pendant un an, elle est engagée par le professeur Nathalie Delobbe pour effectuer une recherche sur le bien-être au travail et la performance organisationnelle. En 2012, elle rejoint l'équipe CPME et accompagne les étudiants tout au long de leur formation. Parallèlement à cela elle réalise une thèse de doctorat sur l'échec entrepreneurial et la capacité de rebond des entrepreneurs vivant cette situation. Par ailleurs, elle conseille en tant que promotrice des équipes constituées de futurs entrepreneurs pluridisciplinaires pour l'élaboration concrète de leur plan d'affaires.

Docteur Franck Janssen

Docteur en sciences de gestion, diplômé en droit et professeur d'entrepreneuriat à l'Université catholique de Louvain, ce coordinateur du programme CPME consacre son temps à des recherches en matières entrepreneuriales. Parallèlement, il instruit et conseille ses étudiants CPME durant une période de deux ans, leur permettant d'acquérir les compétences nécessaires à la constitution et à la gestion d'une PME.

1.3. L'équipe du mémoire CPME

Vous trouverez en annexe nos trois curriculum vitae (annexe A).

Claire Clérin

Claire Clérin commence sa formation en 2010 au sein de l'Université catholique de Louvain (UCL), en s'inscrivant au bachelier en sciences chimiques. Elle choisit une mineure en environnement et en développement. En 2015, une fois son bachelier réussi, elle poursuit sa formation avec un master en sciences chimiques à finalité spécialisée. Elle ouvre la porte pour les chimistes de l'Université catholique de Louvain, en étant la première chimiste à suivre, dans le cadre du master, la formation entrepreneuriale de l'UCL : CPME.

Passionnée des sciences, elle est à l'origine du projet de mémoire ROS lorsqu'elle présente, en février 2016, les recherches du professeur Luis Alconero au reste de l'équipe. La synergie, les impacts et les interactions entre les différents écosystèmes présents sur la planète l'ont toujours intéressée. Ceci explique son enthousiasme pour ce projet de mémoire. Lors du passage en BAC2, elle porte d'ailleurs son choix sur la mineure en environnement et en développement,

afin d'acquérir une bonne connaissance de toutes ces interactions et affiner son regard sur certains aspects de notre société.

Vu son profil scientifique, Claire Clérin est en charge de toute la partie recherche et développement, comprenant la validation de la viabilité technique. Elle développe également le premier projet prototype théorique, et s'attarde sur l'analyse des coûts techniques.

Pour ce dernier élément, on pourrait estimer que Claire Clérin n'a de prime abord pas la formation adaptée, ses études la formant plus sur l'aspect recherche fondamentale. Néanmoins, son tempérament curieux et sa soif d'apprendre, l'ont amenée à s'entourer de personnes qui ont pu lui apprendre à acquérir les bons premiers réflexes et lui partager leur avis constructif sur son travail.

Ainsi, de février à mai 2016, Claire Clérin réalise un stage dans le monde industriel, portant sur un sujet totalement inconnu. Grâce à cela, elle a pu goûter durant trois mois au fonctionnement en entreprise.

Charlotte Dubray

Charlotte Dubray débute son bachelier à l'ICHEC en 2012 où elle se forme pendant une période de trois ans à la gestion d'entreprises. Elle y découvre de nombreux cours pertinents pour la réalisation d'un plan d'affaires, notamment la comptabilité, le droit des sociétés et les langues. Ses connaissances linguistiques en néerlandais et anglais sont un réel avantage pour la constitution d'une entreprise en Belgique.

Dans le cadre de son master, elle étudie de 2015 à 2017 le management à la Louvain *School of Management*. Elle y acquiert des compétences plus approfondies en marketing, en stratégie, en ressources humaines et en finances. En 2017, elle suit le cours de "*regenerative economy*". Ce dernier lui permet d'acquérir des compétences dans les domaines de l'économie circulaire et de fonctionnalité, matières constituant le socle de la stratégie du projet ROS.

En complémentarité avec ses études en management, elle suit pendant une période de deux ans la formation Création Petites et Moyennes Entreprises (CPME). Elle y découvre le monde de l'entrepreneuriat, rencontre ses futures partenaires de mémoire et confronte ses compétences à la réalité du terrain.

Vu sa formation en droit des sociétés et en comptabilité acquises à l'ICHEC, Charlotte Dubray est chargée des aspects juridiques et financiers du présent mémoire. Elle se charge également

du chapitre consacré aux ressources humaines. Parallèlement, elle met ses connaissances en *marketing* et en stratégie en exergue accompagnant ainsi Blanche Havenne dans l'élaboration de son travail.

Blanche Havenne

Blanche Havenne effectue la totalité de son parcours académique au sein de l'Université catholique de Louvain-la-Neuve, de 2012 à 2017. Elle débute sa formation lors d'un bachelier générique de sciences de gestion avec une mineure en entrepreneuriat. Elle réalise ensuite, son master à la Louvain *School of Management*. Comme les membres de son équipe ROS, elle se forme en parallèle en entrepreneuriat, dans le cadre de la formation CPME.

Durant l'été 2015, elle accomplit un stage dans la *start-up*, *1001 Belges*. Cette expérience lui permet d'acquérir des connaissances pratiques dans le domaine de la stratégie, du marketing et des ressources humaines, mises en évidence dans ce mémoire. Par ailleurs, l'immersion dans une petite entreprise lui permet d'observer et de comprendre l'équilibre nécessaire à une équipe pluridisciplinaire.

Blanche Havenne vit également des expériences universitaires internationales aux États-Unis et en Erasmus à Lisbonne. L'échange en Caroline du Nord, à Greensboro, lui donne l'occasion de renforcer ses connaissances en entrepreneuriat et en construction du plan d'affaires. Lors de son Erasmus à l'université Nova, en *business* et en économie, à Lisbonne, elle améliore ses connaissances en anglais et en management.

En accord avec ses expériences, ses envies et ses connaissances acquises, Blanche est responsable de la stratégie, du marketing, de la communication et de la gestion des tâches quotidiennes au sein de la *start-up* ROS. Elle accompagne également Charlotte Dubray pour l'analyse juridique et financière de ce mémoire.

2. Présentation du projet

L'équipe ROS réalise son mémoire de fin d'études d'octobre 2016 à juin 2017, dans le cadre de la formation en Création de Petites et Moyennes Entreprises (CPME) sur un projet qui lui tient particulièrement à cœur, le recyclage des déchets. Plus particulièrement, le recyclage des sels présents dans les eaux usées industrielles.

Après leur rencontre avec le professeur Patricia Luis Alconero, Claire Clérin, Charlotte Dubray et Blanche Havenne ont la ferme intention de contribuer à un projet scientifique dont l'objectif

est d'aider les industriels chimiques à réduire leur empreinte environnementale tout en améliorant leur image de marque.

À une époque où les analyses dénoncent l'épuisement des ressources naturelles, la surconsommation d'énergie et où les institutions européennes durcissent les législations sur les déchets industriels, il convient en tant qu'entreprise, de mettre des stratégies environnementales en place. Dès lors, les usines actives dans un secteur industriel, libérant des effluents composés de déchets, notamment de sels, ont l'obligation d'intégrer des techniques de recyclage. Si elles ne le font pas, elles se voient pénalisées par des impôts conséquents. Ces normes font partie des éléments contextuels identifiés. Elles nous convainquent que notre projet d'entreprise a toutes ses chances de voir le jour.

Le projet de ce mémoire consiste à évaluer la viabilité économique et technique d'un procédé de valorisation des effluents industriels. Il s'agit également de valider un projet de symbiose industrielle au sein de la Belgique, par la mise en place d'un service de vente et achat de sels recyclés à échelle locale. L'objectif est en effet, de donner la possibilité aux usines belges, dont le processus de production requiert des sels, de substituer ceux achetés à l'étranger par des sels recyclés localement. Ainsi naît une relation de gagnant-gagnant : les entreprises qui vendent leurs sels ont non seulement une source de revenu mais bénéficient également d'une réduction de leurs impôts annuels, les entreprises qui achètent des sels recyclés réduisent les coûts d'importation et améliorent leur image.

Les effluents visés ont comme solvant l'eau et contiennent des composés cristallisables. Ces derniers sont dès lors commercialisables sous forme de sels sur le marché des matières premières.

Concernant la technologie employée, le service que nous proposons se base sur la distillation et la cristallisation membranaire. Les technologies membranaires sont sujettes à bon nombre de recherches, grâce à leur grand nombre de formats, avantages pour le *scale-up* et diverses applications possibles. La distillation et la cristallisation membranaire font partie de ces dernières. Avec les membranes, il est possible de distiller à température ambiante des déchets permettant d'atteindre la cristallisation des sels présents en leur sein, en consommant moins d'énergie qu'avec les techniques de cristallisation plus classiques. De plus, la concentration du déchet étant mieux contrôlée avec la distillation membranaire, qu'avec un évaporateur, des cristaux de meilleure structure cristalline seront obtenus. Tous ces éléments seront développés dans la partie scientifique de ce mémoire, au chapitre 8.

3. Historique du projet

Ce mémoire est un projet annexe à une thèse de doctorat menée par Israel Ruiz Salmon, au sein de l'UCL. Cette thèse est encadrée par le professeur Patricia Luis Alconero, dont les recherches se portent essentiellement sur les technologies membranaires.

Avant son arrivée à l'UCL et dans la chair Solvay, le professeur Patricia Luis Alconero réalise des recherches fructueuses sur la faisabilité, à échelle laboratoire, de la cristallisation membranaire de sulfate de sodium. Lorsque notre équipe la contacte fin février 2016, avec le désir d'élaborer un plan d'affaires dans le domaine du recyclage et de la valorisation de déchets, elle nous répond favorablement et nous expose ses différentes propositions, dont la valorisation du CO₂.

À cette époque, nous avons opté pour un autre projet de mémoire, *CalgoMagno*. Il s'agissait de proposer une alternative aux eaux en bouteilles et aux compléments alimentaires riches en magnésium disponibles en pharmacie et ce, en élaborant un enrichisseur en magnésium de l'eau courante chez le particulier. Nous avons dû y mettre un terme en septembre 2016, réalisant que l'idée avait déjà été bien exploitée par les concurrents.

Entre-temps, le professeur Luis Alconero reprend de nos nouvelles. Dès février 2016, ses travaux deviennent pour nous un nouveau choix évident de projet.

En octobre 2016, nous nous lançons dans l'aventure des technologies membranaires et de la valorisation des déchets industriels. Cependant, le projet proposé avait quelque peu évolué depuis notre dernière rencontre. En effet, un contact du professeur Luis Alconero au sein de la chair Solvay, Monsieur Horbez, avait suggéré de compléter les recherches de valorisation de CO₂ en Na₂CO₃ avec celles d'autres sels présents dans des effluents industriels. En effet, le carbonate de sodium bénéficie déjà d'une production européenne via le procédé *Solvay* notamment, et ce, en grandes quantités. Il est possible que l'intérêt économique ainsi que le gain à la revente du sel ne soient, dès lors, pas assez suffisants pour que ce seul sel suffise à faire tourner une activité économique de valorisation. De plus, Monsieur Horbez réalise à cette période une étude de faisabilité technique pour *Solvay* sur la cristallisation membranaire du sulfate de sodium depuis un réel effluent dont les résultats sont prometteurs. Le procédé qu'ils emploient est de la distillation membranaire thermique, alors que nous employons la distillation membranaire osmotique. Il y a donc bel et bien de l'intérêt du secteur industriel pour le recyclage des effluents industriels. C'est ainsi qu'est né notre projet.

Se pose alors la question de choix des sels dont nous voulons étudier la valorisation. Le sulfate de sodium est assez vite arrivé sur la table, notamment pour la partie scientifique de Claire Clérin. De fait, une comparaison scientifique est possible avec l'étude de Li *et al.* (2014), étude supervisée par le professeur Patricia Luis Alconero. Par ailleurs, le sulfate de sodium est largement employé dans le secteur de l'industrie chimique, et plus particulièrement dans le marché du verre et des détergents.

Pendant quelques semaines nous envisageons également de tester l'extraction de sels toxiques des effluents, notamment le nitrate de plomb, redirigeant le projet vers le traitement de déchets plus toxiques. Cette idée est le fruit d'un échange entre Madame Luis Alconero et une entreprise située à Silly, *5n Plus*, qui produit des métaux spéciaux et produits chimiques. Les tentatives de contact ayant échoué, nous nous sommes concentrées sur la revalorisation de sels plus communs.

Le choix du second sel qui complète un panel de trois sels étudiés s'est porté sur le nitrate de potassium, le KNO_3 . Du point de vue chimique, le souhait premier est de choisir un nitrate, pour travailler au sein du marché des fertilisants. Le nitrate de potassium possède la solubilité la plus proche de celles du sulfate de sodium et du carbonate de sodium. Ceci donne plus de possibilités en termes de comparaisons. De plus, au niveau expérimental, cette solubilité implique de devoir engager moins de sels dans les solutions à préparer que dans le cas du nitrate d'ammonium par exemple. Ce dernier requiert en effet une concentration six fois plus élevée en sels que le nitrate de potassium. Notre choix nous procure un gain de temps, de ressources minérales, et d'argent. Du point de vue du marché, on le retrouve sur les grands marchés des fertilisants et des explosifs (propergols, liquide de démarrage, des fusées), et pour ce qui est de l'angle environnemental, l'extraire des effluents rejetés dans les cours d'eaux diminuerait l'impact de l'activité humaine sur l'eutrophisation des cours d'eau (Boak, 2007).

4. Création d'une *Spin-off*

Le projet ROS étant né au sein de l'université, ensemencé par le professeur Luis Alconero et le Doctorant Ruiz Salmon et grâce à des ressources mises à notre disposition par l'UCL pour la construction du pré-prototype¹ (laboratoires, matériels, matières nécessaires, etc.), nous avons le devoir de le créer sous-forme de *Spin-off*.

¹ Pré-prototype = correspond à la première étape de développement de notre technologie

Ce chapitre introduit ce qu'est une *Spin-off*, les acteurs clés, les étapes requises à sa constitution et enfin, les avantages d'un régime sous *Spin-off*. L'éventuelle constitution d'une *Spin-off* et du dépôt d'un brevet seront discutés dans l'axe juridique, chapitre 13.

Selon le professeur Janssen (2014), une *Spin-off* est une entreprise développée au sein d'un grand organisme tel qu'une multinationale ou encore une université. Dans notre cas, nous souhaitons créer une société dans l'espoir de commercialiser le fruit d'une recherche universitaire. Celui-ci travaille alors conjointement avec l'université via un contrat de licence établissant les conditions de transfert de la technologie du laboratoire à la société. Généralement une *Spin-off* est développée sous forme de PME. Les critères requis pour bénéficier du régime de *Spin-off* sont la création d'une entreprise à partir de connaissances développées au sein d'une université dans le but de commercialiser ces dernières (Sopartec, 2012).

Les deux organes responsables de la gestion et de la création des entreprises *Spin-off* de l'UCL sont le *Louvain Technology Transfer Office (LTTO)* et la *Sopartec*. Le *LTTO* s'occupe du transfert des technologies, c'est-à-dire, de passer de l'idée en laboratoire au produit sur le marché. Il travaille en coordination avec l'administration de la recherche (*ADRE*) et la *Sopartec*. La *Sopartec* a pour mission de valoriser les recherches menées au sein de l'UCL, aux Cliniques universitaires St-Luc et à l'Institut de Duve (*ICP*) via la création de *Spin-off* et la négociation des accords de licence (*LTTO*, 2012). La *Sopartec*, détenue à 100% par l'UCL est également le gestionnaire du plus grand fond d'investissement universitaire européen : le fond Vives (Vives Fund, 2011). Il s'élève à 44 millions et rassemble des investisseurs privés et institutionnels. Les investissements sont particulièrement tournés vers l'éco-innovation.

Chaque création d'entreprise se déroule selon un processus spécifique en fonction de sa forme, de son but et de sa nature. Le guide de création de *Spin-off* de l'UCL (Bovy, Buntinx, Durieux, Ooms, Poupaert, Vandemeulebroecke & van den Hove, 2012) distingue cinq étapes clés à la formation : annonce et déclaration de l'invention, phase de maturation, phase de pré-incubation, création de la *Spin-off* et finalement le démarrage des activités.

Nous avons contacté le *LTTO* et avons, jointoiment analysé et émis certaines pistes de solution pour protéger et gérer la propriété intellectuelle, ainsi qu'évaluer son potentiel commercial. Selon le *LTTO*, pour pouvoir démarrer le processus, l'annonce d'invention doit remplir trois critères : “Peut-on protéger la P.I (brevet, secret, droit auteur), existe-t-il une opportunité commerciale et enfin, les ressources humaines et financières nécessaires sont-elles présentes

?” (Bovey et al., 2012, p.10). Nous faisons l’hypothèse que le projet ROS rempli ces trois conditions. Elles sont évaluées au cours de cette analyse de faisabilité. À la suite de ce mémoire, si les conditions sont validées, le projet pourra passer au stade suivant : la phase de maturation.

Le *LTTO* suit les équipes durant les deux prochaines phases via le comité d’accompagnement. Il est constitué des porteurs de projets, de *business mentors* et d’un représentant du *LTTO* pour chacune des phases.

La prochaine étape est la phase de maturation : “confronter les résultats de ses recherches aux contraintes imposées par le marché et par les utilisateurs finaux des produits ou services pressentis” (Bovey et al., 2012, p.11). Cette étape englobe la génération d’un *business model* ainsi que l’étude des différentes pistes de valorisation. Le *LTTO* gère la propriété intellectuelle. C’est à l’issue de la phase de maturation, après avoir présenté son *business model* au le Conseil de Transfert Technologique (CTT), que la voie de *Spin-off* s’ouvre.

Si l’analyse de faisabilité de la *Spin-off* se révèle concluante, nous passons à la phase pré-incubation. Cette étape permet de compléter le *business model*, de créer le plan d’affaires ainsi que d’analyser les détails plus pratiques, juridiques, organisationnels.

La création de la *Spin-off* prend place à la quatrième étape. Les démarches administratives et juridiques sont établies avec l’aide du *LTTO*.

L’apogée de ce processus est atteint lors du démarrage des activités. Certains membres du *LTTO* et du fond Vives accompagneront la PME pour certaines étapes clés.

Grâce à la forme *Spin-off*, le projet peut jouir de certains avantages. L’UCL s’occupe des démarches de dépôt de brevet et donne également un accès facilité à certaines sources de financement telles que la bourse de préactivité, d’investisseurs privés (*Business Angels*, etc.), le fond d’investissement VIVES II, le fond de preuve de concept (don alloué par la région wallonne pour la création d’un prototype ou essai de validation). Il est à noter que la condition pour l’investissement du fond Vives est une structure d’actionnariat diversifiée. L’investissement du fond Vives a un effet multiplicateur d’investisseur avéré (Durieux, 2017) : l’implication de ce fond dans un projet attire les autres investisseurs. Le statut de la *Spin-off* permet également de financer les coûts liés à l’analyse de faisabilité du projet et à son montage.

Chapitre 2 : Les besoins du marché

Lorsqu'une idée d'entreprise vient à l'esprit d'un entrepreneur, la première étape de sa réflexion consiste en une étude des besoins. Pour le présent plan d'affaires, il s'agit d'identifier les dynamiques environnementales actuelles dans lesquelles les industries opèrent. Les éléments mis en exergue dans le présent chapitre ont influencé la construction du *business model* de ROS et laissent croire que les services proposés répondent aux attentes et besoins des entreprises actuelles.

Ainsi, ce deuxième chapitre discute de : la transition des processus de production vers des méthodes moins énergivores, la responsabilité sociétale des entreprises, l'économie locale, l'économie circulaire, la symbiose industrielle et enfin, l'économie de fonctionnalité.

1. Vers des processus de production moins énergivores

“Certains modes de développement dégradent l'environnement et un environnement dégradé constitue un obstacle aux possibilités de développement” (Toumi, 2012, p.117). Mise en exergue par cet auteur, cette constatation est source de nombreux débats actuels. Par ailleurs, la raréfaction des ressources naturelles ainsi que l'accroissement démographique imposent aux industriels des techniques de production et des activités commerciales plus respectueuses de l'environnement, moins énergivores et moins dépendantes des matières premières. Le développement durable constitue ainsi l'unique voie de survie. Il concilie simultanément la croissance économique, les dynamiques sociales et les contraintes écologiques.

L'Organisation mondiale de la Santé (2012), stipule que les eaux usées constituent tant des menaces que des opportunités pour les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines. Ce sont les conditions d'exploitation qui déterminent leurs impacts. Dans le cas d'une gestion planifiée et rigoureuse, les effets peuvent être bénéfiques. C'est le cas par exemple des eaux usées contenant des nutriments adaptés aux agriculteurs sous un climat aride et semi-aride. À terme, cette solution aboutit à une dépendance réduite en engrais. Néanmoins, lorsque les eaux usées sont utilisées sans contrôles et traitements préalables, les conséquences peuvent être catastrophiques.

Ce même rapport (2012) précise que les eaux usées regroupent les eaux usées domestiques ainsi que les eaux usées industrielles. Les deux présentent des caractéristiques différentes. En général, les eaux domestiques sont moins risquées pour l'environnement. Les eaux usées

industrielles quant à elles, contiennent des produits chimiques toxiques issus des processus de production. Ces derniers constituent un réel danger. Les composants de ces eaux regroupent : des agents pathogènes, des sels, des métaux, des composés organiques toxiques, des nutriments tels que l'azote, le phosphore ou le potassium, des matières organiques, des matières solides en suspension, des acides et pour finir, des bases (pH).

Notre mémoire développe une technique de valorisation des sels des eaux usées industrielles, de par un procédé de cristallisation. En amont, il semble pertinent de s'attarder aux impacts environnementaux générés par ces sels, une fois déversés dans la nature. Selon, l'Organisation mondiale de la Santé (2012), une quantité de sels élevée et non maîtrisée constitue un réel danger pour les sols. Ces sels peuvent provoquer la toxicité des sols, perturber l'absorption des nutriments par les végétaux, modifier la pression osmotique de la zone des racines et finalement, détruire la structure des sols (dispersion et un bouchage des pores). Après avoir contaminé les sols, les sels atteignent et polluent les eaux souterraines.

La Belgique compte de nombreuses usines. Celles-ci opèrent dans divers secteurs. Les processus de production de ces acteurs libèrent annuellement, un volume d'eau usée industrielle considérable. Selon Le Moigne (2014), ce sont les industriels qui sont les principaux producteurs de déchets.

Par ailleurs, le Comité économique et social européen (2011), stipule qu'une transition énergétique est l'unique réponse aux défis climatiques, aux dommages environnementaux, à la raréfaction des ressources et aux demandes croissantes en énergie. Les acteurs privés sont fortement invités à s'engager volontairement dans la voie d'une entreprise peu dépendante en énergie, en carbone et en matières premières. Toumi (2012), précise que la qualité de l'environnement est aujourd'hui une préoccupation collective, devant être intégrée dans les activités et les stratégies. Par conséquent, il conclut que des investissements tant dans des équipements peu énergivores que de dépollution sont nécessaires à la pérennité des activités industrielles.

C'est sur base de ces premiers éléments identifiés, que nous avons choisi d'orienter notre étude de faisabilité d'une technique de valorisation des sels. Pour ce faire, il convient avant tout, d'analyser l'environnement dans lequel notre projet d'entreprise opère. Dans un premier temps, nous identifions les besoins et les opportunités y faisant référence de manière large, objet du présent chapitre. Dans un deuxième temps, nous précisons les opportunités et les menaces politiques, économiques, sociales, technologiques, écologiques et légales ayant un réel impact,

positif ou négatif, sur notre projet d'entreprise. Cette deuxième recherche est mise en évidence dans le chapitre suivant.

2. La Responsabilité sociétale des entreprises

Les pratiques socialement responsables des entreprises, sont-elles le fruit d'un comportement volontaire ou de pressions extérieures orchestrées par des parties prenantes ? C'est la question posée et analysée par les auteurs Amara et Bensebaa en 2009. Il s'avère que, *“contrairement à ce qui est souvent avancé, les entreprises ne se contentent pas de réagir de manière adaptative aux diverses pressions, elles agissent également de façon délibérée et autonome, façonnant ainsi les attentes de la société”* (Amara et Bensebaa, 2009, p.15). En effet, bon nombre d'industries ne considèrent plus la maximisation du profit et la valeur pour l'actionnaire comme raison d'être. Le temps des comportements irresponsables et opportunistes est révolu. Amara et Bensebaa (2009), expliquent que depuis une dizaine d'années, un nombre croissant d'entreprises intègrent la responsabilité sociétale comme facteur de légitimité, compétitivité et pérennité. Ces auteurs démontrent qu'une orientation responsable, sociale et environnementale n'est pas le résultat systématique de demandes extérieures. Il s'agit d'anticiper, voire contribuer à la création de ces demandes. *“La RSE est loin de constituer un phénomène désincarné, exogène aux acteurs, c'est plutôt un phénomène social dans lequel l'environnement et les organisations interagissent d'une manière continue”* (Amara et Bensebaa, 2009, p.15).

2.1. Environnement et productivité

En 2012 l'auteur Toumi s'intéresse au lien entre l'environnement et la productivité des entreprises. Celui-ci, s'avère être marqué par deux types de relations. La première, qualifiée de *“gagnant-perdant”* (Toumi, 2012, p.120), considère les coûts des actions environnementales trop importants par rapport aux avantages. L'écologie est alors perçue comme une contrainte, une source d'investissement à rentabilité faible ou encore, une cause de réduction de la production. La seconde relation, quant à elle, est qualifiée de *“gagnant-gagnant”* (Toumi, 2012, p.120). Elle affirme qu'un comportement respectueux est profitable pour les entreprises. Par ailleurs, cela constitue une opportunité pour améliorer l'image, préciser le positionnement concurrentiel, réduire le gaspillage et l'empreinte environnementale, moderniser les procédés et pour finir, exploiter des nouveaux marchés.

Toumi (2012) explique, qu'à ce jour, intégrer l'environnement dans la stratégie est indispensable pour toute entreprise. Il s'agit d'une question de survie et de durabilité.

2.2. Enjeux d'une stratégie environnementale

Plusieurs enjeux font ainsi surface en matière de stratégie environnementale :

Innovation et gain de productivité

Les entreprises assujetties à des normes environnementales voient leur position compétitive renforcée. Stimulés, ces acteurs améliorent leur position concurrentielle. Dans sa recherche, Toumi (2012), reconnaît que des réglementations engendrent des coûts et des transformations susceptibles d'augmenter les charges en matière de dépollution. Néanmoins, ces dépenses amènent les organisations *“à une révision générale de leurs processus de production et donc à innover”* (Toumi, 2012, p.221). De ces efforts, naissent une réduction des coûts de dépollution ainsi qu'une augmentation de la productivité. En effet, cette hausse de productivité résulte soit d'une amélioration de la valeur du produit, c'est-à-dire de la qualité offerte, soit, d'une réduction des coûts de production (Toumi, 2012). MISFAT, entreprise chimique tunisienne confirme ce constat. Elle explique que : *“ les contraintes environnementales de l'entreprise se traduisaient par une consommation élevée d'eau et de produits chimiques, ainsi que par un dysfonctionnement au niveau de la station d'épuration conduisant à la non-conformité des rejets avec la réglementation en vigueur. En mettant en place un programme de gestion environnementale et un système de management environnemental ISO 14001, l'entreprise a fait des économies substantielles en réduisant sa consommation d'eau et de produits chimiques d'environ 50%, tout en assurant la mise en conformité de ses rejets par rapport aux normes environnementales en vigueur ”* (Toumi, 2012, p.221). Par ailleurs, il existe une corrélation positive entre les sensibilités écologiques des entreprises et la hausse de la valeur des actions. Doté d'un intérêt pour des placements éthiques ou encore, peureux des sanctions financières et/ou juridiques liées à la pollution, les investisseurs font alors pression sur le conseil d'administration pour l'acquisition de processus de production moins énergivores.

Améliorer l'image de l'entreprise et limiter les pressions sociales

Toumi (2012) explique, que dans certains cas, des industries chimiques sont soumises à de fortes pressions sociétales. Elles sont alors obligées d'opter pour des investissements de dépollution. Confrontées à des campagnes médiatiques ou encore, à des actions de boycott par des groupes écologistes, les entreprises n'ont d'autres choix que de réagir à ces aléas. Elles adoptent ainsi, un comportement plus respectueux envers l'environnement, quitte à augmenter les prix de vente de leurs services et produits. De nombreuses recherches démontrent qu'un consommateur est effectivement prêt à payer plus pour un produit dont l'impact sur

l'environnement est réduit. Selon Toumi (2012), les entreprises traduisent ainsi les contraintes du développement durable en d'excellentes opportunités de communication.

Processus de production innovant

Idéalement, les entreprises devraient instaurer un système de prévention de la pollution. Il ne s'agit plus d'agir à la fin de la chaîne de production et donc, de diminuer les composants polluants mais plutôt, d'en éviter le rejet, notamment par un système de recyclage (Toumi, 2012).

Communication améliorée

Toumi (2012) explique, qu'une communication ciblée ainsi qu'une transmission claire des informations environnementales permettent aux entreprises d'améliorer les relations avec les autorités et le grand public.

Mobilisation des employés

Impliquer le personnel dans des actions de dépollution ou de réduction de la pollution débouche sur des résultats significatifs. Motivés, les employés réduisent naturellement leur empreinte environnementale et proposent des idées simples et efficaces (Toumi, 2012).

2.3. La RSE et la performance

Dans sa recherche, l'auteur Toumi (2012), déclare qu'une stratégie environnementale accompagnée de ses impacts financiers "*ne constitue pas une réalité homogène et universelle*" (Toumi, 2012, p.123). En effet, les conséquences économiques d'un processus de production moins polluants dépendent non seulement du type d'industrie et des déchets générés dans la nature mais surtout, de la taille de l'entreprise.

Pourvues de moyens financiers importants, d'un département en recherche et en développement, de larges capacités d'adaptation, de nombreux contacts et finalement, d'un accès élevé à l'information, les grandes entreprises perçoivent le développement durable comme une opportunité d'amélioration compétitive.

Confrontées au gouffre financier que représentent les équipements en écotechnologies, les PME quant à elles, éprouvent des difficultés d'adaptation. Par ailleurs, elles opèrent sur un marché plus compétitif et n'arrivent pas à répercuter la hausse des coûts sur leurs prix de vente. Toumi (2012) explique, que les "*PME ont donc tendance à éviter tout accroissement de leurs coûts. Le manque de financement constitue un obstacle pour ces entreprises incapables de*

financer elles-mêmes leurs investissements et confrontées à la difficulté d'obtenir des crédits pour des investissements environnementaux” (Toumi, 2012, p.123). Contrairement aux grandes organisations dotées d'une organisation rigoureuse et d'un positionnement favorable sur les marchés financiers, l'accès à des taux de crédit intéressants est exclu pour les plus petites entreprises (Toumi, 2012).

Cappellin (2015), déclare qu'en Belgique la moitié des PME dépensent une moyenne annuelle de 5.000 euros en gestion de l'environnement.

3. Une nouvelle notion du déchet

L'homme a longtemps été plongé dans une logique de consommation tous azimuts. C'est-à-dire, d'exploitation et d'utilisation des ressources sans limites. Pendant de nombreuses années, il utilisait et jetait les matières premières sans même penser à une éventuelle réutilisation ou à leur potentielle valorisation. Dès lors, le déchet a longtemps été doté d'un cycle de vie court et considéré comme un rebut (d'Arras, 2008). Jusqu'aux années nonante, il s'agissait de cacher, enfouir ou encore, faire disparaître les déchets. Ce n'est que depuis une vingtaine d'années que l'on parle de traitement des déchets.

Le changement climatique, l'évolution de la conscience environnementale des citoyens et des entreprises, la raréfaction des ressources et pour finir, la flambée des coûts du pétrole et des matières premières sont la preuve évidente que les limites de notre ancien mode de vie et de consommation ont été atteintes. Cet enjeu est d'autant plus important connaissant l'augmentation continue de la quantité de déchets produits (d'Arras, 2008). Selon d'Arras (2008), celle-ci aurait doublée en quarante ans, atteignant une moyenne annuelle de 360 kg par citoyen. Ceci constitue une aubaine pour le développement des activités liées aux détritiques, d'autant plus que ces derniers représentent un impôt direct pesant.

Cette évolution du marché invite à une réflexion générale sur l'optimisation de l'utilisation des ressources. À ce jour, il n'est plus envisageable de se débarrasser des déchets. Il convient d'inventer, de créer et de faire évoluer les méthodes de production et de consommation (d'Arras, 2008).

Et si ces changements de production et de consommation ne constituaient pas des menaces mais plutôt, des opportunités à saisir pour le développement de nouveaux *business models* ? C'est la question posée par Arras (2008). Cet auteur met en évidence la nécessité imminente de nouveaux modes de fonctionnement à travers la collecte, le tri, la valorisation et le recyclage

des déchets, permettant d'atteindre un cercle vertueux du déchet transformé en matières premières secondaires, autrement dit, en matériel qui substitue les matières premières naturelles.

Cet état des lieux invite à une réflexion générale des modes de production et de consommation. Dans le cadre de ROS, nous nous sommes penchées sur des solutions et en avons étudié la pertinence. Notre première réflexion s'est portée sur l'économie circulaire. Plus précisément, son fonctionnement, ses avantages et ses limites. Notre deuxième réflexion est le fruit d'un intérêt porté pour le concept de l'écologie industrielle.

3.1. L'économie circulaire

L'économie circulaire est une forme d'économie pertinente pour le projet d'entreprise ROS. Ce sous-point a pour objectif de démontrer l'expansion de l'économie circulaire en Belgique ainsi que ses avantages, notamment en matière de compétitivité pour une entreprise.

3.1.1. Economie circulaire en général

Actuellement, la plupart des modèles d'entreprises sont construits selon une logique linéaire. C'est-à-dire, que les plans d'affaires sont essentiellement constitués d'un simple agencement d'étapes : extraire les matières premières, fabriquer le bien, consommer le bien et enfin, le jeter.

Or, comme le confirme un rapport de l'ONU, si les hommes continuent à employer ces modèles simplistes, ils finiront d'ici 2050, par consommer trois fois plus de matières premières (Le Figaro, 2011). Les ressources naturelles étant loin d'être inépuisables, cette linéarité a non seulement un impact écologique mais, également, un impact économique. Elle participe en effet à la raréfaction des ressources naturelles et donc, à la volatilité du prix des matières premières (Le Moigne, 2014). L'époque des ressources foisonnantes et bon marché étant révolue, la transition vers un autre modèle est nécessaire.

L'économie *circulaire*, en opposition à l'économie *linéaire* constitue une alternative supposée moins énergivore et moins consommatrice des matières premières. Il s'agit également d'une solution pour la diminution de déchets. L'expression *la boucle est bouclée* représente parfaitement cette nouvelle économie. Les déchets supposés du premier cycle de production sont réintégrés dans le cycle de production ne constituant plus des déchets, mais plutôt des matières premières pour la production de ce même bien ou encore, d'un autre bien.

La définition du déchet est donc un point essentiel pour différencier un sous-produit d'une ordure. Selon la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil "*un déchet est*

toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire” (*Journal officiel de l'Union européenne*, 2008, Article 3). Si les matières sont produites et recyclées à travers un procédé commun, celles-ci ne sont, normalement, pas considérées comme étant un déchet. Le Moigne (2014, p.204) définit un sous-produit à l'opposé d'un déchet, *“un résidu de production ne constituant pas un déchet”*.

L'objectif principal de cette nouvelle forme est d'optimiser l'utilisation des ressources. Dans ce but, les matières sont maintenues le plus longtemps possible en circulation dans le cycle de production, tout en garantissant une bonne qualité (SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement SPF Economie, P.M.E, Classes moyennes et Energie, 2014). Grâce à cette meilleure gestion des déchets et de l'énergie, ce concept permet également de diminuer les émissions de CO₂.

Malgré la relative nouveauté de ce sujet, il existe déjà de nombreuses définitions divergentes. Pour couvrir ce terme le plus globalement possible, il semble pertinent de se baser sur les caractéristiques soulevées par PwC et al. (2016) lors de leur analyse du potentiel de l'économie circulaire en Belgique, menée en consortium avec l'Institut de Conseils et d'Etudes en Développement Durable et d'une société de consultance spécialisée en économie circulaire, OAKDENE HOLLINS (2016). Les multiples facettes de cette économie à travers, l'offre de biens et de services, la demande, le comportement des consommateurs, la coopération et la gestion des déchets sont représentées dans la **Figure 1** ci-dessous.

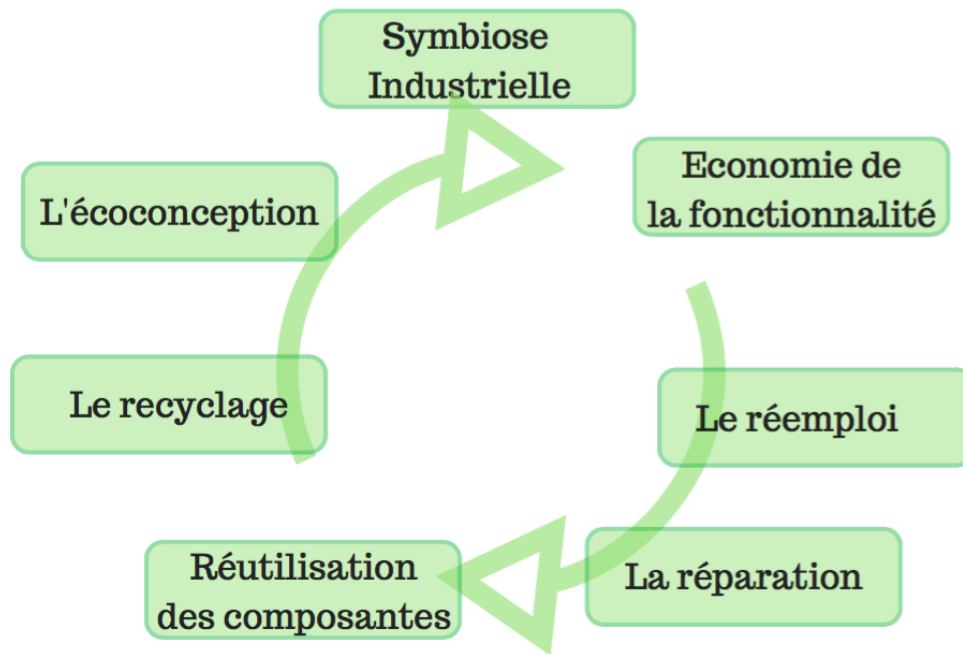


Figure 1 : Facettes de l'économie circulaire (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

Ces facettes constituent les éléments indispensables pour atteindre les objectifs de l'économie circulaire. Un projet ne doit pas posséder toutes ces caractéristiques pour s'inscrire dans ce mouvement, une ou quelques-unes suffisent. Néanmoins, pour réussir la transition vers une nouvelle économie, ces variables ont besoin d'être soutenues par des innovations.

La première variable est la **symbiose industrielle**, celle-ci consiste à développer un réseau durable. Plus concrètement, une collectivité d'entreprises formée dans le but d'échanger entre elles des matières, des ressources, de l'énergie et d'en optimiser la gestion. Dans le cadre de notre projet nous souhaitons mettre en connexion différentes entreprises pour réaliser ce genre de synergie. Le parc industriel de Kalundborg au Danemark, est un exemple de symbiose réussie. « *La symbiose fait la promotion des technologies propres et de la production propre, des approches plus efficaces et respectueuses de l'environnement* » (Synergie Québec, 2013, para.4). Cette forme d'économie circulaire permet d'améliorer la compétitivité des entreprises via une réduction des coûts.

L'économie de fonctionnalité s'inscrit également dans les facettes de l'économie circulaire. Ce concept est centré sur l'usage du bien, c'est-à-dire le service qu'il offre plutôt que le produit lui-même. Selon Morlat (2016), l'économie de fonctionnalité est une économie dont la finalité est une diminution des impacts environnementaux des processus de production ainsi que des

processus de création de valeurs économiques. Pour y arriver, « *Le cœur de cette nouvelle économie consiste à agencer des éléments matériels afin d'y adosser des services* » (Morlat, 2016, p.177). Les entreprises possèdent les biens qu'elles mettent en location et s'engagent à offrir des services de fonctionnalité, c'est-à-dire le fonctionnement du produit, son entretien ainsi que son éventuel remplacement (Groupe One, 2017). Dès lors, la valeur perçue par les consommateurs réside dans les bénéfices qu'ils retirent de l'utilisation d'un produit, et non dans sa possession (Carry, 2014). Les contrats de cession de biens deviennent ainsi des contrats de service ainsi que des contrats de performance (Morlat, 2016). L'économie de fonctionnalité permet une dématérialisation de la création de valeurs. C'est cette dématérialisation qui met en exergue la performance de cette forme d'économie.

Ensuite, le **réemploi** est la réutilisation des ressources ou des produits (qui ne sont pas des déchets) dans la même optique que l'usage initial (Le Moigne, 2014).

La quatrième composante, la **réparation**, consiste à remettre sur pied un bien défectueux et donc, également à offrir une seconde chance à cet objet. Dans l'optique de fournir un service complet au client de ROS, nous nous engageons à maintenir et restaurer notre technique en cas de fin de vie de la membrane et des tuyaux transmetteurs.

La **réutilisation** désigne le démontage des pièces fonctionnelles composant un objet défectueux ou désormais inutile dans le but de récupérer celles-ci, leur allouer une autre fonction, les donner ou vendre à des organismes intéressés. Une fois la membrane à bout de vie nous pouvons réutiliser les tuyaux et récipients avec une nouvelle membrane.

Le **recyclage** peut être considéré d'une part, comme un circuit de traitement de déchets, d'une autre comme une production de ressources (ADEME, 2017). Notre projet est particulièrement ancré dans ce volet. En effet, grâce au processus de cristallisation il offre une "*nouvelle vie*" aux sels qui étaient auparavant destinés à devenir un déchet. Dans certaines conditions, l'entreprise peut également réutiliser l'eau.

La réutilisation et le recyclage augmentent les forces d'une entreprise via la réduction des coûts. Par ailleurs, elles permettent le développement de nouvelles activités en parallèle du produit phare.

Une autre composante est l'**écoconception**. L'idée est de penser et désigner le service en fonction de son impact sur l'environnement. Il faut donc suivre une démarche d'éco-conception : intégrer l'environnement dans chaque étape du cycle de vie du projet.

Le tout à échelle locale. Mis en exergue par d'Arras (2008), l'économie circulaire est en opposition avec les tendances de la mondialisation et est donc une économie plus locale.

L'économie circulaire a bien évidemment ses limites. Les boucles de production ne peuvent généralement pas se reproduire à l'infini. Le Moigne (2014) parle plus précisément de spirales à travers lesquelles les matériaux et produits se consomment petit à petit. Concernant la technique de ROS, il a été prouvé en laboratoire, que les sels ne devraient pas perdre leurs qualités et vertus au fil des recyclages consécutifs. La capacité de recyclage serait donc infinie.

Pour résumer, chaque volet de l'économie circulaire a pour objectif de réduire les effets négatifs d'un produit sur l'environnement. Nous avons pu confirmer et démontrer à travers la définition de PwC et al. (2016) que ROS s'inscrit dans l'économie circulaire. Néanmoins, si ROS devait se catégoriser dans une seule facette de cette économie, le recyclage serait le plus adéquat.

3.1.2. Potentiel de l'économie circulaire dans le secteur des industries chimiques en Belgique

La plupart des clients potentiels de ROS sont affiliés au secteur des industries chimiques. Il est donc intéressant de comprendre à quel point ce secteur est intéressé et prêt à accueillir des innovations permettant de les transformer en acteur de l'économie circulaire. Le secteur chimique englobe la fabrication de produits chimiques de base, de produits azotés et d'engrais, de matières plastiques, de caoutchouc synthétique, de pesticides et de produits agro-chimiques, de peinture, vernis, encre et mastics, de savons, produits d'entretien et parfums, d'huile essentielle, de colle, ainsi que de fibres artificielles ou synthétiques (PwC et al., 2016).

Les coûts d'élimination des déchets et du traitement des eaux usées s'élèvent à 212 millions d'euros pour la Belgique, et sont donc, relativement conséquent. 28,30% de la consommation totale de produits intermédiaires intérieure de l'industrie chimique est utilisée par le secteur de l'industrie chimique elle-même. 57% des produits intermédiaires consommés par ce secteur sont importés (PwC et al., 2016).

Nous pouvons analyser ce secteur à travers les facettes de l'économie circulaire concernant de près ROS : la **symbiose industrielle** et le recyclage. Premièrement, du côté des grandes entreprises, généralement celles-ci sont déjà avancées dans l'implantation de la symbiose industrielle, spécifiquement dans le domaine de l'eau et de l'énergie. Au port d'Anvers, certaines compagnies ont créé une symbiose industrielle via un cluster et ont ainsi pu économiser 30 à 60 % de l'eau utilisée. Néanmoins, le transport des déchets et l'échange des

sous-produits chimiques ne sont pas encore bien exploités. PwC et al. (2016) parlent même d'une fenêtre d'opportunité pour de nouvelles technologies. Les grandes entreprises sont prêtes à faire des efforts pour instaurer des symbioses. Les PME, bien que l'investissement de départ constitue une barrière, se disent ouvertes d'esprit et donc, disposées à prendre en compte d'autres alternatives.

Dans les secteurs chimiques, la **réutilisation** des sous-produits consiste à récupérer des résidus et les réinsérer dans le processus de fabrication. Le **recyclage** des déchets part du même principe mais insère le traitement du déchet dans le processus. Dans ce secteur, la valorisation des sous-produits ou des déchets existe depuis longtemps, mais, selon une étude de PwC et al. (2016), il y a une opportunité d'expansion et d'implantation. Malheureusement ces initiatives naissent souvent des contraintes législatives. À l'heure actuelle, la Belgique fait face à un problème de fuite des potentiels sous-produits, et donc à une perte de valeur. En effet, plus de la moitié des résidus valorisables sont envoyés dans des centres de traitement à l'étranger.

Le recyclage et la réutilisation permettent à des premières entreprises d'acheter à des centres de traitement ou à d'autres usines, leur matière première à des prix réduits, et aux deuxièmes entreprises de diminuer leurs dépenses en matière de gestion des déchets. Si on considère le scénario réaliste de PwC et al. (2016) intitulé "*estimation basse d'un déploiement important de l'économie circulaire*" (PwC et al., 2016, p.40), la proportion des entreprises recyclant leurs déchets augmentera de 13% d'ici 2030. On passerait donc de 2% à 15%. PwC et al. (2016) nous proposent en effet 3 scénarios différents sur l'évolution de l'économie circulaire et de son impact : le scénario inchangé à la situation de 2015, le modéré et l'ambitieux. Le futur de l'économie circulaire dépend des incitations réglementaires que l'Union européenne, les Régions et les Communes vont mettre sur pied. Nous avons choisi de prendre en considération le scénario modéré de PwC et al. (2016), en tenant compte des initiatives raisonnables qui vont être mises sur pied par l'Union Européenne dès 2017. La valorisation des déchets devrait augmenter l'activité des compagnies inscrites dans ce mouvement de 10% et également diminuer le coût de la prise en charge des déchets de 10%.

Au niveau de l'économie de fonctionnalité, l'enquête ne décèle aucune évolution d'ici 2030.

Si l'on considère l'ensemble des différentes pratiques, l'économie circulaire permettrait de créer à peu près 262 millions d'euros de valeurs ajoutées en 2030. Les activités qui génèrent le plus de valeurs ajoutées sont le recyclage et la réutilisation. 58% des 262 millions d'euros

seraient donc engrangés par ces dernières (PwC et al., 2016). Ces deux activités sont également celles qui ont le plus grand potentiel de création d'emplois.

Pour conclure, nous pouvons décrire l'économie circulaire comme un processus de revalorisation des ressources qui dépasse le simple recyclage, englobant les contraintes économiques, industrielles, sanitaires et environnementales. Cette nouvelle économie permet de diminuer les pressions environnementales et sociétales (SPF et al., 2014). Son application renforce également la compétitivité d'une entreprise grâce à une réduction des coûts d'entreprises et à la création de nouvelles activités. Nous pouvons également affirmer que certaines entreprises ont déjà appliqué ce principe, et que la Belgique est un terrain de jeux favorable pour ce type d'économie. Le passage vers l'économie circulaire requiert des innovations dans le domaine de la production et de la technique.

3.2. L'écologie industrielle

L'écologie industrielle semble être une réflexion plus complète de l'économie circulaire. Au-delà de la valorisation des déchets, d'une activité économique locale et d'une symbiose industrielle, l'écologie industrielle propose une minimisation des pertes d'énergie, une décarbonisation de l'énergie et enfin, une exploitation des ressources et services fournis par la biosphère (Laperche et Merlin-Brogniart, 2016).

Ainsi, l'écologie industrielle *“s'appuie sur quatre leviers d'actions : la valorisation systématique des déchets comme ressources, la minimisation des pertes par dissipation (énergie, émissions polluantes...), la dématérialisation de l'économie (qui se traduit par le remplacement des produits par des services) et l'objectif de décarboner l'énergie”* (Laperche et Merlin-Brogniart, 2016, p.87).

L'écologie industrielle est un ensemble de pratiques en vue de réorganiser le système industriel. L'objectif est de devenir compatible avec la biosphère tout en réduisant la pollution industrielle et en étant viable à long terme. Au-delà de cela, l'écologie industrielle repose sur l'idée d'un écosystème naturel où circulent des matières premières, de l'énergie et de l'information.

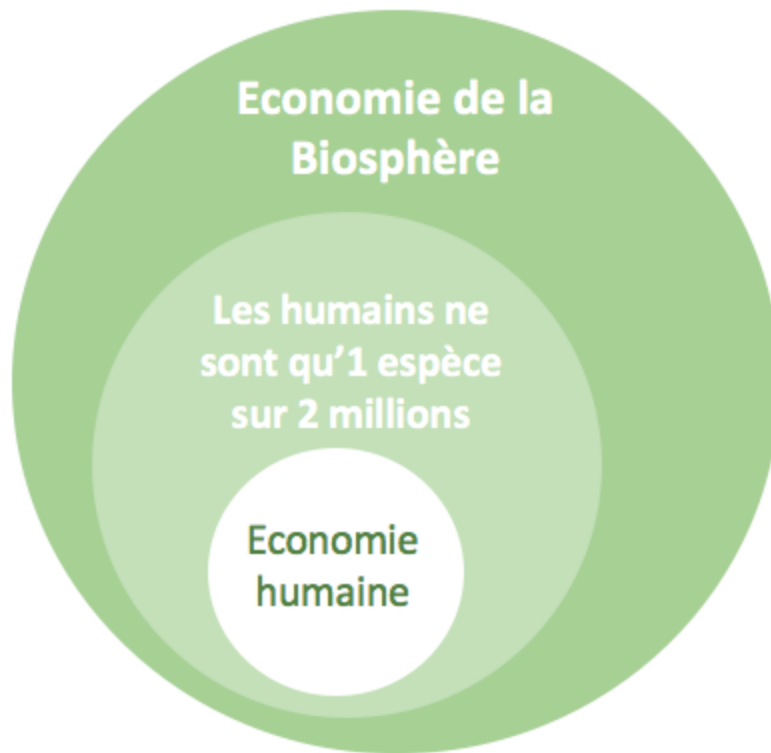


Figure 2: Notre économie est totalement ancrée dans la biosphère (Chapelle, 2017)

La **Figure 2** met en évidence que l'économie humaine est inscrite dans la biosphère, elle doit donc s'en inspirer pour le développement de ses activités économiques et sociales.

Tout comme l'économie locale, l'écologie industrielle veut également être une forme de circuit court. Il s'agit de circuits directs et courts en matière d'échanges ou de distribution de ressources dans un dynamisme de développement local. En d'autres mots, il s'agit d'une proximité relationnelle et spatiale entre le producteur et le consommateur en matière d'informations et de services (Laperche et Merlin-Brogniart, 2016).

Il existe néanmoins des limites au concept d'écologie industrielle. Mises en évidence par Laperche et Merlin-Brogniart (2016), celles-ci sont d'ordre technique, économique, informationnel, organisationnel, réglementaire, infrastructurel et humain. Par ordre de présentation, ces limites s'expliquent par de la complexité en matière de flux de déchets, de tri, de dégradation de la matière, de rapport coûts/bénéfices limité, de problèmes de coordination, de diffusion de l'information, de confidentialité, de manque d'expérience et d'organisation, d'insuffisances en matière d'incitation, de réglementations lourdes, d'absence de services de transports, de traitement adéquats et pour finir, de confiance insuffisante entre les entreprises.

4. Conclusion des besoins

Le fruit de l'analyse des besoins confirme que, le projet *ROS* doit s'inscrire dans une dynamique de développement durable, d'économie circulaire, d'économie locale, de symbiose industrielle, de respect envers la biosphère et enfin, de réduction de la carbonisation de l'énergie en vue de répondre aux attentes actuelles de la société. Néanmoins, est-ce possible ? Jusqu'à quel point arriverons-nous à répondre à ces exigences tout en étant performant techniquement et financièrement ?

Ce sont ces questions qui font l'objet de ce mémoire. C'est grâce aux chapitres suivants : les contextes du développement d'une entreprise, la concurrence, la faisabilité technique, le plan de production et des ventes, les coûts financiers, etc. que nous serons capables de dire, si oui ou non, le projet *ROS*, en internalisant les concepts développés précédemment, a une chance de voir le jour

Chapitre 3 : L'analyse Pestel

Après avoir développé les opportunités de la RSE, de l'économie circulaire, de la symbiose industrielle et de l'économie locale, éléments constituant partiellement une réponse aux contraintes environnementales et institutionnelles, il est désormais possible d'orienter notre projet d'entreprise vers une première voie de développement. Néanmoins, une analyse profonde du contexte politique, économique, social, écologique, technologique et légal de notre secteur d'activité en Belgique s'impose. Présentée dans cette partie du mémoire, elle permet une meilleure compréhension des variables externes influençant positivement ou négativement l'industrie visée.

La méthode choisie utilise conjointement le modèle Pestel, les influences structurelles et les scénarii. Comme mentionné par Janssen (2009), un audit environnemental via cette méthode permet d'identifier les évolutions futures de l'environnement à l'échelle macro-économique de l'entreprise. Il est ainsi possible d'identifier et d'anticiper les tendances actuelles et futures. Ces influences guident alors, la conception des services proposés par une future entreprise, l'identification du marché correspondant et enfin, la stratégie adéquate. Ces recherches sont fortement conseillées en amont d'un lancement de projet.

L'analyse réalisée est focalisée sur l'industrie du traitement et du recyclage des eaux usées industrielles et de ses produits substitués en Belgique, c'est-à-dire, sur l'ensemble des acteurs actifs, proposant des offres étroitement similaires ou substituables à la nôtre. À la fin de l'analyse Pestel, un tableau récapitulatif met en exergue les variables identifiées. Certaines constituent une menace (M), d'autres une opportunité (O). Chacune d'elles se voit également attribuer un poids de 1 à 10 en fonction de son degré d'influence (Johnson et al, 2014).

1. Le contexte politique

1.1. La Belgique, environnement favorable à l'entrepreneuriat

La Belgique est un pays favorable à l'innovation. C'est ce qu'affiche Le Global Entrepreneurship Monitor (2017), communément appelé GEM.

Depuis les années nonante, le phénomène d'entrepreneuriat s'est fortement accéléré aux États-Unis et en Europe. C'est alors qu'apparaissent au sein des universités des programmes, des cours et des articles scientifiques y afférant (Janssen, 2009). Le GEM, évalue le taux d'activité entrepreneuriale (TAE) pour l'ensemble des pays, dont la Belgique. Il s'agit du pourcentage de

la population âgée de 18 à 64 ans ayant récemment créé une entreprise. En 2003, ce taux s'élevait à 3,9% (Janssen, 2009). Selon le GEM (2017), en 2015, soit treize ans plus tard, ce taux s'élève à 3,8%. Malgré cette légère baisse, le taux d'activité entrepreneuriale est estimé stable pour le territoire belge. Les PME citées par le GEM sont celles actives depuis plus de 42 mois, distribuant un dividende et payant leurs salariés.

6,2% de la population belge (âgée de 18 à 64 ans) ont très récemment constitué une *start-up* (GEM, 2017). Ce chiffre confirme l'engouement des belges pour l'entrepreneuriat, justifié par un environnement belge favorable. L'ensemble des entrepreneurs belges, se situant à une quelconque étape de la création d'entreprise, affichent sur le GEM des informations pertinentes : plus de 40% estiment que la Belgique est un pays doté d'opportunités encourageantes pour le lancement d'un projet, 31,9% estiment avoir les capacités requises pour lancer un projet, 48,5% ont peur de l'échec entrepreneurial et finalement, 10% ont l'intention de constituer une société endéans les trois ans (GEM, 2017).

Il est bon de noter que l'entrepreneuriat belge est une influence positive à l'économie locale. En effet le GEM (2017), indique une contribution de 62% au PIB national. Par ailleurs, 19,5% des entrepreneurs belges ont l'intention de créer des emplois endéans les cinq premières années d'activité. 39,7% est le pourcentage de produits et de services innovants mis sur le marché par des Belges.

Pour finir, plus de 54,5% des entrepreneurs belges (âgés de 18 à 64 ans), admettent qu'un entrepreneur performant est doté d'un statut élevé en Belgique. 52% des fondateurs d'entreprises (âgés de 18 à 64 ans) considèrent l'entrepreneuriat comme une voie professionnelle propice (GEM, 2017).

D'une manière générale l'écosystème de l'entrepreneuriat en Belgique semble opportun. Il se présente comme suit (GEM, 2017) :

Les entrepreneurs disposent de divers avantages non négligeables pour le lancement de leur activité. De multiples statuts juridiques sont proposés tout en leur laissant une certaine liberté. Des aides sont à disposition, notamment, par du soutien stratégique et financier, des conseils juridiques, des réseaux, des formations, etc. (Riquet et Kahn, 2004). À Louvain-la-Neuve, l'organisme Crédal aiguille les entrepreneurs wallons en proposant des séances de coaching, des micro-crédits, des conseils financiers, etc. (Crédal, 2016).

Il est néanmoins évident que l'activité entrepreneuriale en Belgique dépend fortement de la stabilité politique nationale et internationale.

1.2. La politique fiscale pour les déchets et les eaux usées industrielles

Les réglementations sur les émissions de CO₂ des entreprises belges sont régies par les normes européennes. Chaque entreprise doit se munir d'un permis d'émission. Ce permis lui donne alors le droit d'émettre un certain de quotas de CO₂, il représente son droit de polluer. En d'autres mots, "*polluer c'est payer et polluer plus, c'est payer plus*" (Deplus, 2017).

Les eaux usées industrielles sont, quant à elles, soumises à des taxes belges, plus précisément à des impôts régionaux. Monsieur Dominique Wylock (2017) du Service Public de Wallonie, est responsable des taxes sur le déversement des eaux usées industrielles. Il nous informe que chaque année, les usines belges remplissent une déclaration de déchets (similaire à une déclaration fiscale) et la remettent au Service Public de la région où opère l'usine. Sur base de cette déclaration et d'un échantillon des eaux usées, les régions calculent les taxes pour chaque industrie. Ainsi, chaque usine se voit contrainte de payer une taxe annuelle relative à son activité. Wylock (2017), nous précise également que les taxes varient en fonction des régions. Les entreprises seront plus taxées en Flandre qu'en Wallonie. La formule complète des taxes sur le déversement d'eaux usées industrielles se trouve en annexe B.

Ce même spécialiste précise que les taxes sont proportionnelles aux quantités de déchets toxiques présents dans les eaux. Ainsi, opter pour des technologies de prétraitement, de traitement et de recyclage des eaux est une solution clémente pour diminuer les frais annuels. L'entreprise belge *Prayon*, productrice de phosphates, libère des déchets dans les eaux usées industrielles. Malgré des systèmes de recyclage déjà existants, l'entreprise paye une taxe annuelle de 500.000 euros sur ses effluents.

1.3. Les subventions européennes, fédérales, régionales : les aides à l'innovation

En Belgique, de nombreuses aides sont mises à disposition des entrepreneurs qui souhaitent innover. Les bourses de pré-activités, le programme *First Spin-Off*, les avances récupérables, les aides en cas de dépôt de brevet sont des tremplins financiers qui ont pour but d'encourager l'innovation. Les "chèques entreprises" sont également là pour soutenir la formation. Lors d'un entretien avec M. Mentior (2017), conseiller en matière de subsides et d'aides régionales, diverses aides appropriées au projet ROS ont été mentionnées.

Tout d'abord, la bourse *First Spin-Off*. Il s'agit d'un subside de deux ans mis à disposition d'un chercheur pour lui permettre de poursuivre sa recherche. Ensuite, les *Avances récupérables* : il

s'agit d'une avance octroyée à un entrepreneur dans le cadre du développement d'un prototype. Dans notre cas, cette aide s'applique au développement d'un prototype semi-industriel. Cette avance octroie un prêt allant jusqu'à 55% du budget total nécessaire pour le développement de ce prototype. Le remboursement se passe soit en 5, 10 ou 15 ans.

M. Mentior (2017), signale deux aides disponibles pour nos clients : des primes en faveur de la protection de l'environnement et des primes pour une utilisation durable de l'énergie. La première finance jusqu'à 40% du montant investi pour les PME et 25% pour les grandes entreprises. L'obtention de celle-ci dépend des certificats détenus par l'entreprise et de la région où elle se situe. La deuxième octroie des primes s'élevant à 30% pour les PME et de 20% pour les grandes entreprises. Ces primes d'investissement constituent une opportunité pour ROS.

M. Mentior (2017), revient ensuite sur les aides régionales spécifiques à ROS. Il stipule qu'une déduction d'impôt de 13,5% est applicable à la recherche et au développement. Ensuite, il mentionne les subsides pour l'engagement d'ingénieurs ou de chimistes. Des aides en gestion d'entreprise et en marketing sont également disponibles. Pour finir, les pôles de compétitivité offrent la possibilité à deux acteurs (entreprise et un centre de recherche) de construire un projet de recherche par le biais d'une collaboration.

1.4. Les lois sur le commerce extérieur

Dans le cas d'une commercialisation internationale de notre produit et de nos services, le respect des règles en matière de commerce extérieur est impératif. À ce jour, l'objectif à court-terme est de se concentrer sur le territoire belge et d'y identifier un éventuel marché potentiel.

2. Le contexte économique

2.1. Volatilité imprévisible des prix des matières premières

Selon l'organisme FEDEREC (2015), le prix des matières premières est imprévisible. Cette volatilité s'explique par deux facteurs contradictoires : tout d'abord, la raréfaction des ressources naturelles, implique une revue à la hausse des prix pour un futur éloigné, ensuite, la fixation des prix semble en réalité plus compliquée que prévue, à cause d'un effondrement des prix des minerais. Malgré ces facteurs opposés, une constatation semble constante : les réserves naturelles ne cessent de diminuer. Dès lors, les entreprises doivent devenir des acteurs indépendants de la fluctuation de prix des ressources. Ceci constitue une aubaine pour les entreprises telles que la nôtre.

2.2. Potentiel de l'économie circulaire

PwC et al., (2016) estiment que l'économie circulaire a d'ici 2030, un potentiel de 262 millions d'euros de valeurs ajoutées pour la Belgique. Ce montant concerne uniquement le secteur de l'industrie chimique. Globalement, ce nouveau modèle d'économie sera dans une dizaine d'années, pour l'ensemble des secteurs d'activités, une source de 1,2 milliards d'euros de valeurs ajoutées rien que pour la Belgique.

Un “*Circular economy package*” a été adopté par la Commission européenne en décembre 2015 (European Commission, 2017). L'objectif est de soutenir la transition des états membres vers une économie circulaire par le biais de lois, d'objectifs à long terme ainsi que par un plan d'action concret. Ce plan couvre l'entièreté de la chaîne de production : de la production à la consommation et de la gestion des déchets à l'octroi d'une seconde vie pour ces derniers.

650 millions d'euros ont été investis dans le *Focus Area*, permettant d'accompagner l'épanouissement de l'économie circulaire au sein du secteur industriel. Le programme est intitulé “*Industry 2020 in the circular economy*” (European Commission, 2017). Un autre exemple concret est le Feder (Fonds européen de développement régional). Il subventionne des projets d'économie circulaire dans la région de Mons, plus précisément, dans l'éco-zoning de Tertre (Deplus, 2017).

La Commission européenne déclare également mettre en place des plans de soutien pour les PME voulant transiter vers une économie circulaire. Divers ressources, informations et fonds seront mis à disposition (European Commission, 2017).

En mars 2016, la Commission Européenne a proposé une loi portant sur le marché des engrais produits à partir de matières première secondaires. Dès lors, les engrais sont moins dépendants de matières importées, telles que le phosphate. Ainsi, la valorisation des déchets est en marche, constituant une opportunité pour des projets tels que le nôtre (European Commission, 2017).

Au-delà des informations et des chiffres motivants cités ci-dessus, la Belgique dispose d'une économie dite “*ouverte*”. PwC et al., (2016) expliquent, que cette dernière entraîne une fuite importante des déchets valorisables. Plus de la moitié de ceux-ci sont envoyés à l'étranger en vue d'être traités. Cette évasion freine le potentiel de l'économie circulaire et de la symbiose industrielle pour la Belgique. Par ailleurs, Group One (2017), affirme qu'au niveau régional, aucun budget concret n'a encore été concédé à l'économie circulaire. C'est vers des organismes tels que Crédal, que les entrepreneurs doivent se tourner. Ceux-ci proposent des crédits et des

conseils adéquats (Crédal, 2017). Finalement, il n'existe pas de réelles assurances et crédits pour ce nouveau type d'économie (SPF et al. 2014).

2.3. Potentiel de l'économie de fonctionnalité

Contrairement au rapport de PwC et al. (2016) et son scénario modéré, l'organisme FEDEREC (2015) annonce l'avènement de l'économie de la fonctionnalité pour les années à venir. Ce concept pousse les entreprises à collaborer en vue de partager et développer des filières communes de recyclage. Par conséquent, les services de symbiose industrielle font partie de l'avenir du recyclage. Par ailleurs, la fondation d'Ellen MacArthur (2016), stipule que l'économie de la fonctionnalité permettra de générer annuellement une moyenne de 700 milliards de dollars à condition que cette forme d'économie soit appliquée à l'échelle mondiale.

2.4. Dépréciation de l'euro, crise économique, inflation, taux d'intérêt

Les principaux éléments économiques externes tels que l'inflation, les taux d'intérêt et la santé de l'euro constituent des variables non négligeables pour les entreprises. La comparaison des taux d'inflation entre les États membres de l'Union Européenne se fait à l'aide de l'Indice des Prix à la Consommation Harmonisé (IPCH). Aujourd'hui, ce dernier se situe, pour la Belgique, aux alentours de 3,308%. En 2016, il s'élevait à 1,115%. Une réelle augmentation est identifiée, elle correspond à l'inflation.

Selon les prévisions du bureau du plan fédéral, l'inflation en Belgique est évaluée, en moyenne pour l'année 2017, à 2,1% (L'Echo, 2017). L'IPCH de l'Europe se situe aux alentours de 1,982 % (Global Rate, 2017). L'augmentation de l'inflation combinée à l'indexation salariale peut avoir un impact négatif. En effet, bien que l'inflation soit prise en compte dans l'augmentation estimée des salaires belges (de 2,8% pour l'année 2017), ces derniers seront tout de même moindres que ceux des pays voisins, poussant ainsi certains belges à travailler en dehors de nos frontières (L'Echo, 2017).

Les taux d'intérêt (la rémunération d'un prêteur) restent encore historiquement bas en Belgique et dans la zone euro.

À l'heure actuelle, la valeur de l'euro est considérée comme faible. En effet, depuis 2014, celle-ci a diminué de dix pourcent par rapport au Dollar Américain. Une dépréciation de l'euro impacte négativement la balance des paiements, en ce sens que le prix des importations augmente. Importer des sels d'autres continents revient à payer plus cher. Néanmoins, une dépréciation de l'euro stimule également les exportations, influençant alors positivement la

balance des paiements (Le Monde, 2015). Dans notre cas, cela joue en notre faveur : les usines belges payant plus cher les sels importés et sont alors intéressées de les substituer par des sels locaux. Quant aux usines étrangères, elles sont séduites par l'importation de nos sels à bas prix. Depuis 2009, la crise économique fait pression sur les fabricants d'équipements de traitement des eaux. Ces derniers sont donc obligés de diminuer leur marge de bénéfices et de rivaliser sur les prix (MSI, 2015).

2.5. Dépenses octroyées aux stratégies environnementales

Selon l'organisme FEDEREC (2016), les multinationales ont un devoir de transparence envers les consommateurs. Dès lors, des budgets croissants sont investis dans des systèmes de production durables, permettant ainsi d'améliorer la responsabilité sociétale. FEDEREC (2016), précise que certaines organisations sont prêtes à investir dans des techniques de recyclage et ce, sans retour sur investissement, c'est-à-dire, à perte. Le but ultime est d'améliorer l'image auprès des consommateurs, ainsi que d'acquérir un avantage concurrentiel. À l'opposé, les PME perçoivent ces stratégies comme des contraintes financières.

2.6. Augmentation des taxes sur les eaux industrielles usées

Le montant des taxes sur les eaux usées industrielles en Belgique est directement lié à la quantité d'eau rejetée ainsi qu'à sa charge polluante (Cappellin, 2017). Le taux d'Unité de Charge Polluante (UCP), a augmenté ces dernières années. En 2017, l'unité passe de 8,92 euros à 13 euros (Service Public de Wallonie, 2015).

2.7. Croissance des prix par quotas de CO₂ émis

A l'heure actuelle, une tonne de CO₂ coûte 6 euros (permis d'émission). Néanmoins, une révision à la hausse de ce prix est prévue dans un futur proche (De Muelenaere, 2017).

3. Le contexte social

3.1. Le développement durable ancré dans les entreprises belges et européennes

82,5 % des grandes entreprises en Belgique disposent d'une personne responsable de la gestion de l'environnement. Pour les PME, le chiffre s'élève à 24%. Les principales raisons d'investissements sont les suivantes et sont présentées par ordre décroissant. Il s'agit de :

renforcer la réputation de l'entreprise, motiver et fidéliser les talents, construire des relations durables avec les parties prenantes, stimuler l'innovation des services et procédés, respecter les réglementations, réduire les risques possibles, obtenir un avantage concurrentiel et finalement, diminuer les coûts (Service public fédéral Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie, 2016). Par ailleurs, ces auteurs démontrent que l'implication des entreprises en RSE est croissante.

3.2. Acheter local semble une option difficile d'accès pour les industries

Consommer local devient un mode de consommation favorisé en Europe. Ce mouvement est le résultat d'une prise de conscience des distances du transport des matières premières. Les aliments effectuent de nombreux kilomètres avant d'arriver à destination, libérant des particules néfastes pour la nature et les citoyens. La population et les entreprises en Europe sont de plus en plus préoccupées par la provenance de leurs produits, séduites d'acheter du local et ainsi réduire leur empreinte environnementale.

Néanmoins, l'approvisionnement à échelle locale, notamment en sels, reste difficile et coûteux (Garnavault, 2017).

3.3. La tendance des partenariats pour les processus de recyclage

Le nombre de partenariats entre les différentes entreprises en vue de réaliser conjointement un processus de recyclage est croissant (PwC et al., 2016). C'est notamment le cas entre les entreprises *Nexans* et *Suez* ainsi qu'entre *Cristalline*, *Roxpet* et *Nord Pal Plast*.

La symbiose industrielle est donc déjà exploitée dans le secteur des industries chimiques. Néanmoins, les partenariats de transport des déchets ainsi que les échanges des résidus chimiques sont inexistants. Malheureusement, les entreprises hésitent souvent à créer de nouvelles relations et collaborations. De plus, des échanges de services, tels que l'échange de matériaux recyclés, leur reste difficilement concevables. Malgré le potentiel de l'économie de fonctionnalité et de ses valeurs connues, la collaboration semble appréhendée avec une certaine crainte (SPF et al., 2014). Pourtant, l'entreprise belge *Prayon*, vend déjà une partie de ses déchets (du gypse) à une usine voisine (Garnavault, 2017). Deplus (2017), nous informe qu'il ne s'agit pas de l'unique symbiose industrielle en Belgique. Plusieurs parcs industriels, comme celui de Terte, exploitent déjà les déchets des usines voisines. Ainsi, le secteur industriel semble être plus familiarisé avec la symbiose industrielle que nous l'avons imaginé. Ceci ouvre une fenêtre d'opportunité au projet ROS.

3.4. Les consommateurs accèdent à davantage d'information

Dans un monde où le *big data* est multi-présent, où la récolte de données est facilitée par les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC), où les consommateurs s'informent de plus en plus sur la provenance de leurs produits et où l'éthique joue un rôle stratégique prépondérant, les entreprises face à ces pressions sociales, n'ont d'autre choix que d'investir dans la RSE. Dès lors, elles optent pour une gestion plus durable (SPF et al., 2014).

Dans certains cas, le consommateur n'est pas sensibilisé à l'ensemble du cycle de vie des produits qu'il achète (SPF et al., 2014). Il est en effet plus négligent quant à la provenance des matières premières, dont les sels. Ce défaut de sensibilisation provient d'un manque d'information concernant leur composition. En réaction, la norme européenne REACH, impose aux industriels de rendre les substances de leurs produits accessibles, par leur publication (Toumi, 2012).

3.5. Diminution de la quantité de déchets en Europe

La désindustrialisation de l'Europe ainsi que sa transition vers une offre de service plutôt que de produit ne cesse d'augmenter depuis 1970. Cette baisse du secteur industriel et donc, de ses effluents industriels, réduit drastiquement le nombre de déchets à recycler. Le secteur du recyclage en Europe est donc mis en danger. Parallèlement, l'Europe pourrait subir le même sort que de nombreuses industries : la délocalisation. L'Europe a alors un rôle clé à jouer pour garantir le recyclage des ressources à échelle locale (FEDEREC, 2015).

3.6. Diminution du volume des eaux usées industrielles

Le volume des eaux usées industrielles en Belgique varie selon le type des secteurs. Ceux de la production : d'électricité, alimentaire, minéral non métallique (hors ciment et chaux), d'extraction, des papiers et de l'imprimerie, du bois et, pour finir, industriel ont un volume d'eau constant ou en augmentation. Dans le cas de la chimie, le volume est resté relativement stable (100 millions de mètres cubes en 2002 et 98,75 millions en 2012).

Contrairement aux secteurs, les secteurs de la métallurgie, de la gestion des déchets textiles ont vu le total de leurs eaux usées industrielle diminuer. La plupart ont réduit leurs déversements de moitié.

Grâce à ces derniers, le volume total des eaux usées industrielles a diminué de 13%. Cette baisse est surtout due à l'arrêt de l'activité métallurgique (Service public de Wallonie, 2015).

4. Le contexte technologique

4.1. L'analyse du cycle de vie (ACV), un allié dans la gestion de l'environnement

L'analyse du Cycle de Vie est une méthode donnant une vision générale et chiffrée de l'impact d'un déchet, d'une réglementation ou d'un produit sur l'environnement (Veolia, 2007). Cette méthode peut être utilisée pour sensibiliser les personnes aux impacts négatifs engendrés par les eaux usées industrielles.

4.2. Le transport facilité par les TICS

Le développement croissant de la logistique augmente la facilité du transport. En effet, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) sont de plus en plus performantes et rapides, elles jouent un rôle facilitateur pour la logistique, diminuant ainsi les coûts du transport (Strale, 2007). Cette réduction des coûts renforce la tentation d'importer des sels bon marché de Russie ou de Chine.

4.3. Technologies mobiles

Les gros acteurs du marché du traitement et du recyclage des eaux usées proposent aujourd'hui des solutions mobiles pour traiter l'eau. L'innovation concerne la mobilité et la simplicité de ces systèmes (Suez, 2016).

4.4. Membrane résistante aux acides

En observant le marché du traitement et du recyclage des eaux usées industrielles, nous avons remarqué que les technologies membranaires étaient moins présentes que les autres moyens de traitement des sels dans les effluents industriels existants. Elles bénéficient pourtant d'un intérêt scientifique depuis plus de quarante années, et leur efficacité est prouvée par certains plans pilotes. La raison poussant les industriels à ne pas encore considérer ces technologies comme alternative fiable, est ses inconvénients (Yang, Fane, & Wang, 2015), qui seront traités dans le chapitre 8. Parmi ceux-ci, il y a notamment une crainte que la membrane se désintègre petit à petit, à cause de l'acidité des effluents traités. Depuis peu, il existe des membranes capables de résister à ce type de contrainte (Geysen, 2017).

4.5. Digitalisation et économie collaborative au service de la valorisation des effluents

La digitalisation apparaît comme une aubaine pour le développement de solutions créatives, performantes et complémentaires aux technologies de traitement des déchets. *Suez Environnement* a déjà créé un partenariat avec un acteur du secteur digital, permettant une optimisation du management des déchets (Suez, 2017).

Soldating a également tenté d'uberiser les déchets en France. Il s'agit de mettre en relation les personnes possédant des "déchets" et les personnes détenant les moyens de les valoriser. Par ailleurs, des plateformes peuvent être facilement créées, permettant l'assistance et l'amélioration des services de transport des matières premières secondaires. De tels services ne sont pas encore présents en Belgique.

5. Le contexte écologique

"Les règlements en matière de rejet d'eaux industrielles usées (nature, normes,...) sont sévères et obligent les industriels à traiter leurs effluents" (Crini et Badot, 2007, p.18).

En effet, ces auteurs précisent que les normes européennes sont de plus en plus draconiennes. Les directives 2455/2001/CE et 2000/60/CE stipulent que d'ici 2020, on parlera de "rejet zéro" dans les eaux usées. Selon Deplus (2017), il est néanmoins bon de noter qu'un fossé existe entre les législations (européennes et belges) et leur réelle application par les industriels.

Toumi (2012), mentionne la directive européenne sur les produits chimiques "REACH" (*Registration, Evaluation, Authorisation, et Restriction* des produits chimiques). Entrée en vigueur en 2007, elle s'adresse à l'ensemble des acteurs de la chaîne d'approvisionnement et a pour objectif d'améliorer la connaissance des dangers des substances chimiques. *"Dorénavant, la charge de la preuve de l'innocuité des substances mises sur le marché européen revient aux industriels"* (Toumi, 2012, p.119).

5.1. S'engager volontairement

La famille des ISO 14000 est un ensemble de normes internationales pour le management environnemental. ISO est l'Organisation internationale de normalisation. Elle est composée de 160 instituts nationaux de normalisation dans des grands et petits pays (ISO, 2010). Il existe 18 000 normes ISO. Ces outils sont mis à disposition des entreprises en vue de donner une contribution positive en termes de qualité, écologie, économie, sûreté, fiabilité, efficacité,

efficience et conformité. Il s'agit d'un outil de diffusion de pratiques de management en conformité ainsi que de progrès technologiques. En effet, ces normes aident les organisations à adopter des approches proactives en termes de gestion environnementale et, ainsi, à améliorer leur image. La reconnaissance d'un comportement responsable est octroyée via ces certificats (ISO, 2010).

Les normes de qualité industrielle sont les normes : ISO 9001, ISO 14000, ISO 18001, ISO 50001, ISO 17025, ISO 132485, Mase, VCA, OHSAS. En ce qui concerne la valorisation et le recyclage des eaux usées industrielles, la norme technique, économique, environnementale et sociétale est la norme ISO/TC 282 (ISO, 2017).

5.2. Normes sur le transport des matières premières

Comme déjà illustré plus haut, le transport des matières premières a un impact négatif sur l'environnement. Non seulement, il consomme une quantité d'énergie importante, plus précisément 25% de l'énergie totale en Europe. Mais il cause également de la pollution sonore et atmosphérique, libérant des particules cancérogènes pour l'homme. De plus, la combustion de charbon et de pétrole libère des gaz tels que le SO_4 et NO_3 , acidifiant l'environnement (Strale, 2007).

La tarification routière est en hausse et continuera à augmenter d'ici les prochaines 20 années (Strale, 2007). Selon l'ADME, 80 % des bruits proviennent des transports. Des normes ont donc été établies pour diminuer l'importation de matières premières. L'Europe a fixé un objectif de réduction d'émission de CO_2 des transports de 60 % pour 2050.

6. Le contexte législatif

6.1. La protection du travail

Les normes concernant l'hygiène, la sécurité, la qualité et l'environnement du secteur industriel sont inévitables lors de la création d'une entreprise. Les certifications HSQE et normes ISO assurent le respect et l'application de ces normes, assurent ainsi un environnement de travail sain et sécurisant (ISO, 2010).

7. Tableau récapitulatif de l'analyse Pestel

Nous avons classé les facteurs Pestel dans le **Tableau 1** ci-dessous, selon leurs impacts pour le projet ROS. Certains représentent des menaces, d'autres des opportunités. Un poids reflétant leur degré d'importance sur le projet ROS leur est également octroyé.

Tableau 1 Récapitulatif de l'analyse Pestel (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

	Facteurs	Menace	Opportunité	Poids (1 à 10) 1 : Effet minimum 10 : Effet maximum
P	Environnement favorable à l'entrepreneuriat		X	5
	Polluer c'est payer		X	8
	Taxes sur les eaux usées industrielles		X	10
	Taxes existantes sur les sels présents dans les eaux usées		X	10
	Aides à l'innovation		X	6
	Commerce extérieur		X	1
E	Volatilité de prix des matières premières		X	8
	Potentiel de l'économie circulaire		X	8
	Potentiel de l'économie de fonctionnalité		X	8
	Volatilité des taux d'intérêt	X		3
	Dépenses octroyées aux stratégies environnementales par les entreprises		X	9
	Augmentation de l'UCP		X	7
	Hausse des taxes sur le CO2		X	6
S	Effets psychologiques		X	2
	Développement durable ancré au sein des entreprises		X	9
	Pas de sels locaux en Belgique		X	7
	Tendance de partenariats faibles	X		7
	Accès à de l'information		X	5
	Réduction du volume d'effluents industriels en Belgique	X		7
T	Analyse du cycle de vie		X	6
	Transport facilité par TICS	X		7
	Technologie mobile		X	5
	Membrane résistante aux acides		X	9

	Facteurs	Menace	Opportunité	Poids (1 à 10) 1 : Effet minimum 10 : Effet maximum
	Digitalisation et économie collaborative		X	9
E	Normes environnementales		X	10
	Normes ISO		X	7
	Normes transport		X	8

8. Scénarii

Construire des scénarios est nécessaire pour garder l'esprit du manager ouvert à tout imprévu. Ceux-ci sont basés sur les différents futurs envisageables des variables dont l'évolution future est la plus incertaine (Johnson et al., 2014). Cette technique permet d'éviter une vision unique et restrictive de l'évolution de l'environnement.

Au vu de leur degré d'incertitude élevé en termes d'évolution et de leur impact conséquent, deux variables ont été sélectionnées. Celles-ci sont : le régime des taxes sur les sels des eaux usées industrielles et le développement durable ancré dans les stratégies d'entreprises. Selon Johnson et al., (2014), pour empêcher les dirigeants de se focaliser sur un scénario similaire à la situation actuelle, il faut éviter d'émettre trois possibilités de scénarios. Sur base de l'évolution possible de ces facteurs, nous avons donc décliné le futur en quatre scénarios dans le **Tableau 2** :

Tableau 2 Scénarios (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

Déclinaisons des variables choisies	Les entreprises intègrent le développement durable au coeur de leur stratégie théoriquement et pratiquement	Les entreprises appliquent le <i>greenwashing</i> , zéro application réelle pour entretenir l'environnement
Un régime de taxes favorisant le déversement des eaux usées industrielles dans la nature	Scénario 1 Les entreprises et clients sont conscients de leur empreinte environnementale	Scénario 2 100% des eaux usées industrielles sont déversées dans la nature
Zéro tolérance en ce qui concerne le déversement de toutes eaux usées industrielles	Scénario 3 Le recyclage des eaux usées est au centre de la stratégie d'entreprise en matière de gestion des déchets	Scénario 4 Les entreprises élaborent des stratégies pour fausser les résultats

Scénario 1 : Les entreprises et les clients sont conscients de leur empreinte environnementale

Les taxes sur les eaux usées industrielles sont trop compliquées à gérer et ne reflètent pas les impacts négatifs sur la planète. Par manque de précisions de la part de l'Union européenne, de systèmes efficaces et d'une redéfinition du concept "*du déchet*" à proprement parler, le gouvernement belge décide de ne plus dépenser de temps, d'énergie et d'argent dans cette politique. En contrepartie, les organisations gouvernementales investissent dans des campagnes de sensibilisation du consommateur final. Il s'agit en effet de se concentrer sur les impacts d'une industrie grâce au principe du cycle de vie. Cette initiative permet de conscientiser la population à propos de tous les aspects de la production et de la consommation, même ceux invisibles pour l'œil du consommateur, comme le rejet des eaux usées dans la nature. Cette prise de conscience pousse les entreprises à se recentrer sur un modèle plus durable et à intégrer l'environnement comme partie prenante du projet de A à Z. Dans cette optique, l'entraide entre organisations non-concurrentes devient un moteur d'innovation et d'efficacité. Grâce à ces partenariats, les entreprises réduisent considérablement la quantité des eaux usées industrielles.

Scénario 2 : 100% des eaux usées industrielles sont déversées dans la nature

Les industries principales déversant des sels dans les eaux usées industrielles sont les industries pharmaceutique et chimique. En Belgique, ces deux secteurs sont extrêmement développés et

ont un certain pouvoir de pression sur le gouvernement. Les plus gros acteurs tels que *XxonMobile*, *Petr&chim*, *Total Petrochem* et *Total Belgique*, guidés par un esprit à notre sens capitaliste, ont forcé le gouvernement à supprimer les taxes sur les eaux usées industrielles. Les ressources produites par ces entreprises sont rares, nécessaires et source d'enrichissement pour le pays, il est alors essentiel d'acquiescer pour les garder en Belgique.

L'esprit d'entreprise est devenu de plus en plus individualiste. La baisse du taux d'intérêt, l'accès limité et la hausse du prix des matières premières empêchent une éventuelle collaboration entre les entreprises. L'écologie n'étant pas leur priorité, elles se concentrent sur l'image de marque. Parallèlement, elles mettent en place des stratégies pour acquérir de nouvelles parts de marché. Finalement, l'accès aux ressources devenant limité, une guerre naît dans le monde industriel. Les entreprises n'ont qu'une manière de penser au détriment d'une empreinte carbone réduite : maximiser leur profit.

Le consommateur n'est tout simplement pas conscient du rejet des déchets par les entreprises dans la nature. Il s'intéresse aux types et à la provenance des matières premières. Dès lors, la recherche et le développement des entreprises cherchent à développer des substituts aux matières premières et délaissent la gestion de leurs déchets.

Scénario 3 : La société est centrée sur le recyclage des eaux usées

Les régions belges ont enfin réussi à s'harmoniser et à créer une politique de taxation sur les eaux usées industrielles efficace, compréhensible et inévitable. La formule complète d'Unité de Charge Polluante (UCP) prend enfin compte de chaque type de sels et de tous les éléments susceptibles d'endommager la planète. Il n'est plus possible de revendre ses quotas de CO₂ aux autres entreprises. Par ailleurs, le prix de l'UCP est passé de 13 euros à 50 euros. En réponse à ces normes draconiennes, les entreprises ont, soit quitté la Belgique, soit formé un consortium pour réussir à recycler leurs eaux. L'*uberisation*² du déchet a transformé le marché des matières premières. Tout est recyclé et échangé localement. Les entreprises restant sur le territoire sont devenues bien plus compétitives que les autres.

Scénario 4 : Les entreprises élaborent des stratégies pour fausser leurs résultats

La Belgique a instauré un régime *zéro tolérance* pour les eaux usées industrielles. Malheureusement, celui-ci semble bancal et manque de rigueur. Les entreprises sont capables de manipuler le système lors du relevé d'échantillons d'eaux usées. Comment ? En choisissant

² Uberisation est un nouveau terme désignant un service de connexion de parties prenantes via les TICs.

un moment propice dans la période de production, avec une eau miraculeusement vierge. Le *greenwashing* est au centre de leurs stratégies. Le consommateur n'a aucun pouvoir de vérification et ne remet pas en question les rapports officiels publiés par les entreprises et l'Etat. Le fossé entre ce qui est demandé par l'Union européenne, la Belgique et ce qui est réellement appliqué est énorme. Les chiffres d'affaires des entreprises dans le secteur de la chimie sont les plus élevés de la Belgique. Payer une taxe ou des amendes n'est pas un souci pour ces entreprises. Par ailleurs, cela requiert tout simplement moins de temps que d'investir dans des procédés ou de modifier les processus de production existants.

La question suivante relève de l'impact global de chaque scénario sur les organisations actives dans le secteur de la valorisation et du recyclage des eaux usées industrielles.

Le premier scénario est positif pour les acteurs du secteur. Les consommateurs poussent les entreprises à adopter des systèmes de valorisation de leurs eaux usées industrielles.

Le second scénario est plutôt négatif. Les symbioses industrielles ne sont pas au goût du jour. Néanmoins, l'intérêt porté aux matières premières par les citoyens pourrait pousser les entreprises à les recycler, les créer elles-mêmes et ainsi à devenir indépendantes.

Le troisième scénario est une aubaine pour les entreprises offrant des services de recyclage des déchets. L'environnement est porteur de ce genre de projet.

Le dernier scénario crée un micro-climat négatif. Les entreprises n'ont aucune motivation pour investir dans l'environnement et encore moins pour une stratégie durable.

Sur base des analyses des différents scénarios envisageables, nous recommandons à ROS d'intégrer la sensibilisation des entreprises et des clients finaux aux externalités négatives dégagées par les eaux usées industrielles dans les plans d'action. La stratégie ne peut pas reposer uniquement sur le régime des taxes, l'avenir de celui-ci étant trop incertain.

Chapitre 4 : La concurrence

Une fois les besoins sur le marché analysés, il convient d'identifier la concurrence directe et indirecte des services de recyclage et de valorisation des eaux usées industrielles. Par ailleurs, il s'agit d'analyser les éventuels services de symbiose industrielle en Belgique.

Lors de ces analyses, nous avons dressé une liste des concurrents directs et indirects potentiels. Cette étude permet de connaître et évaluer les diverses méthodes de valorisation des sels présents dans les effluents industriels. Elle permet aussi d'identifier les systèmes de traitement des eaux usées industrielles ainsi que les fournisseurs mondiaux de sels. Elle met enfin en évidence les différents acteurs présents dans le marché belge de la symbiose industrielle.

L'analyse concurrentielle est un moyen d'identifier les divers produits et services présents sur le marché. De plus, elle permet d'évaluer leur coût d'opération, leur prix de vente, leur retour sur investissement, leur notoriété, etc. Ainsi, une analyse concurrentielle est source d'innovation, de différenciation, de *core business*, de stratégie financière, de politique de prix, etc. Ce chapitre du mémoire met en exergue la liste des entreprises concurrentes. La stratégie de positionnement de ROS, constitue ensuite les choix des stratégies de différenciation adoptés.

Les concurrents directs représentent l'ensemble des entreprises proposant des services et/ou produits similaires à ceux de ROS, à savoir les systèmes de recyclage et de valorisation des sels présents dans les eaux usées industrielles. Les concurrents indirects quant à eux, sont l'ensemble des services de traitement des eaux usées industrielles ainsi que les fournisseurs mondiaux de sels, issus de milieux naturels (mines) ou de transformations chimiques. Parmi ces concurrents indirects, on compte également les entreprises proposant des services de symbiose industrielle mais dans d'autres domaines d'activités que le nôtre.

Il est utile de préciser qu'il s'agit d'une analyse sommaire. Seuls certains acteurs, estimés pertinents sur base de leurs services sont repris à titre d'exemple dans cette analyse.

L'analyse concurrentielle se présente comme suit : les concurrents indirects, les concurrents directs, un tableau récapitulatif des services offerts par la concurrence directe, leur positionnement et, pour finir, l'analyse concurrentielle des services de symbiose industrielle complétée par un canevas stratégique.

1. La concurrence indirecte

Les concurrents indirects regroupent des acteurs spécialisés dans le traitement des eaux usées industrielles. Il est bon de noter qu'il ne s'agit en aucun cas de services de valorisation des déchets présents dans les eaux usées industrielles. Parmi ceux-ci, on distingue des stations d'épuration, privées ou publiques ainsi que des entreprises de traitement des eaux usées industrielles. Au-delà de ces acteurs, il y a également les fournisseurs de sels.

1.1. Les services de traitement des eaux usées industrielles

De nombreuses organisations proposent des services de traitement des eaux usées industrielles. Il y a des stations d'épuration, privées ou publiques, ainsi que des entreprises spécialisées dans le recyclage. Selon Deplus (2017), soit les eaux usées passent dans les égouts et rejoignent une station d'épuration à quelques kilomètres de l'endroit où se trouve l'entreprise, soit les entreprises disposent de leur propre station d'épuration. Les deux solutions permettent aux entreprises de traiter leurs eaux usées industrielles. Parallèlement à ces stations d'épuration, il y a également des acteurs privés, des entreprises qui proposent des services de traitement des eaux usées industrielles. Ces techniques sont alors installées chez les entreprises clientes.

1.2. Les fournisseurs de sels

À travers le monde, et plus particulièrement en Chine et en Russie, des fournisseurs proposent des sels à des prix compétitifs. Ces derniers sont prêts à l'utilisation. Les prix varient selon le type de sel. Hors frais d'importation, voici quelques exemples de prix par tonne (Alibaba global trade, 2017) exprimés dans le [Tableau 3](#) et [Tableau 4](#) :

Tableau 3 Prix par tonne des sels commercialisés dans le monde (Alibaba global trade, 2017)

Sel	Pays producteur	Prix/tonne
Sulfate de sodium (Na_2SO_4) Qualité premium	Chine	US\$ 50-100
	Russie	US\$ 1180-1200
Nitrate de potassium (KNO_3)	Chine	US\$ 440-1100
Nitrate de sodium	Chine	US\$ 100-1000

Sel	Pays producteur	Prix/tonne
(NaNO ₃)		
Nitrate d'ammonium (NH ₄ NO ₃)	Chine	US\$ 240-400
	Ukraine	US\$ 150-240
Chlorure de magnésium (MgCl ₂)	Chine	US\$ 100-300

Tableau 4 Prix par tonne des sels commercialisés en Europe (Compagnie du bicarbonate, 2016)

Sel	Pays fournisseur	Prix
Na ₂ SO ₄	Allemagne (entreprise Cordenka, plus gros producteur en Allemagne)	Inconnu (aucune réponse de l'entreprise)
NaCl	Espagne (Minera de Santa Marta)	Inconnu (aucune réponse de l'entreprise)
Na ₂ CO ₃	France et monde entier (Solvay, puits de saumure)	€ 1996

Si les prix proposés par les fournisseurs de sels étrangers sont très attractifs, le transport des sels étrangers a un coût environnemental important. Le transport consomme en effet énormément d'énergie, plus précisément 25% de l'énergie totale en Europe. Il est possible de classer les différents moyens de transport en fonction de leur consommation d'énergie. Par ordre décroissant en besoin d'énergie, ces moyens de transport sont l'avion, les poids lourds, le transport maritime, le train diesel et finalement, le train électrique (voir

Figure 3). Le classement des moyens de transport en fonction de leur émission de CO₂ est le même que celui en matière de consommation d'énergie (voir

Figure 4).

Les coûts d'importation de sels sont principalement dus au taux de pollution atmosphérique et à l'énergie consommée. La combustion de fossiles (fuel, diesel, kérosène) produit des particules cancérogènes pour l'homme, des gaz à effet de serre ainsi que des gaz acidifiants.

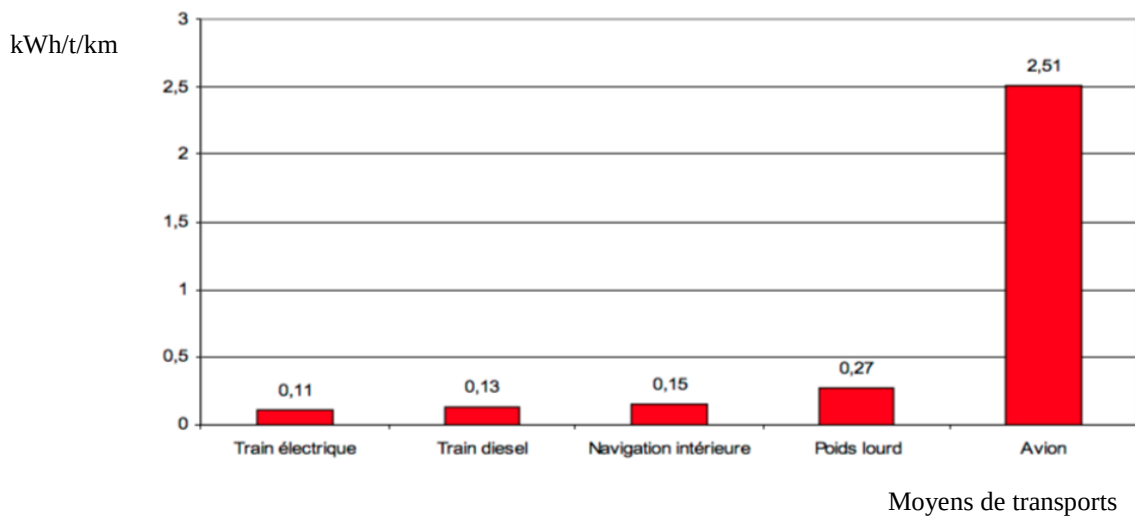


Figure 3 L'efficacité énergétique des différents modes de transport (Strale, 2007)

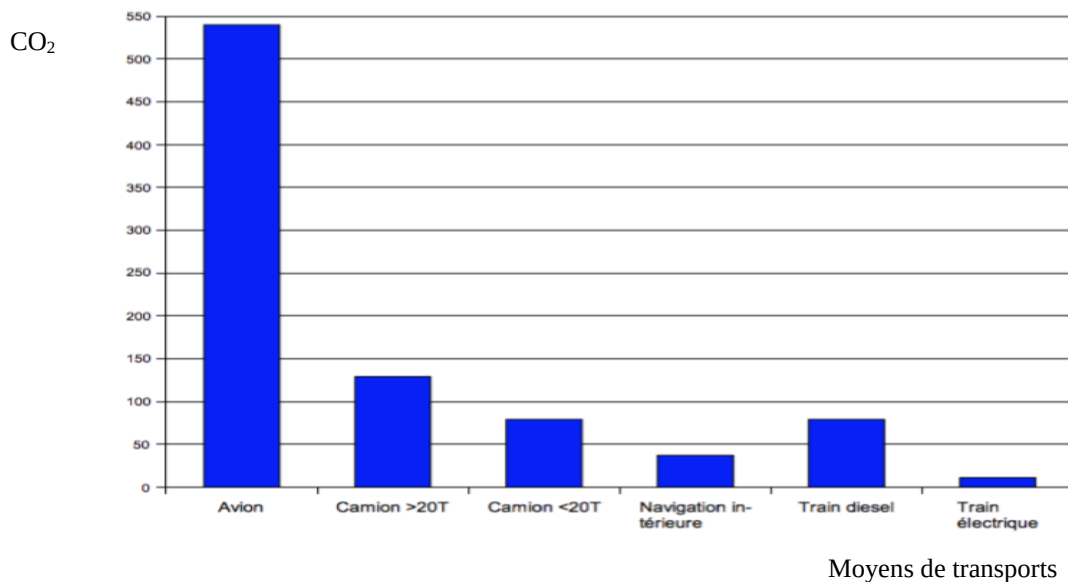


Figure 4 Les émissions de CO₂ des différents modes de transport (Strale, 2007)

2. La concurrence directe

L'ensemble des entreprises reprises ci-dessous proposent des services de valorisation des sels des eaux usées industrielles. Les méthodes employées sont celles d'évaporation, d'évapo-concentration ou d'évapo-cristallisation. C'est notamment en portant à ébullition (100 degrés Celsius) l'eau usée industrielle que les résidus issus du processus de fabrication, notamment,

les sels, sont récupérés. Bien que ces techniques soient efficaces et connues sur le marché, elles nécessitent énormément d'énergie (Luis Alconero, 2016).

2.1. France évaporation

Cette entreprise française est spécialisée dans les technologies thermiques de concentration, d'évaporation, de cristallisation et de stripping. Active et présente dans le monde entier depuis plus de 20 ans, elle conçoit, teste et fabrique des installations complètes, durables et performantes pour des leaders industriels. Elle met ces unités mobiles en location, nécessitant peu ou pas d'investissement de la part des industries. Leur mise en place est facile et requiert une maintenance minimale.

En ce qui concerne les technologies d'évaporation, France évaporation met en place des solutions adaptées à de nombreux secteurs industriels, tels que : les secteurs chimique, pharmaceutique, les mines, l'agro-alimentaire, les huiles et carburants, le traitement de déchets, le traitement de l'eau, textile, etc.

“Les technologies sont adaptables à tout type de liquide, y compris les eaux usées” nous informe un directeur de France évaporation (2017) lors d'un appel téléphonique (son nom ne nous a jamais été communiqué). Ainsi, il est possible de récupérer des déchets présents dans les eaux usées ainsi que des sels. Les technologies d'évaporation réduisent jusqu'à 99% le volume des liquides, notamment des eaux usées. *“Le process d'évaporation apporte des réponses à une quasi-infinité de problématiques industrielles liées à la concentration, réduction de volume et aux traitements d'effluents”* (France évaporation, 2015). Cette entreprise adapte ses services d'évaporation aux besoins (type de liquide), aux problématiques et au budget de ses clients. La capacité de recyclage des matières solides des unités varie entre 10kg/h et 100 t/h. La pression du fonctionnement s'adapte à la nature du produit, au procédé et à la valorisation de l'énergie. Les matériaux de construction utilisés sont sélectionnés selon les produits et les budgets. Six technologies d'évaporation ont été mises au point. Parmi celles-ci, l'entreprise française détermine la plus adaptée aux composants des effluents industriels. Par ailleurs, elle conseille également les meilleurs processus thermiques en vue de diminuer les coûts énergétiques. Pour ce faire, France évaporation prend en compte la localisation, la capacité et les coûts des énergies disponibles de ses clients. Pour finir, la technologie est installée et testée. Les équipes sur place sont également formées à l'utilisation de la technologie d'évaporation. La superficie des unités varie aux alentours de 36 m² au sol et de 7,5 m de hauteur. Les six techniques d'évaporation-concentration sont :

L'évaporation à flot tombant. Cette technologie offre une multitude d'avantages économiques et industriels. Sa capacité de recyclage des matières varie de 10kg/h à 100t/h d'eaux usées. Cette unité est installée verticalement et a une faible empreise sur le sol. Le temps de séjour des effluents peut être réduit en faisant varier le débit du liquide. Les coûts de construction et fonctionnement sont parmi les plus faibles des six technologies proposées. Malgré ses nombreux avantages, l'évaporation à flot tombant n'est pas adaptée aux produits encrassants ou proches de la cristallisation.

L'évaporation à circulation forcée. Cette technologie est dotée d'un échangeur de chaleur, d'une pompe de circulation et d'un séparateur. Contrairement à l'évaporation à flot tombant, elle est peu sensible à l'encrassement. Comme expliqué sur le site internet de *France évaporation* : *“la pompe de circulation assure une vitesse importante dans les tubes d'échanges, permet de réduire la quantité de dépôts sur les parois et évite l'évaporation et donc le risque de sur-concentration”* (France évaporation, 2015). Par ailleurs, les éléments en suspension ou cristaux ne provoquent pas d'obstruction des tubes d'échanges. Finalement, cette deuxième technologie d'évaporation a une empreise sur le sol ainsi qu'un investissement initial plus élevés.

Le flash cooling. Dans ce cas-ci, la technologie est *“adaptée aux liquides visqueux et sensibles, comportant une part importante des matières sèches”* (France évaporation, 2015). Les problèmes d'encrassement sont également évités. En plus de l'évaporation, le *flash cooling* refroidit le produit. Souvent utilisé en complément d'un autre évaporateur, il termine la concentration et réduit la température du produit concentré.

L'Évaporation à multiple effets. Il s'agit d'une combinaison d'évaporateurs (à flot tombant, à circulation forcée ou de *cooling*). Ici, la vapeur passe d'un évaporateur à l'autre et est ainsi recyclée, permettant d'optimiser l'efficacité énergétique des installations.

La Compression Mécanique de Vapeur (CMV/RMV). Cette technologie réduit *“la consommation de vapeur, remplacée par une source d'énergie électrique”* (France évaporation, 2015). Son avantage est un coût d'exploitation réduit par rapport au processus précédent. En effet, la consommation énergétique par tonne évaporée s'élève à 15 kWh. Le fonctionnement est simple, souple et réactif. Ce procédé est également adapté aux diverses contraintes de production. Les processus de CMV/RMV sont également très fiables et leurs coûts de maintenance sont minimes.

La thermo-compression. Les coûts de fonctionnement ne sont pas aussi réduits qu'avec le CMV. Néanmoins, cette dernière technologie d'évaporation comporte une série d'avantages : un investissement faible, un fonctionnement simple, des coûts de maintenance réduits et finalement, une simplicité d'installation. Cette technologie est intéressante pour des unités de petite capacité. La vapeur requise pour le fonctionnement varie de 4 à 20 bars.

Outre les divers procédés d'évaporation adaptés à la récupération des sels des eaux usées industrielles, *France évaporation* propose également divers systèmes de cristallisation des sels. Avec plus de 10 ans d'expérience dans la conception, la fabrication, l'installation et le suivi de cette activité, l'entreprise a acquis de l'expérience sur de nombreux marchés (chimie, pharmaceutique, alimentaire, engrais, traitement de l'eau, etc.). À nouveau, cette entreprise s'adapte aux objectifs industriels, à la qualité souhaitée et au budget de ses clients. Les technologies mises en place sont non seulement appliquées au recyclage des effluents industriels mais également, lors de la production de composés chimiques et pharmaceutiques, au traitement de vinasses et encore à d'autres processus industriels. Avec une efficacité énergétique, des cristaux d'une taille importante et d'une bonne homogénéité (qualité) sont récupérés. *France évaporation* propose cinq technologies de cristallisation. Les techniques sont mises en location. Pour un débit de 50 m³/h d'eau usée industrielle, le prix de location s'élève à 10 millions d'euros sur 10 ans, soit 1 million par an. Les techniques proposées sont les suivantes :

L'Indirect Forced Circulation. Cette première installation est la plus sûre et la plus durable des cinq. Elle nécessite peu de maintenance et offre une bonne qualité de production. Les cristaux sont d'une taille moyenne (D50), supérieure à un cristalliseur. Elle est dotée d'une répartition et forme régulière, répondant aux exigences pharmaceutiques, chimiques, etc. "*Pour une production de Na₂SO₄, les performances de l'installation atteignent un d50 supérieur à 400µm (contre un d50 de 250µm sur d'autres technologies)*" (France évaporation, 2015).

La Circulation forcée. Dans ce cas-ci, la conception est simple et elle réduit les coûts de d'investissement et d'exploitation. Ce cristalliseur est également plus petit en termes de taille que les quatre autres. Ici, la technologie est adaptée aux productions sans contrainte de granulométrie.

Les Cristalliseurs à tube de tirage (DT/ DTB). Il s'agit de (France évaporation, 2015). Dans ce cas-ci, l'énergie fournie est nettement inférieure à celle de la circulation forcée. La taille des cristaux varie aux alentours de 2 mm.

L'Oslo. Celui-ci permet d'obtenir des cristaux de taille plus importante, supérieure à 2 mm. Cette quatrième technologie requiert néanmoins un nettoyage fréquent.

Le réacteur agité. Ce procédé est adapté aux petits débits d'effluents industriels. Il ne fonctionne pas en continu mais en circuit. Il est destiné à des recherches et des tests en laboratoire.

Le troisième type de service offert par *France évaporation* est le *stripping*, c'est-à-dire de la distillation. Il s'agit d'un service complémentaire à l'évaporation. Il permet la séparation d'un solvant d'un produit. Par exemple, l'ammoniaque est un solvant. Il peut être séparé et utilisé lors de la production d'un sel, le sulfate d'ammonium, lui-même employé lors de la fabrication d'engrais (France évaporation, 2015).

Le dernier service offert permet d'augmenter l'efficacité énergétique de ses clients. "Le coût des énergies étant en continuelle augmentation, il est nécessaire d'optimiser les coûts de fonctionnement pour améliorer la rentabilité des unités industrielles et leur viabilité économique sur le long terme. *France évaporation* est un spécialiste de l'optimisation énergétique des installations d'évaporation, cristallisation ou de *stripping*. Nous intervenons sur tout type d'installation, conçue par nos équipes ou non" (France évaporation, 2015).

Outre les différents services proposés, *France évaporation* propose également l'audit de l'installation, l'ingénierie du concept, la conception industrielle, des tests, du *sourcing*, du suivi de la fabrication (maintenance), de la location d'unités mobiles, de l'optimisation énergétique et pour finir, l'installation et le démarrage (France évaporation, 2015).

2.2. TMW

TMW a développé la technologie ECOSTILL. Cette entreprise française commercialise une technologie brevetée pour produire de l'eau pure à partir d'effluents industriels. En réduisant jusqu'à 90% les effluents par m³ d'eau, ECOSTILL permet une réutilisation in situ des eaux industrielles. ECOSTILL est un évapo-concentrateur. Celui-ci fonctionne à basse température, à basse pression atmosphérique et récupère de l'énergie. Son fonctionnement est simple : "Quand une partie de l'eau s'évapore de l'effluent à traiter, les polluants (métaux, matières organiques, etc.) ne s'évaporent pas et par conséquent se concentrent. La vapeur se condense, et c'est ainsi que l'eau pure est produite" (Bertin, Ecostill by TMW, s.d.). Son installation et son entretien sont simples. La technologie est également silencieuse. ECOSTILL s'adresse aux entreprises dont la composition des eaux usées ne permet pas de traitement dans les stations

d'épuration. Elle permet une réduction jusqu'à 70% des coûts de dépollution des eaux. Sa consommation thermique se situe entre 70 et 120 kWh/m³ d'effluents (Bertin, Ecostill by TMW, s.d.). Malgré de nombreuses prises de contact, le prix d'achat pour traiter une quantité industrielle d'eau n'a jamais été communiqué. M. Thierry Satge, responsable du service client nous a uniquement transmis le prix des modèles ECOSTILL 1000 et ECOSTILL 2000. La capacité de traitement du premier est de 1 m³ par jour, le deuxième est capable de traiter 2 m³ par jour. Le prix de chacun d'eux s'élève respectivement à 75.000 hors TVA et 108.000 euros hors TVA.

2.3. Veolia

Le procédé HPD d'évaporation-cristallisation de *Veolia Eau* est une méthode conjuguant des *“gains de productivité et de préservation des ressources naturelles”* (Kerneïs, 2017). Située dans plus de trente pays, notamment en Belgique, *“Veolia accompagne les villes, les industries et les clients privés dans la gestion, l'optimisation et la valorisation de leurs ressources en eau et en énergie”* (Kerneïs, 2017). Le procédé HPD d'évaporation-cristallisation applique cette mission. Ce dernier sépare, récupère et valorise les solides des effluents. *Veolia* compte 800 installations dans trente pays à travers le monde. *“Veolia Eau est aujourd'hui considéré comme un des trois leaders de ces solutions dans le monde. Pour l'opérateur, les prises de commandes sur ces technologies ont représenté 440 millions d'euros en 2012, une année record”* (Kerneïs, 2017). Comme mentionnés par Kerneïs (2017), les objectifs du procédé HPD sont d'éliminer les polluants, de valoriser la matière et de recycler l'eau. Pour les atteindre, le procédé HPD met quatre principes en application : le traitement des effluents pour les rejeter en milieu naturel tout en concentrant et en réduisant au maximum ses déchets, le traitement des effluents pour le recyclage, le traitement et le rejet en milieu naturel des effluents combinés d'une valorisation des concentrats et enfin, le traitement des effluents pour recycler et valoriser le concentrat.

2.4. Degrémont industry

Cette entreprise appartient au groupe *Suez Environnement* et propose des solutions flexibles et temporaires de production d'eau et de traitement des eaux usées depuis plus de 70 ans. En ce sens, qu'il s'agit d'unités mobiles. Ces dernières sont adaptées aux activités industrielles et mises en location, constituant ainsi une solution adaptable, modulable, personnalisable et ne requérant pas d'investissement de départ de la part des clients (Suez Environnement-Degrémont, s.d.). Présente sur les cinq continents, la mission de *Degrémont industry* est d'être

“votre partenaire pour une gestion durable, efficace et économique de l’eau dans l’industrie” (Suez Environnement-Degrémont, s.d.). *Degrémont industry* propose des solutions de remplacement ou en complément de technologies déjà existantes de traitement des eaux usées, assurant la continuité de production d’eau de processus ou le traitement des eaux usées. Par ailleurs, des conseils, des études de faisabilité, des formations du personnel et des services de maintenance sont proposés aux clients. Les technologies proposées par cette entreprise se présentent dans des conteneurs et sont facilement transportables par voie maritime ou route. *Degrémont Industry* conçoit, développe, installe et met en service ses concepts. Ainsi, cette entreprise propose des unités compactes, économiques et faciles d’utilisation. Ces dernières sont livrées et prêtes à être utilisées.

Degrémont a fourni à plus de 5 000 sites industriels. Parmi ceux-ci, 1 800 ont installé des stations de production d’eau de *process*, 2 200 des stations de traitement des effluents industriels et finalement, 200 ont signé des contrats d’exploitation et de service de prestation. Ensemble, ces technologies traitent 50 millions de m³ d’eau par an.

En fonction de ses services, *Degrémont Industry* s’adapte et propose des solutions adaptées. En plus des services de traitement des eaux usées, *Degrémont Industry* permet aux industries de les valoriser. Grâce au procédé Zéro Rejet Liquide (ZLD), les industries peuvent réduire la consommation d’eau et l’empreinte environnementale ainsi que de créer de la valeur avec les effluents industriels.

De l’étude de faisabilité à l’installation, *Degrémont Industry* aide les industries à atteindre un objectif de rejet liquide zéro. Elle propose un système d’évaporation-cristallisation. Par ailleurs, les eaux restantes peuvent être utilisées dans le processus de fabrication grâce à des traitements physico-chimiques et de filtration membranaire au préalable. L’évaporation permet tout d’abord de réduire le volume des effluents. La cristallisation valorise ensuite les sels. Ainsi, la technologie ZLD garantit une combinaison de cinq avantages : une réduction des rejets liquides, une production d’eau de processus de bonne qualité, une diminution de la consommation en eau, une optimisation de la consommation énergétique, le respect des normes et des lois et finalement, la valorisation des sels et minéraux.

2.5. Exemple concret de l’application du procédé HPD

Par manque d’informations concrètes fournies par les entreprises concurrentes citées ci-dessus en matière de projets de valorisation des sels, nous ne pouvons que citer des applications du procédé HPD mis en place par *Veolia* (Kerneis, 2017).

Ce procédé HPD a permis au producteur espagnol d'engrais *Iberpotash*, de récupérer et de valoriser 750.000 tonnes de sels par an, issus de la production de sels pour les routes ainsi que 50.000 tonnes de potasse blanche par an. Ces déchets ont été valorisés et utilisés en tant que matière première lors de la fabrication d'engrais et de fertilisants. Une usine de potasse (filiale de K+S Potash, producteur de fertilisants) située au Canada a également intégré la technologie d'évaporation-cristallisation de *Veolia* et a ainsi augmenté sa production de potasse. Au Brésil, pays où le recyclage de l'eau est crucial en terme d'image, la technologie a été adoptée en vue de produire du sulfate d'ammonium au sein de la pétrochimie *Petrobas*, *Fafen-SE*. En plus de fabriquer du sulfate d'ammonium (ammoniaque) à partir de déchets industriels, la pétrochimie récupère de l'acide sulfurique issu de déchets des usines situées à proximité. Cette combinaison de symbiose industrielle et de valorisation des déchets, permet à l'entreprise de produire 875 tonnes de produits d'engrais par jour. Le procédé HPD est adapté pour les industries du sel et de la soude, du recyclage et du traitement des déchets, du pétrole et du gaz, des mines et des métaux, de la potasse et des fertilisants, pour finir, de l'énergie et du papier.

3. Tableau récapitulatif de la concurrence directe

Lors d'un entretien téléphonique avec Monsieur Peppin (2017), de *Suez Environnement*, nous avons appris qu'en Europe, aucune usine n'a besoin d'une technologie de valorisation des eaux usées pour un débit de 100 m³/h. Le processus de cristallisation proposé par *Degrémont industry* est employé en fin de procédure d'un système complet de traitement des eaux usées industrielles. En général, lors de la dernière étape, il ne reste que très peu d'eau usée. En effet, il s'agit d'un complément des systèmes déjà existants. Dès lors, le débit moyen traité varie entre 30 à 50 m³/h. C'est notamment le cas pour *Degrémont industry* (Peppin, 2017).

Le **Tableau 5** récapitule les différentes technologies développées par chaque entreprise ainsi que leurs avantages, leur consommation et leur coût respectif.

Tableau 5 Récapitulatif de la concurrence (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

Entreprise	Technologies	Avantages	Kwh/tonne ou /m ³ d'eau usée	Coûts: achat ou location/mois	Coûts maintenance
<i>France évaporation</i>	Evaporation concentration	20 ans d'expérience Installations complètes.	+/- 36 kWh/tonne	10 millions d'euros sur 10 ans	Inconnus (aucune

		Adapté à tous types de liquides, y compris les eaux usées. Récupération des sels. Réduction à 99% du volume des effluents		pour une membrane d'une capacité de 30 m ³ (1 million d'euros par an)	réponse obtenue)
	Cristallisation	10 ans d'expérience. Taille cristaux bonne Homogénéité des cristaux	+/- 15 kWh/tonne	10 millions d'euros sur 10 ans pour une membrane d'une capacité de 30 m ³ (1 million d'euros par an)	Inconnus (aucune réponse obtenue)
TMW	ECOSTILL	Eau pure : réutilisation in situ. Réduction de 90% des déchets par m ³ d'eau. Basse température. Récupération énergie. Installation et entretien sont simples. Réduction de 70% des coûts de dépollution des eaux Technologie est dans des conteneurs.	70 – 120 kWh/tonne	ECOSTILL 1000, 1 m ³ de capacité de traitement par jour = 75.000 euros HTVA ECOSTILL 2000, 2 m ³ de capacité de traitement par jour = 108.000 euros HTVA	Inconnus (aucune réponse obtenue)
Veolia Eau	Procédé HPD	Un des trois leaders sur le marché au niveau mondial	Inconnu (aucune réponse obtenue)	Inconnus (aucune réponse obtenue)	Inconnus (aucune réponse obtenue)
Degrémont Industry	ZLD	70 ans d'expérience. Location d'unités mobiles. Facile d'utilisation. Transport facile. Technologie ZLD Zéro décharge de liquide. Réutilisation des eaux usées. L'eau récupérée est de bonne qualité.		Location par mois. 30 à 50 millions d'euros pour 95 m ³ d'eau usée	Inconnus (aucune réponse obtenue)

4. Le positionnement des concurrents

La Figure 5 ci-dessous met en évidence le positionnement des concurrents selon l'énergie requise pour 1 m³ d'eau ainsi que le prix. N'ayant pas obtenu de réponse de la part de *Véolia* et de *Degrémont industry*, ces entreprises ne sont pas mentionnées. Les prix sont ceux des technologies requises pour traiter entre 20m³/h et 30 m³/h. Nous avons envoyé un courriel à *TMW* dans l'optique de traiter 1m³/h et 20 m³/h. Le service client nous a proposé deux technologies : ECOSTILL 1000 et 2000. Nous supposons donc que pour traiter 20 m³ nous devons utiliser 200 unités d'ECOSTILL 2000 pour savoir traiter 480 m³/jour (détails des calculs dans le plan de production, chapitre 11). L'ensemble de ces technologies coûte 26.136.000 euros (200 unités x 108 000 € x 1,21 (TVA)). *France évaporation* quant à elle, évalue ses technologies capables de traiter entre 20 m³/h à 50 m³/h à 10.000.000 euros.

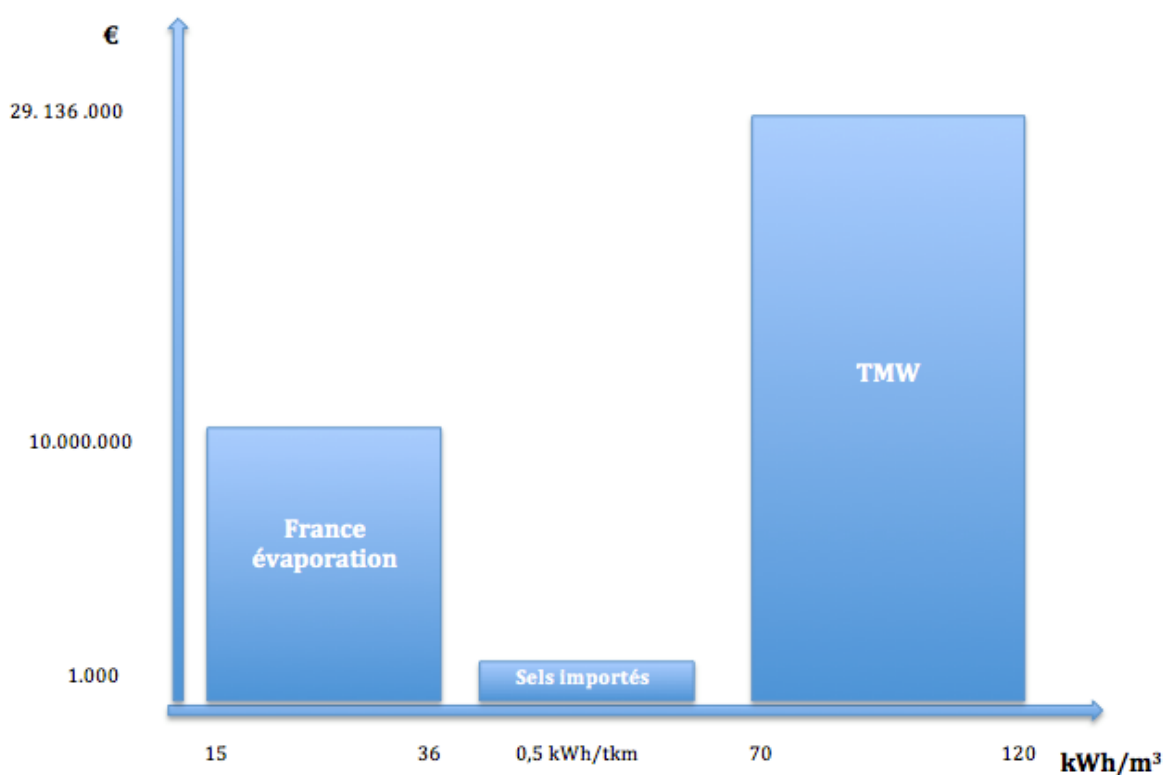


Figure 5 : Positionnement de la concurrence en matière de prix et d'énergie requise

5. La concurrence en matière de symbiose industrielle

À ce jour, aucun service de symbiose industrielle en matière d'échange de sels entre des industries **belges** n'a été identifié. Il en est de même entre pays européens. L'analyse se base

donc sur les acteurs possédant les ressources et la communauté leur permettant de s'étendre à l'étranger, incluant dès lors notre marché cible.

5.1. Suez Environnement

Depuis le 10 janvier 2017, **Suez Environnement a concrétisé un partenariat avec l'entreprise digital Rubicon Global**. Grâce à ce dernier, *Suez Environnement* s'est lancé dans le service de symbiose industrielle via l'*uberisation* du déchet. Ils ont conjointement développé une plateforme permettant de connecter les industries produisant des “*déchets*” avec les industries possédant la capacité de les valoriser. Leur but est donc de faciliter, via le *cloud*, la collecte et le recyclage de déchets. Leurs marchés cibles sont dans un premier temps, les États-Unis d'Amérique ensuite, l'Europe. Leur objectif est cependant différent en Europe où l'entreprise souhaite se focaliser sur les plus petites quantités de déchets qui sont situés à des endroits (géographiques) différents. L'économie circulaire et la gestion durable des déchets est l'essence de leurs stratégies pour le développement de ce nouveau service (Suez, 2017). “*Rubicon Global est le leader mondial des solutions en mode Cloud de gestion et recyclage des déchets. Grâce à sa plateforme technologique exclusive, l'entreprise propose des solutions globales permettant aux entreprises de réduire leurs dépenses opérationnelles et de mettre en place des programmes de recyclage*” (Godard, 2017, p.2). Plus concrètement, *Rubicon* organise des enchères en ligne pour des contrats de gestion des déchets de ses clients. Il ne parle pas de connexion locale, mais souhaite plutôt optimiser le transport des déchets, par une amélioration de la gestion des véhicules, de l'interface client et de l'application mobile. Néanmoins, il n'est jamais précisé si les eaux usées industrielles font partie de leur cible. Bien qu'il s'agisse d'une bonne nouvelle, *Suez environnement* proposera bientôt un service de valorisation des sels et de symbiose industrielle en Europe. Ce partenariat nous semble donc représenter la plus grosse menace potentielle en terme de concurrence au service de symbiose industrielle proposé par *ROS* et nécessite une attention particulière. Néanmoins, comme précisé précédemment, ce partenariat concerne la revente de contrats de gestion des déchets. *ROS* se différencie donc de ce partenariat car il s'engage à prendre toute la gestion du sel en charge (matching de l'offre et de la demande, système de paiement, et transport du sel).

5.2. Soldating

Cette entreprise, active en France est également une plateforme de valorisation des déchets. Heureusement, elle est uniquement centrée sur les matériaux de chantier et de terre.

L'entreprise offre un panel de services via une application mobile. Cinq services sont proposés : la valorisation des terres non polluées, la traçabilité des mouvements, l'échange des matériaux de chantier et enfin, la rationalisation logistique. L'objectif est d'éviter que les terres polluées et non polluées soient traitées de la même manière en vue de diminuer le gaspillage de terres fertiles (Soldating, 2014). Possédant déjà la technologie et les compétences nécessaires, *Soldating* pourrait décider d'étendre sa cible aux marchés des sels.

5.3. L'intercommunale IDEA

Certains projets d'économie industrielle peuvent également être considérés comme des initiateurs de symbiose industrielle et donc, comme des concurrents indirects potentiels. L'Intercommunale IDEA, filiale de l'intercommunale compétente pour l'animation économique auprès des entreprises du territoire, a mis sur pied un projet test en 2012 "*l'éco-zoning de Tertre-Hautrage-Villefort*" (Deplus, 2017). Ce projet concerne 8 entreprises affiliées au secteur chimique. Ce projet a vu le jour et a permis de fonder un écosystème entre les différentes entreprises situées dans ce parc industriel ainsi que de maximiser les ressources (matières et eaux) énergie. Après le succès de Tertre, l'expérience a été réitérée en 2015 à Feluy (Plateforme de Pétrochimie). Aujourd'hui, un troisième projet est en cours pour Seneffe & Management.

5.4. Conclusion de la concurrence en matière de symbiose industrielle

Nous pouvons donc conclure que le concurrent principal en matière de symbiose industrielle est l'entreprise *Rubecon* qui organise des enchères en ligne pour des contrats de gestion des déchets de ses clients. Son partenariat avec *Suez Environnement*, qui a une grande connaissance dans le domaine de la valorisation des sels, renforce cette menace.

6. L'approche Océan Bleu

"*Les Océans Bleus sont de nouveaux espaces de marché où la concurrence est minime* " (Johnson et al., 2014, p.67). Les Océans Bleus sont en opposition aux Océans Rouges, c'est-à-dire, là où l'intensité concurrentielle est vive et les stratégies sont déjà bien définies. Les Océans Bleus évoquent un espace encore vierge où opèrent peu d'acteurs, tandis que l'image des Océans Rouges est associée à l'idée d'une compétition élevée et coûteuse.

"*L'approche Océan Bleu encourage les entrepreneurs et les managers à découvrir ou à créer des espaces de marché encore vierges : il s'agit donc de trouver des espaces stratégiques,*

c'est-à-dire des opportunités de marché insuffisamment exploitées par les concurrents” Johnson et al., 2014, p.67).

Dans le cadre du projet ROS, un espace vierge a été identifié en matière de symbiose industrielle. En effet, les opportunités d'un service de symbiose industrielle en matière de sels recyclés n'ont pas encore été exploitées en Europe. Cet espace vierge est mis en exergue par le canevas stratégique dans la **Figure 6**. Ce canevas permet de comparer les concurrents sur base de leurs services et de leur capacité à répondre aux besoins du marché. On remarque qu'aucun de nos concurrents directs n'offre en même temps que ses services actuels de valorisation des eaux usées, un service de symbiose industrielle en Belgique, ni même au Benelux. *Suez Environnement* avec l'entreprise *Rubicon* n'est pas encore rentré sur le marché européen, et de plus, n'a pas le même but que le service de symbiose industrielle ROS.

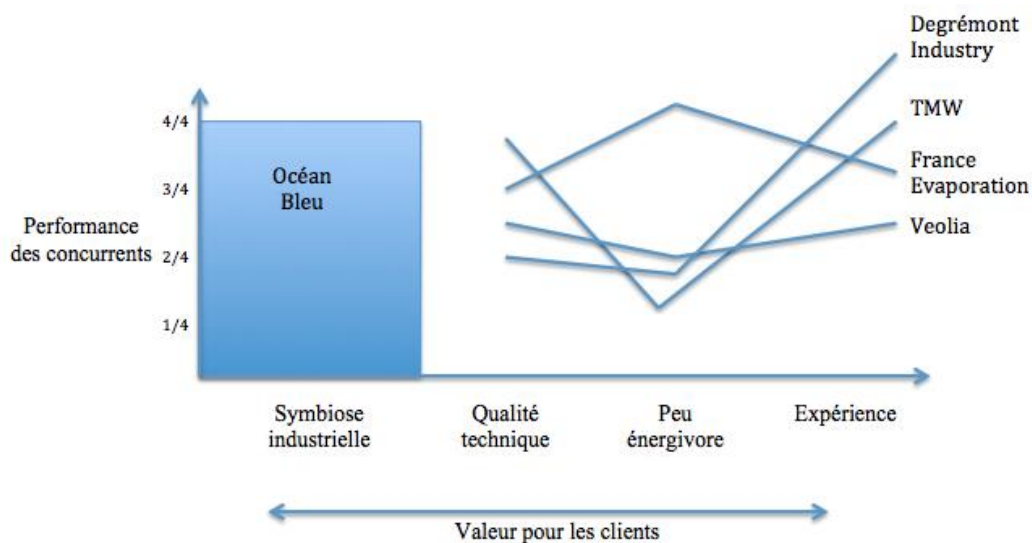


Figure 6 Canevas stratégique (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

Chapitre 5 : Analyse externe

1. Porter

À la suite de l'analyse macroéconomique du projet, le modèle des cinq forces+1 de Porter permet d'évaluer l'attractivité de l'industrie du recyclage et de la valorisation des déchets issus des eaux usées industrielles en Belgique. Comme Johnson et al. (2014) le mentionnent, ce modèle nous permet de comprendre l'intensité concurrentielle ainsi que la marge de manœuvre possible pour le projet ROS. Les priorités stratégiques de ce dernier sont également éclairées.

Porter nous permet d'envisager la concurrence au sens large, de par l'analyse des entrants potentiels, substituts, acheteurs, fournisseurs, rivalités internes et finalement, pouvoirs publics. En effet, ces acteurs ont la capacité de diminuer la liberté stratégique de l'entreprise et leur profit.

La méthode utilisée est la suivante : tout d'abord le pouvoir de chaque concurrent potentiel est analysé, ensuite un classement en fonction du degré de leur impact sur notre projet est effectué, et finalement, l'intensité concurrentielle globale à travers l'hexagone sectoriel est mise en exergue. Plus l'intensité de ces six forces est élevée, moins l'industrie est attractive.

1.1. La menace des entrants potentiels

L'intensité de la menace des entrants potentiels dépend de quatre types de barrières : financières, commerciales, ressources et compétences (Johnson et al., 2014). Elles déterminent la facilité d'accès à une industrie. Plus elles sont élevées, plus l'accès y devient restreint, rendant ainsi l'intensité concurrentielle faible pour les acteurs déjà existants.

ROS étant un nouvel entrant sur le marché, nous avons pu identifier les barrières à l'entrée les plus dissuasives et efficaces : l'expérience, la réputation, l'accès aux réseaux de distribution et la technologie.

Les acteurs actuellement présents sur le marché ont une réputation et une image extrêmement puissantes (tels que *Veolia*, *Suez environnement* et *France évaporation*). La notoriété semble essentielle pour garantir la qualité du service.

Les entreprises principales présentes sur le marché ont au minimum 30 ans d'expérience. Elles entretiennent des relations de longue haleine avec leurs fournisseurs ainsi que des liens solides

avec leurs clients. Leur offre étendue de produits et de produits complémentaires renforce les barrières de l'industrie.

L'accès au réseau de distribution est ardu, la distribution s'effectue directement dans les grandes entreprises. Atteindre la bonne personne responsable des décisions en matière d'investissement est difficile. Nous en avons nous-mêmes fait l'expérience.

Pour entrer dans ce domaine d'activité, il convient de maîtriser les technologies de traitement des eaux déjà existantes. Chaque nouveau service ou innovation doit pouvoir s'adapter au processus déjà mis en place au sein de l'entreprise client.

D'une manière générale, les entrants potentiels sont des chercheurs. Le IMT en Italie constitue la plus grosse menace. C'est sous la direction de M. Enrico Drioli que des recherches similaires aux nôtres sont actuellement en cours. Bien que cela représente une menace, il est important de préciser que les scientifiques ne cherchent que rarement à commercialiser leur travail, leurs intérêts étant plus axés sur la découverte.

En conclusion les barrières de l'industrie sont fortes et donc, la menace de nouveaux entrants est faible.

1.2. L'intensité concurrentielle

Johnson et al. (2014) expliquent qu'une concurrence naît lorsque des services similaires sont offerts sur un marché. La force concurrentielle dépend de divers facteurs. Dans notre cas, ils sont mis en évidence dans le chapitre précédent, consacré à la concurrence. Lors d'une analyse d'intensité concurrentielle, il est également intéressant de tenir compte des barrières à la sortie.

En plus d'être un des leaders mondiaux, notamment en Belgique, *Degrémont industry* développe des partenariats avec des organisations gouvernementales telles que : la Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux (CILE).

À côté de *Degrémont industry*, les entreprises *Veolia*, *TMW* et depuis peu, *France évaporation* se disputent des parts de marché belges. Avec un projet de traitement de digestats de 180.000 tonnes par an pour l'entreprise *Op De Beeck*, *France évaporation* marque rapidement son territoire (France évaporation, 2016). Son entrée rend la compétition plus féroce. Les parts de marché deviennent alors précieuses.

Le recyclage des eaux usées industrielles est un secteur en plein essor. Comme mentionné dans la Pestel, la législation, la politique et les mentalités poussent les entreprises à une tendance "zéro déchets".

Suez Environnement (2012) nous informe que “ *ce marché enregistre, aux États-Unis comme en Europe, une croissance d’environ 25% par an* ”. Le secteur n’est donc pas encore saturé et les parts de marché vont grandir.

Les concurrents présents sur le marché sont similaires, proposant des technologies et des services identiques. Pourtant, les coûts de transfert restent élevés. Cela s’explique par la maintenance des technologies et l’adaptation nécessaire (débit et composants). Heureusement, l’économie de fonctionnalité est un moyen de réduire ces coûts. En effet, le client n’investit plus lui-même dans la technologie mais reçoit, en contrepartie d’un prix, une fonctionnalité : le recyclage de ses eaux. Comme remarqué lors de l’analyse de la concurrence, la majorité des prix sur le marché sont des prix premium, le critère prix n’étant pas la priorité numéro un aux yeux des clients.

Un acteur non-rentable sur le marché a des difficultés d’en sortir. Il n’est pas aisé de convertir les ressources et les compétences acquises durant ses années d’activité. Toutes les recherches, les matériaux, les formations et les services développés sont alors perdus. Dans le cas des entreprises louant des technologies à leurs clients, la sortie devient encore plus compliquée. Les biens détenus sont souvent très spécifiques et difficilement convertibles. Néanmoins, lorsque *Suez Environnement* voit sa rentabilité baisser dans le secteur de l’eau et du traitement des déchets, l’entreprise réagit et se diversifie dans le marché de l’énergie (Chaussade, 2014). Les barrières de sortie sont mitigées. Nous pouvons donc affirmer qu’il y a une certaine stabilité du secteur.

1.3. Le pouvoir de négociation des fournisseurs

Johnson et al. (2014) définissent les fournisseurs comme étant les organismes approvisionnant les entreprises en matériel et en ressources pour la création et le maintien de leur activité. Les ressources nécessaires au service ROS sont décrites dans le chapitre 11 : Plan de production. Nous avons principalement besoin de membranes, tuyaux et connecteurs de membranes, systèmes de filtration ainsi que de systèmes de concentration.

Sachant que le matériel principal du procédé ROS est la membrane et qu’à ce jour, un seul fournisseur (*Liqui-Cel*, filiale de 3M) a été validé, c’est un haut pouvoir de négociation qu’il

détient. Deux autres fournisseurs potentiels ont été identifiés et étudiés en profondeur : *MICRODYN-NADIR* et *Cellab* (filiale d'Alpha Membrane Technologies). À cause de l'absence de réaction de leur part à nos e-mails, nous ne pouvons affirmer avec certitude que leurs membranes sont adaptées au procédé *ROS*.

Ce nombre restreint de fournisseurs leur donne un atout incroyable : la liberté de prix. La maison mère *3M* possède une image de marque puissante en Europe, garantissant de la fiabilité auprès des consommateurs. *3M* (2017), met en évidence que *Liqui-Cel* est le fournisseur de référence pour le secteur de la santé et de la filtration industrielle. *MICRODYN-NADIR* et *Cellab* se disent eux spécialisés dans les membranes.

Cellab est basée en Allemagne. Contrairement à *Liqui-Cel*, cette entreprise se concentre sur des membranes d'une haute qualité à petite échelle pour des études en laboratoire. Un de ses atouts est le “*made in Germany*” (*Cellab*, 2017). Leur statut en tant que multinationale renforce également leur pouvoir de négociation.

MICRODYN-NADIR possède plus de 50 ans d'expérience dans les membranes et est également basé en Allemagne. Cette entreprise représente une des plus grosses menaces car elle fournit déjà des solutions pour le traitement des eaux. Sa vision semble se rapprocher de la nôtre : “*Challenge us with your sophisticated separation process! It is our passion to provide you with the optimum solution for your challenge. Membrane Bioreactors (MBR), hollow fiber modules or spiral wound modules – we find your perfect solution*” (*MICRODYN-NADIR*, 2017, para.3). Ils sont présents dans de nombreux secteurs, y compris ceux que nous visons. Par contre, ils ne semblent pas proposer de contrat de maintenance et de symbiose industrielle.

Leur gamme de modules membranaires comporte plusieurs matériaux de base, dont le polypropylène (également un composant de la membrane utilisée en laboratoire). Les autres matériaux utilisés sont les suivants : le polyéthylène, le polyacrylonitrile, le polystyrène, le polyvinylidène fluoré, ainsi que la cellulose régénérée (*Microdyn Nadir*, s.d.). Le risque d'intégration vers l'aval est mitigé. En effet, *3M* possédant les ressources financières et les compétences en chimie et en ingénierie, peut facilement fournir un service similaire au nôtre. Cette société est présente dans 30 pays d'Europe, dont la Belgique. Ils possèdent 36 laboratoires dans le monde et pourraient à tout moment, commencer des recherches sur des nouvelles applications pour leurs membranes (*3M*, 2017). *3M* se dit être spécialisé dans la production et non dans le service. Il nous paraît donc peu probable qu'elle se convertisse en fournisseur de service. Par ailleurs, *Liqui-cel* ne possède pas de bureau ou d'affiliation en Belgique, uniquement dans les pays voisins.

Concernant *Cellab*, le risque d'intégration est faible étant donné que l'entreprise se focalise sur la production à petite échelle. Précisons qu'elle propose également des services tels que des “*contrats de développement*” (dans le but de construire des solutions sur-mesure), un service de design, de la protection intellectuelle, des conseils, et enfin, des aides pour la confection de manufactures (Cellab, 2017).

MICRODYN-NADIR, comme expliqué précédemment, offre un service similaire au nôtre. En considérant son expérience sur le marché et sa connaissance, nous pouvons considérer cette organisation comme un danger et pointer le risque d'intégration vers l'aval. Cette entreprise a développé un réseau bien fourni et possède donc certaines ressources pour proposer un service de symbiose industrielle.

American Membrane Corporation est un fournisseur de contacteurs membranaires à fibre creuse également utilisés pour des applications de dégazage (comme *Liqui-Cel*). La composition diffère de la membrane *Liqui-Cel* que l'on emploie en laboratoire : elle n'est pas composée de polypropylène (American Membrane corporation, 2017). *American Membrane Corporation* propose 4 sortes de membranes différentes : en polyethersulfone, en nitrocellulose, en polytétrafluoroéthylène et également, en difluoropolyméthacrylate (American Membrane corporation, 2017).

Pour tous les fournisseurs de membranes cités ci-dessus (excepté *Liqui-Cel*), il faudrait donc réaliser des tests pour estimer l'efficacité de leurs membranes et la comparer à celle utilisée en laboratoire. Comme expliqué précédemment, nous n'avons pas eu accès à toutes les informations permettant une bonne comparaison entre les contacteurs fournis par ces fournisseurs, et ceux de *Liqui-Cel*.

Les fournisseurs de tuyaux, de récipients et de pompes possèdent un pouvoir de négociation très faible. Nous sommes en contact avec une PME. Celle-ci ne possède donc pas beaucoup de ressources. Le risque d'intégration est quasi nul. En outre, le matériel fourni n'est pas le cœur de notre projet et reste générique. Nous pouvons facilement le trouver chez un autre fournisseur lambda.

Concernant les systèmes de filtration, les fournisseurs ont un faible pouvoir de négociation car ils sont nombreux sur le marché. Nous avons répertorié entre autres : *Lenntech*, *Tia*, *merck group*, *Siva-unit*, *Microdyn Nadir* également, *Kerafol* et *VLS technologies*.

Les entreprises proposant des systèmes de concentration ont un pouvoir d'achat mitigé (voir chapitre 4 : Analyse de la concurrence).

1.4. Le pouvoir de négociation des acheteurs

Les entreprises clientes souhaitant bénéficier d'un système de recyclage des eaux usées industrielles ont un pouvoir de négociation faible. Les clients sont dispersés, 557 acheteurs potentiels rien que dans le secteur de l'industrie chimique (PWC et al., 2016).

Les solutions sur le marché sont concentrées. La Belgique compte seulement quatre entreprises proposant ce type de service : *Degrémont industry*, *Véolia*, *TMW* et *France évaporation*. En sachant que *TMW* ne parle pas de recyclage des sels présents dans les eaux usées à proprement parler, mais plutôt de système de concentration de solution. De plus, comme stipulé précédemment, les coûts de transfert sont élevés. La technologie n'est pas standard, elle doit être adaptée à chaque entreprise.

La menace d'intégration vers l'amont est faible. L'activité ne touche pas le *core business* de l'acheteur. Le client type n'a généralement pas les connaissances nécessaires pour mener à bien le projet. Cette activité n'est pas la plus génératrice de profit pour l'entreprise client, elle est surtout nécessaire à son image.

La combinaison de sels importés de Russie et de Chine et un traitement des eaux usées par une station d'épuration reste une source de substitution à notre service. Le prix du sel exporté est incroyablement compétitif. La comparaison avec le sel obtenu localement doit tenir compte de l'empreinte écologique.

1.5. La menace des substituts

Les fournisseurs de sels et les stations d'épuration constituent une menace importante pour le secteur du recyclage des eaux usées industrielles. Ces deux activités combinées répondent aux mêmes besoins que ceux répondus par *ROS*. La menace ne concerne pas seulement les prix mais également la facilité des services. Rejeter ses eaux usées industrielles dans une station d'épuration publique est une option simple, de par un réseau d'égouts bien développé (Deplus, 2017). Le service de traitement des eaux est effectivement accessible. La Belgique compte plus de 70 stations d'épuration.

Concernant les sels importés, deux aspects doivent être pris en considération : la qualité et le prix. En ce qui concerne la qualité, elle dépendra du type de sel et de sa provenance : les sels de Russie sont généralement de plus haute qualité que ceux de Chine (Alibaba, 2017). En ce qui concerne les prix, Germeau (2017) précise que les sels importés sont généralement moins chers que les locaux.

En conclusion, nous avons remarqué que ni les fournisseurs de sels, ni les stations d'épuration ne proposent un procédé de recyclage combiné à un service de symbiose industrielle. Au-delà de ça, l'achat de sels étrangers aura un impact négatif pour l'image des acheteurs, à cause de leur empreinte carbone plus élevée. Parallèlement, libérer les eaux usées industrielles vers une station d'épuration publique (à plusieurs km) comporte un risque de fuite de particules chimiques et donc, de pollution de l'environnement (Deplus, 2017).

1.6. Le rôle des pouvoirs publics

Les pouvoirs publics, les régulations et les législations ont un impact considérable sur le projet d'entreprise ROS.

Les normes (européennes et nationales) relatives à une économie circulaire et à une gestion durable de l'environnement, identifiées dans l'analyse Pestel, sont en notre faveur.

Dans certains cas, l'État peut être considéré comme client potentiel. À Tertre (dans la région de Mons), l'État belge a financé une station d'épuration pour les entreprises du zoning industriel. Deplus (2017) nous informe qu'un nombre croissant de subsides pour des projets de symbiose industrielle voit le jour. Notre projet leur semble pertinent. Ils manifestent en effet un intérêt pour l'instauration d'un procédé de recyclage en aval du système déjà existant. Un autre exemple est le cas des entreprises majoritairement détenues par l'État. Lorsque celles-ci libèrent des eaux usées et qu'elles cherchent à instaurer des systèmes de recyclage, l'État est alors l'investisseur. Ainsi, il est considéré comme client potentiel.

À côté de ça, les pouvoirs publics peuvent également être considérés comme des concurrents indirects. En effet, la plupart des stations de traitement des eaux sont publiques. Cependant nous considérons les pouvoirs publics comme des alliés potentiels et non comme une menace.

1.7. Conclusion et Hexagone sectoriel

Pour obtenir une vue complète de l'intensité concurrentielle, nous avons évalué et hiérarchisé chacune des forces à l'aide de l'hexagone sectoriel. Nous leur avons attribué une valeur de 1 à 10. Les acteurs avec les plus hautes valeurs, tels que les fournisseurs, les substituts et les concurrents, sont ceux considérés comme étant les plus menaçants. Dès lors, on estime leur impact sur le profit du secteur comme négatif. Plus la surface **de l'hexagone** représentée dans la **Figure 7**, est petite, plus le secteur est attractif.

Dans notre cas, nous pouvons conclure que le secteur du recyclage des eaux usées industrielles est moyennement attractif. Cette industrie pourrait presque être qualifiée d'oligopole : le nombre de concurrents directs est relativement bas et le pouvoir des acheteurs est considéré comme raisonnable. Néanmoins, une attention particulière est requise au pouvoir des fournisseurs de membranes.

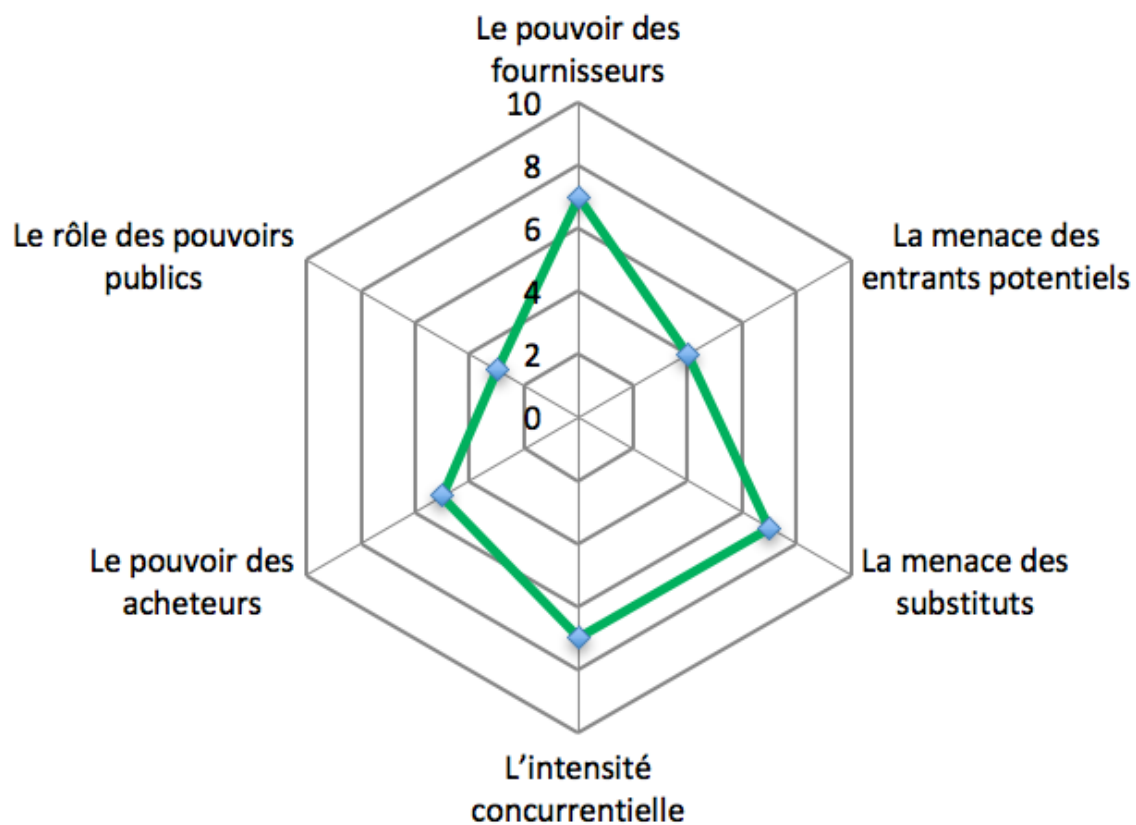


Figure 7 Résumé de l'analyse des 5 forces de Porter (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

Attention ! Cette analyse est à envisager d'un point de vue dynamique. Nous devons donc la mettre à jour régulièrement. Les possibilités de partenariats et d'associations entre différents acteurs ne sont pas prises en compte dans ce modèle. Néanmoins, nous sommes conscientes de l'avantage qu'ils peuvent apporter et en évaluerons les possibilités dans la section partenariats stratégiques (chapitre 10 : Stratégie).

2. Résumé de l'analyse externe

Les menaces et les opportunités identifiées lors du modèle de Porter vont pouvoir être contrecarrées grâce aux Facteurs Clés de Succès (FCS). “*Les FCS sont les éléments stratégiques qu’une organisation doit maîtriser afin de surpasser la concurrence*” (Johnson et al., 2014, p.89). Ils servent également de conclusion à l’analyse externe. Par ailleurs, il s’agit des conditions de création des avantages concurrentiels que nous aborderons lors de l’analyse interne. Pour les concurrents les plus féroces, nous définissons des éléments nécessaires à la survie de notre entreprise.

2.1. Le pouvoir des fournisseurs

Pour faire face à la concentration des fournisseurs, il convient de créer une bonne image de marque. Parallèlement, il est important de : mettre une stratégie de différenciation en place, renforcer la communication auprès des fournisseurs et enfin, construire une relation de partenariat avec ces derniers. Les bénéfices doivent être équivalents pour les deux camps. Avant tout, il convient de mettre en place un partenariat vert inscrit dans l’économie de demain.

2.2. La menace des substituts

Pour contrecarrer la force des substituts, deux techniques sont possibles : une campagne de déstabilisation des sels et une méthode de fidélisation de la clientèle.

La première méthode consiste à faire comprendre au client final (le client de notre cible) l’impact négatif qu’ont les sels sur la planète. Par exemple, des vidéos *buzz* mettent en exergue toutes les externalités négatives à chaque niveau de la production dégagées par ceux-ci. Le but étant donc d’amener le consommateur final à faire pression sur les grandes entreprises pour que ces dernières arrêtent d’importer des sels de Chine.

La deuxième méthode vise à fidéliser les clients, ROS doit offrir un service complet de qualité. Le prix du sel né de la symbiose industrielle doit être équivalent à celui importé. Les bénéfices sur les ventes peuvent également être partagés avec l’entreprise vendeuse de sels.

2.3. L’intensité concurrentielle

Pour se protéger de la concurrence, la protection intellectuelle de la nouvelle application donnée par ROS à la membrane semble être une solution. La combinaison du brevet et du secret d’entreprise est effectivement pertinente.

Maintenir une capacité d'innovation constante, grâce à de R&D (Recherche et Développement) est également primordial pour assurer le meilleur service aux clients et permettre de rester compétitif.

Ensuite, créer une identité propre à l'entreprise et différente que celle des acteurs sur le marché représente un atout incroyable. Cette solution permet de ne pas être en compétition directe.

Finalement, proposer des services complémentaires, tels que la symbiose industrielle est un moyen efficace de renforcer l'offre du service.

3. Conclusion

Les FCS identifiés ci-dessus (dans le **Tableau 6**) sont propres à l'industrie étudiée. Les facteurs externes liés à l'industrie peuvent avoir un impact sur la rentabilité d'une firme. Nous verrons par la suite, dans le chapitre 10 : Stratégie, que les facteurs spécifiques à la firme elle-même peuvent également impacter le profit de celle-ci (Johnson et al. 2014).

Tableau 6 : Résumé des FCS (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

Principales forces de la concurrence	Éléments permettant de les contrecarrer : FCS
Le pouvoir des fournisseurs	– Relation de partenariat gagnant-gagnant
La menace des substituts	– Campagne de déstabilisation – Fidélisation de la clientèle – Amélioration rapport qualité prix
L'intensité concurrentielle	– Protection des ressources – Capacité d'innovation – Service complémentaire – Image différenciée

Chapitre 6 : Le marché cible

Le présent chapitre s'attarde sur la question du marché cible et des clients visés par le procédé ROS. En premier lieu, il convient d'effectuer une segmentation de marché. Ensuite, de se pencher sur le marché que l'on vise. Enfin, il faut identifier des clients potentiels.

1. La segmentation

Grâce aux besoins identifiés et à l'analyse externe effectuée, nous pouvons maintenant définir dans quelle structure de marché ROS va évoluer. Selon Lambien et de Moerloose (2012), la structure identifiée est "*une structure marché*". Celui-ci recouvre le besoin de construire une stratégie durable, de valoriser les eaux usées et de se procurer des sels localement. Elle s'adresse à toutes les usines actives. Cette catégorisation met en avant le caractère substituable des différentes solutions existantes sur le marché et la place centrale de la recherche et du développement dans celui-ci. Une innovation technologique peut faire tout basculer et, remplaçant du jour au lendemain un leader du marché (Lambien et de Moerloose, 2012).

La micro-segmentation permet d'identifier les sous-groupes des usines en activité avec des besoins divergents selon des critères. Nous avons choisi de procéder à une segmentation croisée avec une première découpe descriptive du marché, suivie d'une seconde déterminant les avantages recherchés.

La première segmentation catégorise les usines en fonction de leur secteur d'activité. Les heureux élus sont les secteurs chimique, agroalimentaire, pharmaceutique, etc. Ensuite, pour minimiser les différences au sein d'un même segment, ainsi que développer une réponse plus différenciée pour chacun, une autre séparation s'opère. Celle-ci a lieu au niveau des attentes de récupération des différents sels de chaque entreprise : Na_2SO_4 , KNO_3 .

2. Le marché cible

À la suite de notre segmentation, il est désormais possible d'identifier les secteurs que nous souhaitons cibler. Le processus de valorisation des effluents industriels par cristallisation membranaire ROS s'adresse dans un premier temps, au secteur chimique, c'est-à-dire à toutes les usines effectuant des manipulations chimiques (d'atomes, de molécules, d'ions, de cations, ...) en vue d'obtenir des produits finis, tels que des produits azotés et des engrais, des matières

plastiques, des pesticides et d'autres produits agrochimiques, des peintures, du vernis, des encres, des détergents, des polymères, et encore d'autres produits chimiques (PwC et al., 2016).

Dans notre cas précis, nous nous focalisons sur les usines dont le processus de production requiert et libère des composés cristallissables tels que des sels dans les eaux usées industrielles, plus particulièrement le Na_2SO_4 et KNO_3 .

Nous avons décidé de nous focaliser, dans un premier temps, sur l'industrie chimique pour diverses raisons. La première raison est que, la Belgique en est un des leaders mondiaux : “ *Les productions belges de la chimie et des sciences de la vie représentent plus de 6% du chiffre d'affaires total du secteur européen alors que la population belge ne représente que 2,1% de la population de l'Union Européenne. Le pays présente un fort degré de spécialisation* ” (CCI FRANCE BELGIQUE, 2017, para.4). La deuxième raison est que ces industries chimiques, notamment, les acteurs de référence tels que *Recticel*, *Bayer Anvers*, *Solvay*, *AGFA-Gevaert*, proposent elles-mêmes des matières premières pour des industriels de secteurs variés, tels que les secteurs agroalimentaires, de l'automobile, de l'aéronautique, de la construction, des biens de consommation, de la santé, de l'électricité et l'électronique, de l'énergie et de l'environnement etc. (Solvay, 2017). Dès lors, nous émettons l'hypothèse que ces industriels, ou une partie d'entre eux, ont également un processus de production qui requiert des sels et/ou qui en libère dans les eaux usées.

Ainsi, nous partons de l'hypothèse que ROS cible n'importe quelle usine de transformation dont le processus de production requiert et libère des sels dans les eaux usées industrielles.

Par ailleurs, les clients visés sont les firmes soucieuses de leur empreinte environnementale. Celles-ci sont intéressées par une technique de recyclage des effluents industriels ainsi que par ses avantages.

La clientèle ciblée par ROS se décline en trois groupes. Tous sont dotés d'une conscience environnementale et présentent un intérêt pour l'économie circulaire :

- Les usines dont le processus de fabrication requiert et libère dans les effluents industriels, un ou plusieurs sel(s). Ces entreprises portent un intérêt à un processus peu énergivore de recyclage et de réutilisation des effluents industriels domestiques.
- Deuxièmement, les usines dont le processus de fabrication requiert un ou plusieurs sel(s) mais n'en libère pas dans les eaux usées. Néanmoins, celles-ci portent un intérêt à la substitution des sels achetés à l'étranger par des sels recyclés localement.

- Troisièmement, les usines dont le processus de fabrication ne nécessite pas de sels lors de la transformation des produits mais en évacuent un ou plusieurs dans ses effluents. Celles-ci se laissent ainsi séduire par la possibilité de vendre leurs déchets domestiques, plus précisément, des sels cristallisés à des entreprises voisines.

2.1. Zones géographiques du marché cible

Dans un premier temps, la zone géographique ciblée est la Belgique. Dans un deuxième temps, le Benelux. Sur le long terme, nous souhaitons élargir notre marché vers l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne et le Portugal. Par la suite, en Europe de l'Est et dans les pays scandinaves. Suite au Brexit, nous ne prenons encore pas de position concernant le Royaume-Uni.

Lors de la stratégie de l'internationalisation, seront identifiées comme clientes, les usines chimiques pour lesquelles “ *la qualité de l'environnement apparaît aujourd'hui comme une préoccupation collective qui doit être intégrée aux activités productives. Dès lors, l'ouverture aux valeurs environnementales et les investissements dans des équipements de dépollution apparaissent comme une nécessité pour assurer la pérennité des activités industrielles* ” (Toumi, 2012, p.117). Par ailleurs, il conviendra de définir les statuts juridiques (filiale, succursale, franchise, joint-venture, ...) pour l'expansion de notre entreprise.

2.2. Le marché cible traduit en chiffres : cas de la Belgique

2.2.1. Pouvoir d'achat du marché cible

Le site des statistiques nationales, Statbel (2013) met en évidence que les dépenses totales de l'industrie pour la protection de l'environnement s'élèvent à 517,3 millions d'euros pour l'année 2013. L'eau se trouve être la catégorie où les entreprises investissent le plus. Le secteur des industries chimique, avec 41,5 millions d'euros déboursés, vient ensuite. La production d'électricité et de gaz est troisième. Les autres secteurs injectent un montant faible dans l'environnement.

L'industrie chimique investi en tout annuellement 167,1 millions d'euros pour la protection de l'environnement.

Nous avons demandé à un expert de l'industrie chimique (employé chez Solvay), si ces chiffres reflètent la réalité. Selon lui, ceux-ci sont pertinents mais, pas représentatifs. M. Lacroix (2017) explique en trois points en quoi ces chiffres se situent en dessous de la vérité :

- Statbel rassemble uniquement les chiffres déclarés, sous la dénomination stricte de “*protection de l’environnement*”. Ce dernier est cependant trop restrictif, ne prenant pas en compte d’autres actions environnementales des entreprises.
- Selon M. Lacroix, 5 à 10% des coûts d’une entreprise sont vouées à cette protection de l’environnement. Pour lui énormément d’initiatives prises en interne ne sont pas comprises dans l’évaluation de Statbel.
- Pour lui, 517,3 millions d’euros ne peut être représentatif de la totalité du budget protection de l’environnement de l’industrie belge.

En conclusion, les chiffres théoriques comparés à la réalité, nous révèlent que le budget de notre cible est bien plus important que ceux initialement estimés. Ces chiffres et explications prouvent donc l’intérêt porté par ces entreprises à des services comme ROS.

2.2.2. Volume annuel des effluents industriels

En 2012, le volume des eaux usées industrielles pour la Région wallonne a été estimé par le Service public de Wallonie (2017) à 1.886 millions de m³ d’eau. La répartition par volume et par secteur se présente comme suit dans le **Tableau 7** :

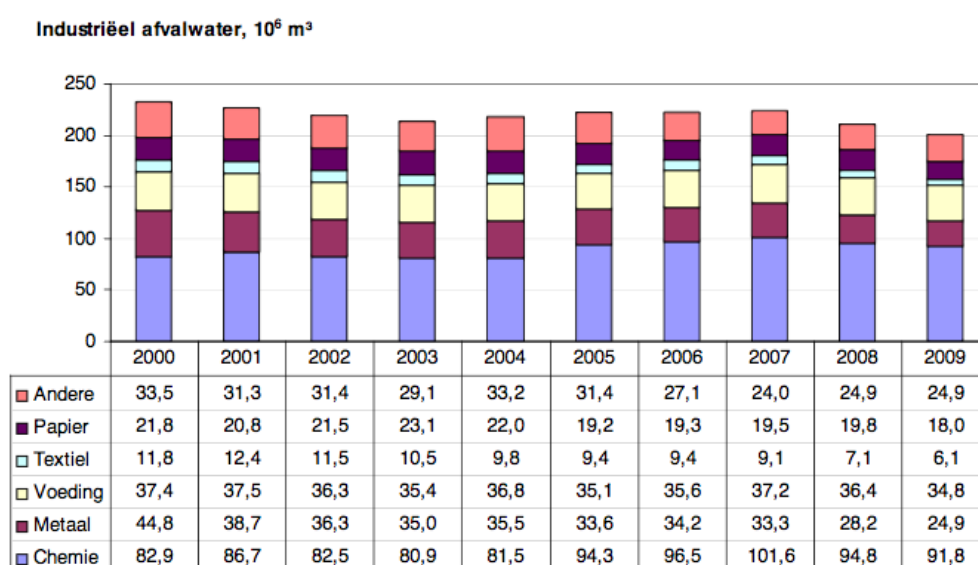
Tableau 7 Répartition par secteur des eaux usées industrielles (Service public de Wallonie, 2017)

% du volume des eaux usées industrielles en RW	M ³ des eaux rejetées (en millions), en RW	Secteurs
89%	1.672	Production d’électricité
3%	65	Métallurgie
3%	56	Chimie
2%	38	Extraction
1,4%	28	Papier et imprimerie
1%	20	Alimentaire
0,002%	4	Minéraux non métalliques
0,001%	2	Gestion des déchets
0,0003%	0,622	Textile

% du volume des eaux usées industrielles en RW	M ³ des eaux rejetées (en millions), en RW	Secteurs
0,0000005%	0,001	Autres

Le débit total des eaux usées industrielles en région wallonne est estimé à 216 millions de m³. La production d'électricité ne libérant aucun sel dans les eaux usées, n'est pas prise en compte dans cette estimation.

En ce qui concerne la région flamande, les chiffres obtenus pour l'année 2009 apparaissent dans la **Figure 8**.



Bron: VMM, 2010.

Figure 8 : Eaux usées industrielles en région flamande (Vlaamse milieumaatschappij, 2009)

Le total des eaux usées industrielles en région flamande s'élève pour l'année 2009 à 200,5 millions de m³ d'eau.

En ce qui concerne la région bruxelloise, le débit annuel exact des eaux usées industrielle n'a pu être précisé par une activité industrielle quasi inexistante dans notre capitale (Bruxelles environnement, 2017).

3. Les stations d'épuration

Les stations d'épuration ne peuvent faire l'objet de notre marché cible. Cela s'explique par deux raisons. La première est que les eaux traitées dans ces centres contiennent trop de déchets variés, tels que les boues. La deuxième est que le volume d'eau est tellement élevé, que la concentration en sels par m³ d'eau est trop faible pour une cristallisation efficace.

4. Les clients potentiels

Une fois le type d'industrie cible identifié, il convient d'estimer le nombre de clients potentiels y faisant référence. Bien que le procédé *ROS* soit doté d'une capacité d'adaptation à divers types de sels, le nombre de ceux-ci est trop élevé. Claire Clérin dut effectivement, dans un souci de précision, restreindre sa recherche à deux sels, le sulfate de sodium et le nitrate de potassium. Ces derniers sont fréquemment utilisés et transformés lors du processus de production de biens matériels. Les premiers clients potentiels, bien que leur nombre soit restreint, sont présentés via la segmentation croisée, c'est-à-dire, par sel et secteur concerné.

4.1. Demande de sels par toutes les industries belges

Gijsbrechts (2017), nous informe qu'une moyenne de 2,4 millions de tonnes de sels est importée chaque année à des fins industrielles. A cause du manque d'informations accessibles il est impossible d'évaluer la quantité exploitée par catégorie de sels et les types de secteur.

4.2. Le sulfate de sodium

En ce qui concerne le sulfate de sodium (Na_2SO_4) les secteurs visés sont ceux du verre, des détergents, du dégivrage des vitres, de la fabrication d'amidon, des additifs alimentaires pour le bétail, des laxatifs, de la pâte à papier. Le sulfate de sodium est, en matière de quantité, le plus utilisé par deux secteurs : celui du verre et celui des détergents.

4.2.1. La production de verre

Dans un premier temps, l'analyse des clients potentiels se limite aux usines de verre. Il existe différents types tels que le verre creux, le verre plat, le verre spécial, le verre domestique et la fibre de verre. Pour la fabrication de verre, les leaders de la production de verre sont les suivants :

AGC Glass Europe. Il s'agit de la branche européenne du groupe *AGC Glass*, le premier producteur mondial de verre plat. *AGC Glass Europe* est basé en Belgique à Louvain-la-Neuve. Cette entreprise produit, transforme et distribue du verre plat utilisé dans les secteurs de construction, de l'automobile et du solaire (AGC Glass Europe, 2012).

Saint Gobain, Glass Solution. Cette entreprise est le leader mondial de l'habitat. Elle conçoit, produit et distribue des matériaux de construction, notamment le verre. La mission de *Saint Gobain* est d'offrir des solutions innovantes aux défis d'économies d'énergie, de croissance et de protection de l'environnement. C'est notamment en France, à Aniche et à Salaise-sur-Sanne, que *Saint Gobain* produit du verre.

Scheuten. Grâce à ses usines et filiales situées aux Pays-Bas et en Allemagne, Scheuten produit une large gamme de produits verriers. Ces derniers sont utilisés dans des domaines tels que l'isolation thermique, la protection solaire, l'isolation acoustique, la sécurité et la résistance au feu (Sheuten, 2017). Une filiale est située en Flandre.

Guardian glass, est un autre leader mondial du secteur verrier à des fins domestiques et industrielles. Cette entreprise est située dans 25 pays différents à travers cinq continents. En Europe, elle est présente dans les pays et villes suivants : en France à Canejan, à Marignane, à Communay, à Rennes et à Compans ; en Angleterre à Goole ; en Allemagne à Karlsruhe et à Thalheim ; En Hongrie, à Oroshaza ; Au Luxembourg ; en Pologne ; au Portugal ; en Russie et en Espagne (Guardian Europe, s.d).

Pilkington. Cette dernière entreprise productrice de verre est également présente en Europe, notamment dans plus de 20 pays, en Amérique du nord et du sud, en Afrique et en Asie. Cette entreprise britannique a été rachetée par le groupe japonais NSG en 2006 (Pilkington, 2017).

Selon la Fédération de l'Industrie du Verre en Belgique (VIF), le secteur compte à son actif plus de 10 entreprises productrices de verre et une trentaine d'entreprises transformatrices (2015). 9 sites en Belgique possèdent un four. Il y en a six en Wallonie et trois en Flandre (VIF, 2015). Les entreprises sont reprises dans le **Tableau 8** suivant ;

Tableau 8 Type de verre produit par entreprise (VIF, 2015)

Entreprises	Types de verre produit
<i>Knauf Insulation</i>	Laine de verre
AGC Moustier	Verre plat

<i>MD Verre - ghlin</i>	Bouteilles
<i>Durobor - Soignies</i>	Verrines
<i>Gerresheimer</i>	Flacons
<i>AGC Mol</i>	Verre plat
<i>3B Fibreglass S.R.L.</i>	Fibres de verre
<i>Ducatt</i>	Verre plat
<i>Pittsburgh Corning Europe</i>	Verre cellulaire

En Europe, notre cible potentielle s'élève à 35 millions de tonnes de verre par an (AGC Glass, EU).

4.2.2. Étude de cas : *Saint Gobain* et *AGC Glass*

Nous sommes entrées en contact avec les entreprises *Saint Gobain* et *AGC Glass*. Lors de e-mails échangés, nous nous sommes rapidement rendu compte que notre technique ne les intéresse pas. En effet, bien que leurs processus de production de verre requièrent du sulfate de sodium, il s'avère qu'il n'en libère aucun dans les eaux usées.

Dès lors, nous ne pouvons plus estimer ce secteur (dans ce cas précis le secteur de la production) comme un client potentiel. Néanmoins, *AGC Glass* nous a informé qu'ils utilisent beaucoup de sulfate de sodium et pourraient être intéressés d'en acquérir sous forme recyclée.

C'est ainsi que nous avons réalisé notre première étude de marché et nous sommes rendues compte que les premiers clients visés n'étaient pas intéressés par notre technique *ROS*, mais éventuellement par notre service de symbiose industrielle.

4.2.3. Réorientation de notre secteur ciblé

À la suite de cette première constatation, nous avons décidé de nous focaliser dans le cadre du présent mémoire sur le secteur chimique exclusivement. Un rapport de l'entreprise Pwc et al., (2016) nous informe qu'à ce jour, 557 entreprises belges sont actives dans le secteur chimique. Les activités de ces entreprises sont réparties dans le **Tableau 9** comme suit :

Tableau 9 Répartition des activités industrielles chimiques (Pwc et al., 2016)

	Nombre d'entreprises	V.A. (au coût des facteurs) (millions EUR)	Nombre de personnes occupées	Nombre de personnes employées par entreprise
Fabrication de produits chimiques de base, de produits azotés et d'engrais, de matières plastiques de base et de caoutchouc synthétique	233	4.999	28.034	120
Fabrication de pesticides et d'autres produits agrochimiques	14	155	1.257	90
Fabrication de peintures, vernis, encres et mastics	80	432	3.558	45
Fabrication de savons, de produits d'entretien et de parfums	126	385	4.716	37
Fabrication d'autres produits chimiques	83	1.025	7.421	77
Fabrication de fibres artificielles ou synthétiques	21	109	1.057	50
Total Chimie	557	7.105	44.986	70

Le débit annuel des eaux usées industrielles des activités chimiques s'élève, à 56 millions de m³ pour la Wallonie et à 91,8 millions de m³ d'eau pour la Flandre. En ce qui concerne la région bruxelloise, Dubaere (2017) nous informe qu'il y a très peu d'activité chimique. Dès lors, les eaux usées industrielles issues des activités chimiques dans la région bruxelloise ne sont pas prises en compte. C'est ainsi que notre marché cible est représenté par les 557 usines chimiques générant un débit moyen et annuel de 148 millions de m³ d'eau usée industrielle.

Ainsi, toujours dans le cadre du sulfate de sodium, sel étudié par Claire Clérin en laboratoire, nous orientons notre étude de marché vers les usines de détergents.

4.2.4. La production de détergents

Malheureusement, c'est à quelques semaines de la remise de notre mémoire que nous avons fait la constatation que les usines de verre n'étaient pas intéressées par notre technique de valorisation de sulfate de sodium. Par conséquent, nous n'avons pu réaliser une analyse de marché poussée pour les usines de détergents. Si le projet devait continuer, il serait pertinent de commencer par cette étude.

Comme cité dans le tableau de Pwc et al., (2016), la Belgique compte 126 usines de savons, produits d'entretien et de parfums. Sont citées ici les noms de producteurs de détergents à contacter au futur.

Procter & Gamble. Cette multinationale commercialise en Belgique une large gamme de produits de soins et d'hygiène, de produits de lessive et de nettoyage et enfin, de santé. Les détergents mis sur le marché belge par cette entreprise sont : Ambi Pur, Antikal, Ariel, Bonux, Dash, Dreft, Lenor, Mr Proper et Swiffer. Le site de Malines produit les tablettes pour lave-vaisselle, celui de Bruxelles est spécialisé en recherches et développement des produits de nettoyage. Nous partons ainsi de l'hypothèse que ces usines génèrent du sulfate de sodium dans les eaux usées industrielles (P & G, 2017).

Colgate-Palmolive. Cette deuxième multinationale produit des soins dentaires, des soins pour le corps et des produits d'entretien. Les marques commercialisées sont Colgate, Elmex, Meridol, Palmolive, Sanex, Tahiti, Ajax, Soupline et La Croix. Deux usines sont situées en France. L'une des deux est la plus grande usine européenne : elle fournit à elle seule la moitié de l'Europe en produits (Colgate-Palmolive, 2017).

Biotop. Cette entreprise produit du détergent, des produits cosmétiques et des produits de nettoyage biologiques. Elle se situe dans la communauté germanophone de la Belgique.

Vandeputte Group. Cette entreprise familiale belge produit et commercialise des détergents depuis le 19ème siècle.

4.2.5. Le nitrate de potassium

En ce qui concerne le nitrate de potassium (KNO_3), deuxième sel étudié par Claire Clérin, celui-ci est utilisé comme matière première lors de la production d'engrais, d'explosifs, de propergol de fusées, de conservateurs alimentaires, de salpêtre pour la viande, etc. Ce sont les usines d'engrais qui requièrent le plus de nitrate de potassium. Par faute de temps et de réponses obtenues, nous n'avons pu entrer en contact avec une de ces usines.

Comme stipulé dans l'analyse de Pwc et al., (2016), il y a 233 usines de produits chimiques de base, d'engrais, de produits azotés, de matières plastiques et de caoutchouc synthétique.

4.3. Justification de cette étude de marché restreinte

Nous avons conscience que l'étude de marché réalisée ne prend pas en compte le secteur des engrais et les autres sous-secteurs de l'industrie chimique. Néanmoins, de nombreux calculs et estimations de notre technique à échelle industrielle sont encore nécessaires avant d'entrer en

contact avec des clients potentiels. En effet, nous voulons tout d'abord estimer le retour sur investissement de notre procédé avant d'entamer de réelles négociations.

Au début de l'année 2017, nous sommes entrées en contact avec l'entreprise *Prayon*, en vue d'obtenir des informations concrètes sur leurs effluents industriels. Nous avons besoin d'un échantillon de leurs eaux usées industrielles, de leur composition exacte ainsi que du débit par heure. Suite à une rencontre avec du département *R&D* de *Prayon*, et de nombreux e-mails échangés, nous avons obtenu, après un temps d'attente conséquent, les données nécessaires pour envisager un scale-up de la technologie. Malheureusement, nous nous sommes rapidement rendu compte que la composition des effluents de *Prayon* ne convenait pas au processus *ROS*. En effet, le débit de ceux-ci est considérable et, par conséquent, la concentration des sels présents est trop faible pour que le procédé *ROS* soit intéressant. Il ne nous a donc pas été possible d'estimer les paramètres de notre technique suffisamment tôt dans l'année pour un modèle à échelle industrielle. Néanmoins, nous avons pu évaluer notre technologie à échelle semi-industrielle avec le projet prototype *Solvay* (voir chapitre 11 : Plan de production).

Chapitre 7 : Analyse qualitative

Ce chapitre est consacré à l'analyse qualitative. La méthode utilisée est basée sur les recherches de Papin (2015). Elle permet d'identifier les besoins des clients potentiels, de déduire les Facteurs Clés de Réussite et enfin, de peaufiner le marché cible. Pour rédiger ce chapitre, 28 personnes ont été interrogées. Leurs informations et conseils ont permis d'aboutir au présent plan d'affaires, par une orientation en matière de choix stratégiques, en marketing, en production, etc.

La structure du chapitre se présente comme suit : est d'abord mis en exergue la méthode de Papin, le corps de l'analyse est présenté ensuite et, finalement une analyse des données et conclusions de celles-ci est partagée. La constitution d'une étude de cas par le biais d'un projet pilote est également mentionnée.

1. Choix de la méthode et but de l'étude

L'objectif de l'analyse qualitative est de comprendre les clients en profondeur, de déduire les Facteurs Clés de Réussite (FCR) nécessaires à notre service de valorisation des effluents industriels et enfin, d'évaluer notre marché potentiel. Nous avons appliqué la méthode Papin *“Comment tester un projet de création sans réelle étude de marché”* (Papin, 2015, pp. 53-84). Les raisons de ce choix reposent sur la nature de notre cible, *BtoB*. En effet, les entreprises cibles étant difficilement joignables, il nous est impossible de réaliser une étude standard composée d'un échantillon de 50-100 clients potentiels. Nos clients ne prennent pas le temps de remplir des enquêtes ou encore de répondre à des questionnaires en ligne. Papin (2015) nous assure que les questions existentielles sur la faisabilité du projet peuvent obtenir une réponse via sa méthode. Les données récoltées sont même souvent plus pertinentes qu'une étude faite dans les règles de l'art (Papin, 2015).

2. Explication de la méthode utilisée

Papin (2015), propose une méthode pour la réalisation d'une analyse qualitative. Elle se présente comme suit :

2.1. Identification de la cible

La première étape consiste à sélectionner une dizaine d'acteurs différents familiarisés avec le secteur concerné par notre activité commerciale. Ainsi, nous avons d'abord contacté des clients potentiels pour ensuite élargir l'échantillon aux autres parties prenantes. N'ayant reçu que deux réponses positives sur plus de 300 e-mails envoyés à des clients potentiels, nous avons dû élargir le profil type des personnes à interroger. Les e-mails ont rapidement laissé place aux contacts directs avec les personnes, par souci d'efficacité. Après une analyse approfondie des différentes parties prenantes de notre service et des organismes susceptibles de connaître les besoins de notre cible (voir chapitre 5 : Analyse externe), nous avons choisi d'élargir le profil type des participants potentiels à notre recherche. Cette approche nous a menées à contacter des fédérations, des experts, des clients potentiels, des concurrents, des fournisseurs, des patrons d'entreprises actifs dans le secteur industriel ainsi que des cabinets spécialisés.

Nous avons misé sur la diversité pour extraire un maximum d'informations divergentes et pertinentes.

2.2. Facteurs Clés de Réussite selon l'équipe ROS

Avant d'entamer cette deuxième étape, nous avons déterminé quels étaient, selon nous, les Facteurs Clés de Réussite (FCR) de notre service. Pour Papin (2015), les FCR sont les variables nécessaires à la réussite du projet. Ils peuvent se diviser en deux catégories. La première catégorie concerne les aspects du produit en tant que tel. La deuxième est l'ensemble des FCR plus généraux tels que, la localisation de l'entreprise, la gestion des employés, le marketing, etc.

Parmi les FCR, Papin (2015), conseille de n'en retenir qu'une dizaine. Après réflexion, nous avons retenu :

- l'efficacité de la membrane ;
- la preuve de sa fonctionnalité ;
- l'efficacité de la membrane à traiter les mélanges de sels ;
- la facilité d'installation ;
- l'offre d'un service complet (englobant la prise en charge du sel en cas de non-nécessité en matière première) ;
- un ratio gain de l'installation/investissement dans la technologie positive.

Ont également été considérées, des variables plus générales telles que la réputation de notre entreprise, l'organisation des services et l'ingénieur chargé de l'adaptation de la technologie à l'entreprise.

2.3. Les interviews

Les interviews constituent la troisième étape. Avant d'entreprendre cette démarche, il est nécessaire de définir les informations à récolter. Nous devons donc obtenir en premier lieu des informations sur le marché potentiel, c'est-à-dire, de comprendre les tendances qui le guident ainsi que d'anticiper l'avenir de celles-ci. Ensuite, nous devons prendre en compte les avis des personnes interrogées sur le service *ROS*. Recueillir des confessions sur les forces et les faiblesses de la concurrence, sur les caractéristiques idéales de notre service ainsi que sur les FCR et leur évolution est également essentiel. Finalement, l'équipe *ROS* doit rassembler les informations nécessaires au développement de notre produit, ainsi que déceler les contraintes éventuelles qui peuvent contrecarrer nos plans.

2.4. Style semi-directif

L'obtention d'un marché suffisant pour notre service dépend de la maîtrise de ses FCR. La détermination de ces derniers est donc essentielle. Nous avons procédé à différents types de recueil d'informations : des e-mails, des entretiens et des interviews téléphoniques. En vue de mener à bien chaque entretien, le style semi-directif a été sélectionné comme méthode conductrice. Ce style implique la définition d'un cadre thématique via une grille d'entretien, tout en laissant le participant se balader entre les sujets (Lejeune, 2015).

2.5. Grille d'entretien

Nous avons établi un mode opératoire pour normaliser chaque entretien. La fiche d'identité du participant et de son organisation basée sur de la recherche documentaire, les objectifs de l'entretien et la grille d'entretien ont été rédigés au préalable. Une grille d'entretien standard a été créée pour inclure systématiquement toutes nos questions de recherche (voir annexe C).

3. Corps de l'analyse

Le point suivant met en évidence les informations pertinentes identifiées lors des échanges. Elles sont le fruit de deux étapes : la première est la sélection des parties prenantes, la deuxième est le récapitulatif des interviews.

Les interviews qui ont pu être enregistrées avec l'accord des participants sont jointes sur un CD-rom (annexe D). Les interviews téléphoniques n'ont pas pu être enregistrées.

3.1 Fédérations et organisations

a. Sopartec et LTTO : Céline Dessaucy et André Vandemeulebroecke

L'équipe ROS s'est rendue dans leurs locaux à Louvain-la-Neuve. La question de la durée de vie de la membrane a été soulevée. Aucun accord entre la Sopartec et l'équipe ROS n'a été signé. Ils sont intéressés par le projet et mentionnent le fait qu'étant donné que ROS utilise les laboratoires et les matières premières de l'UCL, nous serions contraintes de passer sous un régime *Spin-off*. Ils sont également interpellés par la courte durée qui nous est accordée pour réaliser un projet de cette ampleur. M. Vandemeulebroecke nous a expliqué comment combiner secret et propriété intellectuelle.

b. Cellule Environnement Union Wallonne des Entreprises : Olivier Cappellin

Nous avons contacté M. Cappellin par téléphone le 20 mars 2017. M. Cappellin est responsable de la Cellule Environnement de l'UWE. Cette fédération inter-secteurs a pour mission principale de sensibiliser les entreprises à la gestion de l'environnement. Notre projet est, à ses yeux très intéressant pour l'environnement. Il nous conseille de contacter les fédérations du verre (la FIV), la fédération agro-alimentaire (SESIA) et celle de la chimie (ESNCIA).

Cette fédération a effectué une enquête sur le budget dépensé par les PME pour des stratégies environnementales. En moyenne, ces entreprises dépensent 1.000 euros par an. Il nous conseille vivement de nous focaliser sur des entreprises avec un plus grand pouvoir d'achat. Selon lui, les PME n'ont ni le budget, ni le temps de se consacrer à l'environnement.

c. Service public de Wallonie : M. Wylock

Nous avons appelé M. Wylock, responsable des taxes sur le déversement des eaux usées industrielles, le 26 Mars 2017.

M. Wylock nous a expliqué comment fonctionnait la déclaration de déchet et les taxes imposées sur les eaux usées industrielles. Ses explications sont détaillées dans le chapitre 3 section 1.2. Dans un e-mail précédant la conversation téléphonique, M. Wylock écrit : *“La formule de taxation ne fait malheureusement pas intervenir des paramètres comme les sels (chlorure, sulfates ...). Le paramètre « conductivité » lié à la présence de sels dans les eaux déversées ne fait pas non plus partie des paramètres de taxation. Les paramètres intervenant dans l'établissement de la taxe sont les suivants : les matières en suspension, la demande chimique*

en oxygène, l'azote total, le phosphore total, une série de neuf métaux (As, Cr, Cu, Ni, Pb, Ag, Zn, Cd et Hg) et depuis peu, un paramètre de toxicité (TEST Daphnies) à contrôler pour certains secteurs industriels spécifiques” (Wylock, mail reçu le 23 mars 2017).

Cette information s'est cependant révélée contraire à la réalité et inexacte. En effet, M. Gielen (2017), *plant manager* de l'usine *Hydrometal* située en Wallonie, explique que, libérant des sulfates, l'entreprise doit payer des taxes annuelles sur le Na_2SO_4 . En réalité, ce sel entre bien dans la catégorie “écotoxicité” du calcul des taxes. Même si certaines sources semblent parfois fiables, comme M. Wylock, il est nécessaire de les confronter à la réalité du terrain.

d. IDEA : Quentin Deplus

Nous avons obtenu un entretien dans leur bureau à Mons le 5 avril 2017. L'Intercommunale de Développement Économique d'Aménagement du cœur du Hainaut est une organisation qui s'occupe de l'attractivité du territoire du Hainaut et de la réindustrialisation tout en implémentant un aspect durable dans ses différents services. Quentin Deplus occupe la fonction “chargé de projet”. Il s'est déjà occupé de projets ancrés dans l'économie circulaire et dans le traitement des eaux usées industrielles. Notre projet suscite son attention. Il pense que celui-ci pourrait être inséré dans un de ses projets “pilotes” : le zoning éco-industriel de Tertre. 8 entreprises dans le secteur chimique collaborent dans ce zoning pour réaménager le site sous tous les aspects. Ils installent une station d'épuration privée commune et cherchent à traiter et à diminuer les charges polluantes présentes dans l'eau. Notre technologie pourrait être installée en fin de course pour récupérer les sels. M. Deplus nous conseille d'envisager les zonings collaboratifs comme cibles potentielles. Yara, une entreprise présente sur le site, libère du NH_4 . Il soulève deux questions : “*À quel niveau notre technologie doit-elle être installée ? Peut-elle traiter un flux qui rassemble les eaux usées industrielles de plusieurs entreprises ou, doit-elle se trouver à chaque sortie d'entreprise avant de rejoindre le flux ?*”

Concernant le zoning de Tertre, beaucoup d'informations sont privées. Le prix d'une station d'épuration s'élève à quelques milliers d'euros. La station d'épuration commune permet de diminuer le coût de gestion des eaux de 150.000 euros (les taxes passent de 450.000 à 300.000 euros). Cette diminution concerne les taxes pour 5 entreprises. C'est le gouvernement wallon qui paye pour leur unité pilote.

M. Deplus nous informe que la plupart des stations d'épuration en Belgique sont publiques. Le problème principal des entreprises qui acheminent leurs eaux usées industrielles vers les stations d'épurations publiques, c'est la distance. À cause de celle-ci, des particules chimiques

toxiques peuvent se perdre en chemin et avoir un impact dramatique sur l'environnement (canalisations, camions citernes). Un diagnostic individuel profond est nécessaire pour les rejets de chaque entreprise (si celle-ci possède parfois plusieurs sorties d'effluent).

Concernant le service de symbiose industriel, il précise que, les entreprises ne sont pas prêtes à collaborer avec des paires actives dans le même secteur d'activité, à savoir, des concurrents. La clé d'un partenariat réussi est le choix des entreprises et la confiance établie entre elles.

M. Deplus nous met en garde : il y a un véritable fossé entre les normes imposées par l'Europe et celles réellement appliquées. Beaucoup d'entreprises ne respectent pas les législations et préfèrent tout simplement payer les taxes. Il nous informe également que le prix par UCP a augmenté cette année, elle passe aujourd'hui à 13 euros.

e. ADRE : Mathieu Palate

Entretien le vendredi 12 mai dans les locaux de la *Sopartec* à Louvain-la-Neuve.

Ingénieur civil physicien et docteur en sciences, M. Palate est aussi expert en brevets. Il nous apporte son aide dans la compréhension de ce que *ROS* peut éventuellement breveter. Il stipule que seules les inventions techniques peuvent être brevetées. Il met aussi en évidence les trois conditions suivantes requises au dépôt d'un brevet :

- il doit y avoir une application industrielle à l'invention technique;
- il doit y avoir de la nouveauté par rapport à l'art antérieur (publications, brevets antérieurs à la date de demande de brevet) ;
- Il faut de l'inventivité. M. Palate relève la subtilité de cette condition. De fait, une invention peut être nouvelle, mais sans pour autant être inventive. De fait, si la nouveauté apportée par un chercheur est en réalité évidente aux yeux de n'importe quel autre chercheur, celle-ci n'est pas inventive. Malheureusement, c'est le cas de l'application donnée par M. Luis.

Pour maintenir un brevet, il faut payer des taxes annuelles. La Belgique compte parmi les pays où ces coûts sont estimés relativement faibles, soit 40 à 4.500 euros par an. Les taxes augmentent chaque année. La couverture du brevet est modulable (un pays supplémentaire correspond à une taxe supplémentaire). Dans le langage du brevet, on parle de la région Europe (38 pays) et du monde (152 pays).

M. Palate passe en revue le tableau comparatif précisant ce qui est déjà publié sur notre technique par rapport à ce qui n'a pas encore été divulgué au grand public (voir annexe E). Appliquer la technique sur d'autres sels n'est pas brevetable (c'est nouveau et c'est une application industrielle mais ce n'est pas inventif). Ensuite, il tire les mêmes conclusions pour notre plan pilote. Il serait brevetable à la condition d'inventer quelque chose de précis qui permettrait le bon fonctionnement du processus. Concernant notre service de symbiose industrielle, il nous précise que c'est une méthode économique et non une invention. Celle-ci ne peut donc pas être brevetée. Par contre, si on publie un manifeste sur le service de symbiose industrielle, il y a moyen d'appliquer un droit d'auteur. Nous serions donc dans la valorisation d'image plutôt que de la technique.

Selon M. Palate, *ROS* ne sera pas accepté comme *Spin-off*. En effet n'étant pour le moment qu'à l'échelle « laboratoire », rien n'est commercialisable. De plus, le marché de la membrane n'est pas encore assez mature. L'UCL n'acceptera jamais 9 millions d'euros d'investissement initial pour un produit. Néanmoins, il nous conseille de postuler pour les fonds *First-Spin-off*, qui permettent pendant 2 ans à un chercheur, en plus d'une formation d'entreprise (comptabilité et business), de passer d'une technologie de laboratoire à une technologie industrielle. Pour lui, si le professeur Luis Alconero s'était arrêtée plus tôt dans la publication, notre business aurait pu bénéficier d'une protection intellectuelle. Malheureusement, il est très difficile pour un chercheur de faire la balance entre faire avancer la recherche, et arrêter de publier au bon moment.

3.2. Experts

a. Alumni dans le secteur de la chimie : Vincent Burton et Romain Debortoli

M. Burton et M. Debortoli ont répondu le 13 février à notre e-mail à l'intention de tous les alumni dans le domaine de la chimie.

M. Burton est intéressé par notre projet et nous indique qui contacter dans les services publics : *DOF* du *SPW*, Direction des eaux de surfaces (*DESU*) et *UWE*. M. Debortoli nous conseille de prendre contact avec les géants de la gestion de l'eau *Nalco* et *GE*. Ceux-ci n'ont jamais répondu.

b. *DESU* : Karima Cheboub

Mme Cheboub, directrice du département des eaux de surface, a répondu à notre e-mail le 13 février 2017. Notre projet est, selon elle, très ambitieux. Elle souligne la nécessité d'un gain

économique et environnemental. Elle nous fournit le nom des entreprises qui pourraient, selon elle, être potentiellement intéressées par les 2 sels que nous ciblons.

c. Manetco : Tanguy Van Regemorter

M. Van Regemorter nous a contactées via la plateforme *Mind&Market*. Suite à sa demande, nous l'avons rencontré au Réaumur le 3 mars 2017. Monsieur Van Regemorter est un *serial-entrepreneur*. L'entreprise *Manetco* est sa dernière création. Il est ingénieur chimiste, mais également diplômé en management. La société *Manetco* est un partenaire des projets innovateurs : il les aide à se mettre en selle.

Les variables primordiales de notre projet sont à ses yeux : la pureté des cristaux obtenus, l'obtention du premier client, l'avantage économique que notre technologie procure au client. La rigidité des processus de traitement des eaux déjà mis en place chez le client est l'une de ses plus grandes craintes. Si le client doit, pour adopter notre technologie, faire un investissement sur toute sa ligne de production, peu de personnes seront prêtes à le faire. Il est essentiel de comprendre comment notre technologie pourrait s'insérer dans le processus. Un autre élément important est le passage de *batch* à un flux continu en laboratoire. Il faut reproduire les conditions réelles en laboratoire. Après cette étape, un test grandeur nature est pour lui incontournable.

La présence d'un ingénieur dans notre équipe est pour lui indispensable. Il mentionne un possible partenariat avec *Manetco*. Selon M. Van Regemorter, le marché est mature pour accueillir notre technologie mais il faut que nous arrivions à traduire les bénéfices de notre technologie en langage économique. Il est prêt à nous aider après le mémoire et pense déjà à certains clients qu'il pourrait nous présenter.

M. Van Regemorter est venu aider Claire Clérin, le 11 avril 2017 dans les laboratoires du Réaumur. Ils ont, ensemble, repensé notre service à l'échelle industrielle. Il a confirmé la nécessité de positionner notre système au plus proche de la source du déchet.

Pour lui, notre projet a toutes ses chances de voir le jour si la surface de la membrane nécessaire pour traiter les eaux n'est pas démentielle. La plus grande difficulté à laquelle notre service fait face est la solution osmotique. Cette solution contient du NaCl et constitue le seul déchet de notre service. Celle-ci ne serait pas taxée, mais la déverser dans l'eau douce (cours d'eau) serait contraire aux valeurs de ROS. Cela ne résoudrait pas non plus le problème de l'impact des sels sur l'environnement, que nous cherchons justement à diminuer via nos services.

En parallèle, Claire Clérin a expliqué à M. Van Regemorter la mauvaise compréhension de 3M, le fournisseur des membranes, lors des premiers contacts pour une estimation de la quantité de membranes.

En effet, Charlotte Dubray a exposé à *Liqui-Cel* les débits d'effluents que nous souhaitions traiter. Ce dernier n'a pas précisé que la capacité de la membrane à accueillir un certain flux ne correspondait pas à la capacité de traitement de la membrane. Nos premières estimations du prix de la membrane étaient donc erronées. Cette donnée supplémentaire a considérablement augmenté la surface de membrane nécessaire.

Un troisième entretien a eu lieu le 20 avril 2017, pour calculer le nombre exact de membranes nécessaires. Claire a confirmé à M. Van Regemorter les craintes soulevées la semaine précédente : la surface totale de membrane pour traiter 1m^3 est incroyablement élevée. Au lieu d'une membrane pour traiter un m^3 nous avons besoin de 5876 membranes de 1.4m^2 . Ce fait augmente considérablement le coût du service ROS et le rend non compétitif en termes de prix. L'espace utilisé resterait a priori moindre que celui des concurrents.

d. Cellule IPPC et Enquête Intégrée "Environnement" : Catherine Dubois

Mme Dubois nous a épaulées via e-mails dans notre recherche de données, tout au long du mois d'avril.

Elle nous a expliqué qu'elle ne pouvait nous communiquer le pourcentage de sels présents dans les eaux usées industrielles rejetées par chaque secteur vu le caractère confidentiel de ces données. Néanmoins elle a rassemblé les données qu'elle pouvait nous communiquer de manière anonyme. Nous constatons la présence d'énormément d'azote dans ces eaux mais ne pouvons pas être certaines de la forme de celui-ci : est-ce que cela concerne uniquement l'ammonium (NH_4) ou bien les ions nitrates (NO_3) - nitrites sont-ils également pris en compte ? Nous ne pouvons pas répondre à cette question. Elle nous a également transmis un fichier sur la composition de l'air rejeté par les entreprises dans le Brabant wallon, à titre d'aide en cas de réorientation du projet.

e. Technicien du laboratoire UCL : Luc Wautier

M. Wautier a accepté de nous rencontrer le 3 avril 2017 au Réaumur pour discuter de la sélection de la pompe idéale. Cette discussion a permis d'élaborer le plan de production plus précisément, les détails sont expliqués dans le chapitre 11.

f. Spécialiste des déchets : Pierre Hennebert

Le 4 avril 2017, M. Hennebert nous informe par courriel qu'il n'est pas qualifié pour répondre à nos questions sur le pourcentage de sels présents par m³ d'eau usée industrielle.

Il nous a confirmé que les pompes employées au laboratoire ne sont pas le choix optimal en matière de consommation électrique. En effet, on ne les emploie qu'à 23% de leur capacité de pompage. Donc 77% de l'électricité consommée ne sert à rien. Ces pompes péristaltiques sont utilisées pour leur précision. En industrie, le choix se porte bien plus souvent sur des pompes centrifuges, moins énergivores. Il nous confirme que le choix du type de pompe est crucial et doit différer à l'échelle industrielle. Il nous suggère donc de contacter les fournisseurs de pompes centrifugeuses et de comparer leur consommation.

g. Consultant et expert en innovation : Damien Dallemagne.

Rencontré lors d'un cours en *Regenerative economy* à la LSM le 19 avril 2017, cet ingénieur civil de formation a créé l'entreprise *Innergic*. Ce conseiller en économie durable accompagne les entreprises et les structures publiques en matière de stratégie, d'innovation, de responsabilité sociétale et de développement durable. Lors d'un entretien individuel, il nous conseille d'éventuellement faire breveter notre service de symbiose industrielle. Par ailleurs, il nous recommande de ne pas nous comparer à la concurrence en termes de capacité. Celles-ci, ayant plus de capital, est dotée de plus de moyens que nous en matière de recherche et développement, en marketing, en productivité, en efficacité, en expérience et en vente. En effet, à côté de *Suez Environnement* et *Veolia*, nous avons peu de chances d'avoir un réel facteur de différenciation. Néanmoins, il propose de mettre l'accent sur notre service de symbiose industrielle, service totalement innovant pour la Belgique. Il propose que nous nous orientations uniquement vers un service de collaboration et/ou de symbiose industrielle. Il met l'accent sur l'Ocean Blue. Il nous informe qu'il est plus pertinent de se focaliser sur les services d'économie, locale et circulaire ainsi que sur la symbiose industrielle. À long terme, nous pourrions orienter notre entreprise vers une entreprise de conseil et d'accompagnement de toutes les usines dans le cadre d'une réduction des eaux usées. En d'autres mots, ne pas s'étaler sur la commercialisation d'une membrane mais plutôt de divers services de conseil.

h. I-CleanTech Vlaanderen : Bart Vercoûtere

Pour nous préparer au concours *CleanTech Challenge*, M. Vercoûtere nous a rencontrés le mardi 25 avril à la KUL.

M. Vertcoûtere nous a éclairées sur le *business model*. Pour lui, penser à traiter entièrement l'eau usée est un modèle dépassé. Nous devons nous focaliser sur la cristallisation. Ce positionnement, centré sur le sel, nous différencie de la concurrence. Il nous confirme que notre service complet de symbiose industrielle serait le premier en Europe et insiste sur la nécessité de s'occuper du transport.

i. M5 sa : Jean Louis Mentior et Michel de Greef

Nous avons rencontré ces deux experts lors d'une conférence *Be Angels* consacrée aux subsides et aides régionales octroyés aux entrepreneurs wallons. C'était au *Cercle du Lac* le 14 février 2017. Le 2 mai 2017, nous les avons ensuite rencontrés au bureau M5 à Archennes. Ils nous ont renseignées sur les subsides, avances récupérables, aides régionales et avantages fiscaux. Tout d'abord, l'aide *First Spin-off*. Il s'agit d'un subside de deux ans mis à disposition d'un chercheur, lui permettant de poursuivre sa recherche. Une fois l'idée d'entreprise mise en place, il convient de passer à l'action, c'est-à-dire, faire de la recherche dans un laboratoire. Certes, Claire Clérin effectue de la recherche depuis plusieurs mois à l'UCL mais il semble tout de même pertinent de recourir à cette aide régionale.

Monsieur Mentior précise que lors des négociations des parts avec l'UCL (si *Spin-off* il y a), il conviendrait de négocier les parts de l'UCL et de la *Sopartec*.

La deuxième aide consiste en des avances récupérables et des subsides. Les premières semblent plus adaptées à notre projet, grâce à leurs prêts octroyés. Ceux-ci s'élèvent jusqu'à 55% du montant total nécessaire à la recherche et au développement d'un prototype, dans notre cas, un prototype "semi-industriel". M. Mentior mentionne également qu'en réalité, toutes les demandes prennent plus de temps que prévu. Il convient donc d'anticiper les aides nécessaires et de s'y prendre à temps. À côté des avances récupérables, il y a également les subsides. Ceux-ci sont octroyés pour de la recherche pure. Dans ce cas-ci, 45 à 50% du montant total requis pour la recherche est octroyé en tant que subside.

Une fois ces aides régionales présentées, M. Mentior conseille vivement d'éviter un partenariat avec la *Sopartec*. Il suggère plutôt de conclure un partenariat avec le Brabant Wallon. Celui-ci dispose d'énorme quantité d'eaux usées, détient beaucoup d'argent, est à la recherche d'innovation et semble être un actionnaire idéal. Ce partenaire idéal s'appelle *IBW*. Il s'agit d'une intercommunale du Brabant Wallon. Ensuite, nous rediscutons des aides régionales. Il existe des primes d'investissement pour les entreprises qui investissent dans des techniques telles que la nôtre. Il y a deux types de primes d'investissement. Les primes générales et les

primes d'aides en faveur de la protection de l'environnement et de l'utilisation durable de l'énergie. Ces primes d'investissement constituent une grande opportunité pour notre projet d'entreprise. En effet, malgré les investissements élevés de notre technique pour nos clients, ce coût sera compensé par des aides régionales.

Après avoir présenté les primes d'investissement, M. Mentior nous informe que les entreprises actives dans la recherche et le développement bénéficient d'une déduction d'impôts sur la recherche. Cette déduction s'élève à 13,5%. M. Mentior nous explique qu'il existe également des subsides pour l'engagement. Des subsides applicables à notre recrutement de chimistes, d'ingénieurs ou d'autres personnes responsables de la recherche. Des aides en marketing et en conseil peuvent aussi être accordées. Celles-ci soutiennent les entrepreneurs dans l'élaboration de leur plan d'affaires. M. Mentior mentionne pour terminer, un dernier type d'aide : le pôle de compétitivité. Pour y avoir accès, nous devons construire un partenariat avec un ou deux autre(s) centre(s) de recherche ou université(s). Il nous déconseille d'effectuer un partenariat avec le centre de recherche *VITO*. Ce centre étant localisé en Flandres, nous devrions dépendre d'aides régionales flamandes beaucoup plus compliquées à obtenir. En effet, la Flandre met chaque année un budget spécifique à disposition d'une ou deux entreprises. Il convient de passer un processus de sélection long et moins efficace qu'en Wallonie. En Flandres, il faut d'abord postuler pour éventuellement être candidat à une aide régionale. Ensuite, la Région Flamande choisit à quelle entreprise son budget est attribué. Les Flamands ne sélectionnent que les meilleurs projets. En Wallonie, M. Mentior conseille comme partenaire idéal (à la place de *VITO*), le pôle de compétitivité wallon *Greenwin*. Pour postuler et obtenir une aide régionale, il convient de se rendre au ministère, plus particulièrement à la *DGO6 Recherche* (Direction Générale O6 Recherche).

j. Solvay : M. Lacroix

M. Lacroix a accepté de nous recevoir dans son bureau le vendredi 5 mai 2017.

Docteur en physique, M. Lacroix travaille chez Solvay depuis 27 ans. Il est maintenant Senior Manager R&D *Inorganics & Electronics* chez *Solvay Chemicals* et est chargé du cours de chimie industrielle à l'UCL. Après avoir lu notre analyse du marché cible, M. Lacroix a émis quelques commentaires à mettre en pistes de solution. Il précise que procéder à une analyse de marché comme la nôtre est très complexe. Le problème majeur dans ce type d'analyse est la lenteur des réponses des multinationales et grosses entreprises. Dans notre cas, les coups de fils n'ont pas été fructueux. Il mentionne le *forcing*, c'est-à-dire, se présenter sur place sans

rendez-vous. Néanmoins, nous expliquons que, selon nos expériences, ce genre d'entreprise possède des barrières de sécurité nombreuses et une procédure pour accueillir des éléments extérieurs (réceptionnistes, inscription sur le *listing*).

Le problème majeur dans le monde du recyclage est, selon lui, la garantie de qualité. Un contrôle de la qualité du “déchet” est nécessaire avant l'échange entre le fournisseur et le client. Nous devons, dans le futur, lancer une enquête sur la tolérance aux impuretés du sel. En effet, éliminer ces impuretés peut engendrer un coût supplémentaire qui peut donc entraver la rentabilité du modèle. Nous devrions également jeter un coup d'œil aux normes sectorielles pour chaque sel.

Concernant notre analyse de marché sur le volume d'effluents totaux en Belgique. Il faut être prudent, car certains sels sont rejetés en grosse quantité mais à une température très élevée. Cela signifie donc que l'eau s'évapore et que les sels sont finalement rejetés dans l'air. C'est le cas, la plupart du temps, pour les matériaux de construction par exemple.

Conscient que ces conseils surgissent trop tard pour la rédaction du mémoire, il nous conseille une piste pour rediriger notre marché. Nous pourrions commencer par faire une analyse des grands processus, trouver ceux qui font tourner en boucle des sels (qui ont, dans leurs rejets, des sels qu'ils réemploient). Pour cela, il nous conseille un livre “*Procédés de chimie industrielle inorganique et organique*” qui reprend 90% des processus employés dans le monde, avec peu de données sur chacun, mais ce sont des données importantes. Munies de ces informations, il nous sera facile de distinguer quelles industries appartiennent à quel type de client. La classification en 3 types de clients est, pour lui, une bonne analyse. À partir de là, le type d'effluent de chaque entreprise sera plus facile à comprendre.

Nous lui avons également présenté nos pistes d'orientation : le secteur pharmaceutique, valorisation des sels toxiques (avec l'entreprise *5n plus* par exemple). Il nous met en garde contre le secteur pharmaceutique. En effet, il y a trois étapes pour créer une nouvelle molécule. Une fois que la molécule rentre en phase I, on ne peut plus rien modifier au processus de fabrication car une modification après cette étape altère les propriétés de l'agent actif du médicament. Donc, si nous voulons rentrer dans ce secteur nous devons nous positionner au début de la chaîne, c'est-à-dire, lorsqu'on imagine un processus pour une nouvelle molécule. Cela implique un changement total de *business*. Nous ne nous concentrerions plus sur le recyclage mais sur une alternative aux outils de concentration employés dans le secteur pharmaceutique. Si notre société souhaite donc repartir à zéro, nous pourrions contacter les

responsables chez *Pfizer* et *GSK* pour leur proposer une solution alternative à celle qu'ils utilisent.

Concernant les valorisations des sels toxiques, nous lui avons exposé le cas du zoning de Tertre (voir échange avec l'organisation *IDEA*) et leur problème de stockage des sels. M. Lacroix mentionne la possibilité de revendre le nitrate de plomb à *Umicore*, ou d'autres industries qui produisent du plomb à partir de minerai de plomb.

M. Lacroix nous propose également de recueillir des données supplémentaires sur les sites de statistiques commerciales des USA ou des rapports de consultants en analyse de marché (mais ça coûte 5.000\$!). C'est particulièrement utile selon lui pour mieux cibler le secteur des engrais azotés.

Il aime beaucoup notre idée de recycler les engrais. Il nous propose un mode opératoire *pull* (faire venir l'idée des clients) : contacter les gros acteurs qui sont actifs dans des domaines variés (*BASF*, *Dow*, *Bayer*, *Solvay*) via leur service Hygiène Sécurité et Environnement (HSE), R&D; leur expliquer que nous possédons la technologie et le *know how* ; leur demander quels sels il les intéresserait de récupérer et s'ils pensent à d'autres idées d'application. Pour l'extraction du lithium, par exemple, on pourrait avoir une belle demande car le prix est en train d'exploser, les réserves commençant à diminuer et il y a des pertes sous forme d'effluents lors de l'extraction.

Finalement, il nous confie que le recyclage est un sujet tabou dans les entreprises. À part les experts HSE, les entreprises n'aiment pas en parler, alors que chacune d'elles est contrainte d'être active dans le domaine du recyclage, pour diminuer les coûts. Recycler, c'est l'activité professionnelle des responsables HSE mais on arrive difficilement à les contacter. Il faut donc téléphoner au centre de recherche des entreprises et demander à être en contact avec une personne de ce secteur.

3.3. Clients potentiels

a. *Solvay* : Dominique Horbez

Plusieurs entretiens téléphoniques, dont un le 25 janvier et un le 4 avril 2017, ont eu lieu entre l'équipe *ROS* et M. Horbez.

Pour M. Horbez, chef du département « Recherche et initiatives à *Solvay* », commencer par le Na_2SO_4 est une décision stratégique. Il affirme qu'il y a un marché de plusieurs millions de

tonnes chaque année, surtout dans le secteur du détergent. *Solvay* en génère comme co-produit dans certaines réactions.

Concernant notre projet d'entreprise, M. Horbez insiste sur l'importance d'obtenir la solution la plus concentrée possible avant de traiter celle-ci avec notre technologie. Pour cela la membrane doit être placée le plus tôt possible dans le processus du client. L'introduire, par exemple, juste avant le traitement des effluents dans une station d'épuration serait trop tard. Deux exigences sont mises en évidence : obtenir un sel anhydre, c'est-à-dire, sans molécule d'eau restante et ne pas avoir d'impureté. Mettre des filtres pour protéger la membrane est également important.

Pour lui, traiter un mélange de sels n'est pas nécessaire. Il nous conseille de faire une hypothèse avec 1m^3 et est d'accord de nous donner plus d'informations pour servir de projet pilote. Ces données sont expliquées dans le chapitre 11 : Plan de production.

Malgré les nombreux conseils et l'encouragement de M. Horbez, *Solvay* n'est pas intéressé par notre service.

b. Yara Tertre : Philippe Stevenart

L'entreprise *Yara*, nous précise lors d'un échange courriel le 17 février 2017, qu'elle n'est pas intéressée par notre technologie. Ils ont déjà mis sur pied une symbiose industrielle avec *Coca-Cola*. *Yara* émet du CO_2 qui est transporté chez *Coca-Cola* et réinjecté dans les canettes.

c. AGC Glass : M. Boland

Nous avons échangé des courriels avec M. Boland durant le mois de mars. Après quelques précisions sur notre service, *AGC Glass* était d'accord d'être notre entreprise pilote et de nous aider à tester nos idées à grande échelle. A l'heure actuelle, leur traitement des eaux usées est mineur. Finalement, le projet test ne les intéresse pas car ils utilisent le même processus que *Saint-Gobain* et ne relâchent donc pas de Sulfate de sodium dans leurs eaux usées. Néanmoins, ce qui les intéresserait, ce serait de se procurer du sulfate de soude (pas spécialement le sulfate de Ca) de récupération pour l'utiliser dans leurs fours.

d. Prayon : Alain Germeau & Thierry Garnavault

Suite aux e-mails envoyés à nos clients potentiels, M. Germeau, directeur de la R&D chez *Prayon*, est venu nous rencontrer au Réaumur, le 27 Mars 2017.

M. Germeau ne pense pas que notre technologie puisse être adaptée chez eux. Ce qui les intéresse réellement, c'est de réduire leur taux de CO_2 . Sachant qu'une tonne de CO_2 est

commercialisée à 5 euros et que l'entreprise a droit à un quota d'émissions limité à 140.000 tonnes par an mais que l'entreprise ne produit que la moitié de ce quota de CO₂, *Prayon* évalue son potentiel de vente CO₂ résiduel à 350.000 euros par an (5€ x 70.000 t). *Prayon* possède deux sites en Belgique, un à Puurs et un à Engis.

Le débit d'eau usée moyen à Engis est évalué à 100 m³/h. Au total, l'entreprise paie 500.000 euros de taxes annuelles. Avec des taxes si peu élevées, notre technologie n'est en principe, pas intéressante pour *Prayon*. Le gain d'image obtenu grâce à l'installation de notre technologie n'est pas suffisant. Le traitement de l'eau a un coût qui entraînera un surcoût à la tonne d'eau. Ce dernier devra soit être facturé au client, soit diminuer le bénéfice de *Prayon*. Or *Prayon* ne peut pas se permettre de réduire son bénéfice.

Actuellement, les eaux usées de *Prayon* à Engis sont rejetées dans la Meuse. Parmi celles-ci, il y a 300 tonnes de phosphore par an. À Puurs, les eaux sont neutralisées pour répondre aux normes des minerais lourds. Traiter tous leurs déchets serait impossible, économiquement parlant.

Ils utilisent soit des sels anhydres³, soit des sels décahydratés⁴. Tout dépend du type de client et du procédé.

Ils se procurent du phosphate naturel en Russie (phosphate magmatique) et de l'acide phosphorique au Maroc, qui contient de l'uranium.

Ils ont déjà mis en place un système de symbiose industrielle avec une entreprise voisine, *Ecnauve*. Cette dernière leur achète le gypse qu'ils rejettent pour faire du plâtre.

Pour M. Germeau, un des aspects négatifs de notre projet est l'étiquette collée par les entreprises aux membranes : elles sont souvent de basse qualité comparées aux évaporateurs. Il insiste également sur une caractéristique nécessaire pour notre technologie : la résistance aux acides.

Suite au conseil de M. Germeau, nous avons contacté un de ses collègues : M. Garnavault. Ce dernier était supposé nous donner des données spécifiques concernant les effluents de *Prayon*. Après avoir été convaincu de notre bienveillance concernant l'utilisation de ces données, il nous a fourni les variables nécessaires pour monter un projet pilote. Malheureusement, nous

³ Sel anhydre = un sel est qualifié d'anhydre lorsque celui-ci ne possède pas de molécule d'eau dans sa forme solide

⁴ Sel décahydraté = à l'opposé du sel anhydre, est un sel qui possède des molécules d'eau, plus précisément 10 par molécule de sel dans le solide formé

avons découvert que les particules présentes dans les eaux usées sont fortement diluées et que le débit de ces eaux est gigantesque. Ces variables ne correspondent pas au profil recherché pour notre projet pilote. *Prayon* a donc été éliminée des entreprises test possibles.

e. Saint Gobain : Giampaolo Puncioni

La société *Saint Gobain*, active dans les secteurs du verre, nous a communiqué le 3 avril 2017 son désintérêt pour notre service. Il confirme que le sulfate de sodium est nécessaire à la production de verre en tant qu'affinant. Néanmoins, il n'y a aucun contact avec les eaux usées industrielles et donc, aucune trace de ces sels dans l'eau. La présence de ces sels dans l'eau dépend de la technologie utilisée pour la fabrication de verre. D'autres entreprises peuvent donc peut-être libérer ce sel dans leurs effluents. M. Puncioni nous conseille donc de nous diriger vers d'autres secteurs.

f. Erachem : Gaelle Hubert

Quentin Deplus de l'organisation IDEA nous a conseillé de prendre contact avec Gaelle Hubert employée chez *Erachem*. Cependant, nous n'avons jamais réussi à la joindre.

g. Hydrométal SA : Christophe Gielen

Le 20 avril 2017, nous avons eu la chance de rencontrer M. Gielen, manager d'usine de la société *Hydrométal*, au forum *Mind & Market*. Dans un premier temps, Monsieur Gielen s'est informé sur notre projet à notre table. Ensuite, il a assisté à notre présentation à l'issue de laquelle, il est venu nous parler. Nous lui avons expliqué le souci des effluents trop conséquents de *Prayon*. Il nous a alors mentionné que son entreprise rejette également du Na_2SO_4 dans ses effluents et que nous pouvions le contacter pour obtenir des données, si nécessaire. Nous lui avons alors demandé l'intérêt qu'aurait son entreprise à récupérer le sulfate de sodium. Sa réponse était claire : les taxes. *Hydrométal* doit payer des taxes annuelles sur le Na_2SO_4 qu'ils rejettent. En effet, ce sel rentre dans la catégorie "écotoxicité" du calcul des taxes. Ceci vient donc contredire les affirmations de M. Wylock. Même si certaines, sources comme la région wallonne, semblent fiables, il est nécessaire de confronter ces sources à la réalité du terrain. La société *Hydrométal*, filiale de *Prayon* serait donc intéressée par notre service.

3.4. Concurrents

a. Suez Environnement : Didier Peppin

Le 3 avril 2017, nous avons effectué un appel téléphonique qui a finalement abouti avec l'entreprise Suez Environnement. M. Peppin nous informe qu'aucune usine n'a besoin de

traiter 100 m³ d'effluents industriels. C'est beaucoup trop. Le débit maximum à traiter varie entre 30 à 50 m³/h. Estimer le prix de la technologie d'évapo-concentration vendue par *Suez Environnement* est extrêmement complexe, voire impossible. Chaque situation est différente. En effet, chaque industrie aura une technique adaptée à ses besoins, ses effluents et ses composants. Par ailleurs, il faut se rendre compte que ces technologies sont celles qui sont utilisées en fin de processus d'un traitement des eaux usées. En effet, il s'agit d'un complément. En général, à la dernière étape de recyclage des eaux usées industrielles, il ne reste quasiment pas d'eau ou très peu de m³, d'où une demande quasi inexistante pour des technologies adaptées à un débit de 100 m³/h. Malgré ces difficultés, une estimation de prix a tout de même été communiquée. Une technologie de *Suez Environnement* capable de traiter un débit de 50 m³/h coûte entre 30 et 50 millions d'euros. Ce débit n'est quasiment jamais commercialisé, et surtout pas en Europe. Le débit classique traité varie entre 20 à 30 m³/h. Les coûts sont étalés sur 10 ans.

b. France évaporation : Directeur du département technique

De nombreux e-mails ont été envoyés au service client et de multiples appels téléphoniques ont été effectués auprès de leur bureau en France. Tous sont restés sans réponse. Le 13 avril, nous avons finalement réussi à toucher un responsable. Il n'a pas souhaité répondre à nos questions. Monsieur X nous a simplement confirmé qu'il pouvait cristalliser tout type de molécule. On nous a également donné une approximation de prix pour un traitement d'effluents avec du Na₂SO₄ pour 50 m³ : 10 millions d'euros. Une conclusion saute aux yeux, le service client n'est pas efficace : nous avons envoyé une vingtaine d'e-mails restés sans réponse et appelé plusieurs fois avant d'obtenir ces brèves réponses.

c. Veolia

De nombreux e-mails ont été envoyés ainsi que de régulières tentatives d'appels ont été réalisés, mais sans jamais obtenir de réponse.

3.5. Fournisseurs

a. Liqui-Cel : Martin Ulbricht

Tout au long de l'année 2017, nous avons échangés de nombreux e-mails avec M. Ulbricht. Le service client est rapide et efficace. Monsieur Ulbricht nous a toujours répondu dans des délais de temps raisonnables, excepté pour les questions plus techniques, celles-ci n'étant pas de son ressort. Il nous a rassurées sur la durée de vie de la membrane. Celle-ci a une durée de vie de 5

à 10 ans. Certaines membranes installées chez leurs clients accumulent plus de 10 ans de fonctionnalité et n'ont pas encore dû être changées. Le prix de la membrane, quant à lui, varie selon la performance que nous souhaitons avoir.

b. PHC, Fournisseurs de pompe : Sébastien Hollange

M. Hollange nous a conseillées, lors d'un e-mail le 25 mars 2017, les pompes les plus adaptées à nos besoins. Aucune information supplémentaire n'a été recueillie.

c. *it4ip* : Etienne Ferain

Le 10 mai 2017, une conversation téléphonique intéressante a eu lieu avec Etienne Ferain. M. Ferain, ingénieur civil diplômé de l'UCL, est le CEO de la *start-up Spin-off* louvaniste *ip4it*. Cette jeune entreprise est spécialisée dans le développement des membranes. Il nous précise que les membranes produites par *ip4it* sont des membranes à plateaux et ne conviennent donc pas à nos besoins (membrane "torsadées"). Dans l'incapacité de nous fournir, il suggère, dans un premier temps, de comparer les prix des fournisseurs de membranes torsadées et de sélectionner les différents paramètres essentiels pour notre membrane. Une fois la sélection de membranes compatibles avec notre processus effectuée, il convient de tester chacune d'elles en laboratoire et de comprendre quelles variables de notre processus sont influencées par le changement de fournisseur de membrane.

Pour lui, les fournisseurs tels que 3M n'auront aucun souci à nous délivrer 6.000 membranes (de 1,4 m²). À titre de comparaison, leur start-up a une capacité de production annuelle de 150.000 m² de membranes.

Nous émettons la possibilité de demander à une entreprise de développer la membrane « parfaite » pour notre processus. Il nous précise que le nombre de membranes commandées, l'investissement dans le procédé de production, le *Return On Investment* en interne seront les variables clés du processus de décision de ces entreprises.

Une suggestion quant à un fournisseur de membranes a été émise : *Merckmillipore*. Ensuite, le CEO nous a également fourni des informations sur les filtres nécessaires à notre projet *scale up* (Solvay). Le problème, c'est la présence de sable dans les effluents. En tenant compte de cette donnée, le filtre le plus adapté est un système de filtration à plusieurs étages pour commencer par retirer les plus grosses particules, et ensuite, les plus petites. Ainsi, on évite de boucher les pores du filtre. Le premier filtre pour le sable doit posséder des pores de la taille de 100-200µm. Cela devrait suffire pour retirer les plus grosses particules. Selon lui, il faudrait se limiter à une filtration "tangentielle" ou faire passer l'effluent sur un tamis.

d. Merck group : M. Buchert

Durant le mois de mai nous avons contacter plusieurs fois le responsable client, M. Buchert pour obtenir des détails sur leur proposition de prix pour les filtres spongieux. Il nous a précisé que ces filtres étaient pour certaines utilisations à usage unique mais que la fréquence de changement dépendait de notre activité. Il nous faut faire des tests à échelle de laboratoire, afin d'analyser combien de fois nous pouvons employer leurs filtres. C'est un élément à étudier lors de l'élaboration du plan-pilote, après l'élaboration du projet prototype.

e. Siva-unit : M. Grospelly

Durant le mois de mai nous avons également contacter la société *Siva-unit* pour obtenir un devis à titre d'indication pour un système de filtration tangentielle cette fois. Ils nous ont communiqué le prix et le modèle adapté pour notre utilisation, tous les détails sont précisés dans le chapitre 11, plan de production.

3.6. Entreprises dans le même secteur

a. VITO : Johan Geysen

Suite au concours *CleanTech Challenge*, le centre de recherche *VITO* nous a conviées dans leur bureau à Mol le 8 mars 2017. M. Geysen nous a directement présenté *VITO* comme le partenaire potentiel. *VITO* est un centre de recherche. Parallèlement, c'est un intermédiaire entre les universités, les scientifiques, l'État et le marché. Ils recherchent des idées entrepreneuriales qui respectent l'environnement pour les aider à se lancer sur le marché.

La nouvelle application de la membrane les intéresse grandement. En effet, cette nouvelle technologie est complémentaire à un de leurs produits en voie de développement. Les raisons pour éventuellement construire un partenariat avec eux sont expliquées dans le chapitre 10 : Stratégie.

M. Geysen explique que la consommation en kWh/m³ est la caractéristique la plus importante de notre technologie. Elle doit être moins énergivore que la concurrence. Le design et l'élaboration de la boîte contenant et protégeant notre technologie ont également été abordés. Pour *VITO*, il est essentiel de réfléchir à l'emplacement de notre technologie dans le processus du client. De plus, des systèmes de filtres supplémentaires devraient être mis en place. Il pense qu'il y a un réel marché pour notre technologie. Les conditions sine qua non pour la réalisation du projet sont pour eux, la production de sels de qualité et le fait d'être non-énergivore. Il insiste également sur le besoin d'un ingénieur dans notre équipe.

b. *Indaver* : Bart Stiers

Après quelques échanges e-mails avec M. Stiers, ce dernier a essayé d'organiser une entrevue avec les responsables de la section environnement chez *Indaver*. Malheureusement, ceux-ci n'ont jamais été intéressés par notre requête.

3.7. Cabinets de consultants spécialisés dans cette matière

a. *Ecores*

Des e-mails ont été envoyés et des appels ont été effectués mais sont restés sans réponse.

4. Analyse des données résultant de l'étude

4.1. Récapitulatif des FCR résultant des entretiens et évolution de ceux-ci sur 5 ans

Nous avons synthétisé les FCR récoltés durant les entretiens, leur importance et leur possible évolution au cours des cinq prochaines années sous forme de tableaux. Le **Tableau 10** classifie les FCR concernant le service, tandis que le

Tableau 11 recense ce que Papin (2015) appelle les autres facteurs clés (FCR). La première colonne référence les FCR décelés lors des interviews par ordre décroissant d'importance. La seconde exprime le pourcentage d'importance du facteur en fonction des autres. La catégorie "variables concernées" explique sur quels éléments il est nécessaire de travailler pour contrôler les FCR. Finalement, la dernière colonne expose les anticipations d'évolution des FCR. Prendre en compte l'évolution de ces facteurs dans les années à venir est primordial pour être sûr de s'engager dans un modèle durable.

Tableau 10 Les FCR concernant le service (Papin, 2015)

Facteurs Clés de Réussite	Importance %	Variables concernées	Evolution prévisible du FCR
Avantage économique pour le client	90	Consommation d'énergie/ prix des sels vendus	Prix de l'énergie et matière première augmente
Pureté et qualité des cristaux obtenus	80	Membrane efficace	Qualité des cristaux augmente au fur et à mesure des recherches
Basse consommation en Kwh/m3	80	Pompe et système supplémentaire peu énergivore	Pompes moins énergivores apparaissent
Obtenir des sels anhydres	70	Ajouter une technologie supplémentaire	Evolution difficile à prévoir
Diagnostic individuel pour chaque client	60	Service sur-mesure, connaissance du client	Tendance à recentrer sur le client
Système de filtration pour protéger la membrane	50	Adapter les plans de la technologie en fonction du processus existant	Evolution difficile à prévoir
Flexibilité de notre technologie	50	Boîtier de la technologie adaptable à plusieurs processus	Evolution difficile à prévoir
Résistance de la membrane aux acides	40	Fournisseurs de membrane de qualité	R&D amélioration de la membrane
Pompes centrifugeuses	40	Catalogue du fournisseur	Pompes moins énergivores apparaissent
Transport des sels compris dans la S.I	35	Gestion logistique et transport	Sous-traitance

Tableau 11 Les autres FCR (Papin, 2015)

Facteurs Clés de Réussite	Importance %	Variables concernées	Evolution prévisible du FCR
Compétence d'ingénieur	90	Compétence de l'équipe	Inclure un ingénieur dans l'équipe
Appliquer à une solution la plus concentrée possible	80	Eaux usées industrielles du client	Imprévisible
Obtention du premier client : projet pilote	80	Client intéressé par notre service	Client non-intéressé
Placé le plus tôt possible dans le processus du client	70	Processus de production du client	Evolution difficile à prévoir
Design et élaboration du coffret de la technologie	40	Qualité des plans et de l'ingénieur	Evolution difficile à prévoir
Aptitude à choisir les bonnes entreprises pour la symbiose industrielle	40	Connaissance dans chaque marché	Rareté des ingénieurs civils dans les start-up

Voici donc une présentation des facteurs qui s'avèrent être primordiaux pour le projet ROS et qui, s'ils étaient négligés, pourraient altérer la viabilité du projet. Malgré nos recherches sur la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE) nous constatons que le gain économique reste l'une des motivations premières pour mettre sur pied une valorisation des eaux usées.

Si nous comparons les facteurs obtenus avec ceux choisis au départ, nous remarquons que l'équipe ROS n'avait pas pensé à certaines variables telles que : la pureté et la qualité des cristaux, obtenir des sels anhydres, l'importance du service sur-mesure, la résistance de la membrane aux acides, le type de pompe, le système de filtration supplémentaire si nécessaire, l'importance de la concentration de la solution et de l'emplacement de notre technologie dans le processus du client ainsi que le design de la boîte contenant la membrane. Il est donc préférable d'obtenir des sels anhydres. Néanmoins, certains processus utilisent des sels décahydratés. Chacune de ces variables sera prise en compte dans les parties adéquates. La plupart viendront compléter le processus général.

5. Conclusion de l'analyse qualitative : évaluation du marché potentiel et tendances dégagées via les entretiens

Grâce à l'étude effectuée, nous avons également récolté certaines informations sur la courbe de vie de notre service, sur la potentielle demande de celui-ci et sur certains choix stratégiques primordiaux (Papin, 2015). Ces informations vont nous aider à comprendre s'il y a réellement un marché pour le service ROS.

Premièrement, les avis récoltés auprès des clients sont dans l'ensemble négatifs pour le projet. Bien que M. Deplus pense que l'éco-zoning de Tertre pourrait être intéressé par notre technologie. *Yara* situé dans ce zoning nous a déjà répondu négativement. *Prayon* ne souhaite pas dépenser plus d'argent dans son système de traitement des eaux. *Solvay* n'a pas donné de raison spécifique pour son refus. *Saint-Gobain*, *AGC Glass* ne sont pas non plus intéressés par le service. En effet, lors de mails échangés, nous nous sommes rapidement rendu compte que notre technique ne les intéressait pas. Bien que leur processus de production de verre requière du sulfate de sodium, il s'avère qu'ils n'en libèrent pas dans les eaux usées. Néanmoins, la société *Hydrometal* a émis un avis positif sur notre projet. L'organisation *IDEA* nous suggère de nous concentrer sur les zonings collaboratifs mais cette solution n'est pas envisageable. Les entreprises présentes sur ce type de zoning rassemblent en effet leurs effluents en un seul flux. Cela donne donc un volume d'effluent beaucoup trop élevé, avec une concentration en sel trop faible pour que la technologie ROS soit intéressante. Ces raisons expliquent également pourquoi nous ne ciblons pas les stations d'épurations.

Dès lors, nous ne pouvons plus estimer le secteur du verre, dans ce cas-ci le secteur de la production, comme un client potentiel. Néanmoins, *AGC Glass* nous a informées qu'ils utilisent beaucoup de sulfate de sodium et pourraient avoir un intérêt à en acheter sous forme recyclée. *Prayon* serait également intéressé par un service de symbiose industrielle.

Ainsi, le secteur du verre ne sera pas inclus dans notre cible standard pour le sulfate de sodium. Les entreprises présentes dans ce secteur seront seulement intéressées par l'acquisition de ce sel via le service de symbiose industrielle.

Concernant le secteur pharmaceutique, grâce à l'interview de M. Lacroix, nous avons compris que le besoin de ce secteur n'était pas du tout le même que celui du secteur chimique. Ce secteur est plus envisagé comme une piste de solution qui nous permettrait d'utiliser la technique à d'autres fin. Nous ne pouvons donc pas envisager de rentrer dans ce secteur car cela modifierait

notre service et impliquerait un investissement beaucoup trop important en temps et en argent. Le travail resterait centré sur les membranes mais pour une autre application : la cristallisation des médicaments. Ce processus n'a pas encore été prouvé, il y aurait donc un autre processus de R&D à mettre en œuvre. En effet, pour l'instant, nous n'avons aucune certitude qu'en employant les membranes le médicament se cristallise sous sa bonne forme. Le service ne serait donc plus dans l'optique de recycler mais de trouver une alternative aux outils de concentration et de cristallisation actuellement employés dans le secteur pharmaceutique.

Un des critères principaux d'acquisition de la technologie est le ratio positif investissement/gain économique. Or, avec le revirement de situation et la nécessité d'assembler 5.866 membranes pour traiter seulement 1,4 m³ ce critère n'est pas validé pour le *business model* que ROS a choisi. Ce fait sera démontré lors de l'analyse du projet prototype *Solvay* dans le chapitre 11.

Nous pouvons donc conclure qu'il n'y a pas de marché pour le *business model* que ROS souhaite implémenter. Néanmoins, nous souhaitons aller jusqu'au bout de l'analyse de notre projet afin de bien comprendre quels sont tous les obstacles et, à la fin de ce mémoire, présenter les alternatives et solutions possibles pour réorienter le projet ROS. Il est à noter que M. Dallemagne nous a donné certaines pistes de reconversion que nous explorerons plus tard.

Nous avons pointé du doigt les tendances découvertes lors des interviews qui peuvent, couplées à l'analyse SWOT, aiguiller nos choix stratégiques.

Tout d'abord, notre cible a été confirmée : nous devons viser les grandes entreprises qui ont assez de budget pour investir dans l'environnement. La personne cible à viser dans chaque entreprise est la responsable HSE. Concernant le travail en laboratoire, nous devons programmer le plus vite possible le passage au flux continu, au lieu de rester en batch. Ensuite, pour être compétitif nous devons être capable de traiter un flux de 30 à 50 m³/h, même 15-30 semblent suffisants. Au niveau du marketing, la démystification de la fragilité des membranes est importante et doit être une priorité. Avec *Yara*, *Prayon* et l'éco-zoning de Tertre nous pouvons confirmer l'engouement des entreprises pour les partenariats gagnant-gagnant. Les entreprises dans le secteur de production du verre sont demandeuses de sulfate de soude de récupération et sont donc intéressées par notre service de symbiose industrielle.

Les participants à l'étude ont également soulevé certaines contraintes qui pourraient faire obstacle à notre projet : le comportement de notre fournisseur principal *Liqui-Cel* et la solution

osmotique restante après la valorisation des sels. Celles-ci seront donc intégrées aux faiblesses de *ROS*.

Concernant les possibilités de partenariats, nous pouvons dégager une tendance enthousiaste et positive de la part des organisations régionales et provinciales à participer et financer des projets de collaboration et d'amélioration environnementale. Nous pourrions donc envisager un partenariat avec ce type d'organisation.

Pour conclure, nous avons essayé d'évaluer la durée de vie de notre service en couplant notre analyse Pestel, Porter et l'analyse qualitative effectuée ci-dessus. Les concurrents directs mentionnés dans l'analyse de Porter sont ceux pouvant compromettre notre évolution dans le marché. Pour nos clients potentiels, se procurer du sel localement a un certain intérêt mais ils ne sont pas convaincus par notre proposition de revalorisation des sels. Ce rejet est dû aux offres complètes proposées par nos concurrents et au coût des membranes. Comme mentionné lors de l'analyse Pestel, nous allons vers une tolérance "zéro déchets". *Suez environnement, France évaporation* propose des technologies complémentaires, modulables et assemblables pour traiter tout type de déchet, une stratégie en concordance avec les nouvelles normes.

Cependant l'intérêt envers le service de symbiose industrielle est présent et semble grandissant. En nous basant sur ces faits, nous pouvons donc affirmer que l'espérance de vie de notre service, non couplé à d'autres acteurs/technologie, malgré l'enthousiasme pour la symbiose industrielle, est faible. Des pistes de solution seront explorées lors de la conclusion de ce mémoire.

6. Étude de cas : un projet prototype

Suite à notre premier entretien avec M. Horbez, nous avons décidé de prendre les données standard de *Solvay* pour évaluer notre projet à l'échelle industrielle. À travers le cas évoqué, nous souhaitons également reconstituer le processus d'évacuation des eaux usées des entreprises en général. Cette étude est cruciale pour comprendre notre technologie dans son contexte et lui donner vie. Le projet prototype est présenté dans le chapitre 11 : Plan de production. Ces informations ont été guidées par M. Tanguy Van Regemorter et validées par le doctorant Israel Ruiz Salmon. Après la démonstration technique, nous expliquerons pourquoi, économiquement parlant, le modèle *ROS* n'est pas viable.

Chapitre 8 : Recherche scientifique du procédé ROS

1. Introduction : Contexte général du travail

De nos jours, la société vit une certaine conscientisation quant à l'impact des activités anthropiques sur son environnement et sa santé. La pollution en est une, où le secteur industriel a également sa part de responsabilité. Tandis que la recherche accorde une attention particulière à la durabilité des nouvelles technologies développées, dont les technologies membranaires (Quist-Jensen, Macedonio, Horbez, & Drioli, 2017), la politique encourage les industriels à adopter des procédés plus durables, notamment via la mise en place du programme REACH pour le secteur chimique (European Chemicals Agency [ECHA], 2017), de la directive « IPPC » pour limiter au minimum les émissions de pollutions venant des secteurs industriels à fort potentiel de pollution, encadrés par l'Union européenne (Commission européenne, 2003).

Les secteurs visés par cette directive sont majoritairement en lien avec la chimie, comme on peut le constater dans une revue semestrielle de la Commission européenne *Life focus*, publiée dans le cadre du programme Life III : « ... Les secteurs actuellement couverts, définis dans l'Annexe I de la Directive, comprennent les activités à fort potentiel de pollution telles que les industries énergétiques, la production et la transformation des métaux, l'industrie minérale, l'industrie chimique ou encore l'industrie de la pâte à papier et du papier, le prétraitement ou la teinture des textiles, ..., la transformation alimentaire, ..., le traitement de surfaces ayant recours à l'utilisation de solvants organiques et la fabrication de carbone ou d'électrographite... » (Commission européenne, 2003, p.8).

Ces rejets ont des impacts non négligeables sur l'environnement. Les effluents industriels contiennent notamment des sels, coproduits n'ayant pas réagi ou produits secondaires des procédés de production. Ces sels sont responsables notamment de l'eutrophisation de l'eau, et à plus long terme, pourraient, par leur accumulation dans les sols nuire à la fertilité de ces derniers menaçant directement notre survie. De fait, même si certains sels sont essentiels à la vie, leur déficience ou excès y nuit. Les plantes employées pour l'agriculture ne sont pas tolérantes à de hauts niveaux de salinité dans le sol (Epstein, 2009). En addition à cela, l'industrialisation rejette également des éléments toxiques pour la vie (en fonction du degré d'exposition, comme le Plomb (Demayo, Taylor, Taylor, Hodson, & Hammond, 1982). Actuellement, les entreprises sont soumises à une taxation sur leurs rejets, notamment sur les sels contenus dans leurs effluents, de par leur écotoxicité.

A l'heure où les réserves de certaines matières premières minérales arrivent à un niveau critique, où la société, désireuse de diminuer son impact sur l'environnement, impose une législation poussant les industriels à adopter des procédés plus durables, nous proposons le projet *ROS*. Ce projet s'inscrit dans une dynamique d'économie circulaire, en proposant aux industriels un service de distillation et cristallisation membranaire. Ce service permet un recyclage de sels présents dans leurs eaux usées, afin de les insérer dans le marché en tant que matière première.

La recherche scientifique décrite dans l'ouvrage qui suit, s'inscrit dans le cadre d'un mémoire CPME (option interdisciplinaire en création de petites et moyennes entreprises). Un mémoire CPME consiste en l'élaboration d'un plan d'affaires pour une activité économique théorique proposant un bien ou un service. Cette partie de recherche scientifique du mémoire axera donc son contenu vers un but d'application industrielle.

Ce mémoire va étudier la faisabilité technique et économique de distillation et cristallisation membranaire de solutions salines, représentant des effluents industriels. Le set-up expérimental correspond à la dernière étape d'un procédé de capture et valorisation en Na_2CO_3 du CO_2 développé par Patricia Luis Alconero et actuellement étudié par Israel Ruiz Salmon.

2. État de l'art

2.1. État de l'environnement

Il y a plusieurs sortes de déchets anthropiques rejetés par plusieurs sources distinctes : les déchets gazeux, liquides et solides d'origine domestique ou de l'activité économique (industrie, construction, agriculture, etc.) (Solid Waste, s.d.). Le secteur industriel que ce soit la tannerie, l'extraction minière ou encore le secteur des colorants émet notamment des effluents, et ce en grandes quantités (Lu, Wang, Wang, Wang & Bao, 2017). Un effluent est, d'après le site Dictionnaire Environnement (2010), un « terme générique désignant une eau résiduaire (ou usée) urbaine ou industrielle, et plus généralement tout rejet liquide véhiculant une certaine charge polluante (dissoute, colloïdale ou particulaire). Ces effluents recèlent des composants organiques ou chimiques nuisibles à l'environnement » (Dictionnaire environnement, 2010, para.1), notamment des sels.

Chaque effluent a ses caractéristiques propres, qui varient énormément de part la diversité des sources possibles. Ceci complexifie leur gestion et traitement. Des conséquences néfastes

suite au rejet de ces effluents ont déjà été recensées comme par exemple la pollution de l'eau, et du gaspillage de ressources (Lu et al., 2017).

Lorsqu'un effluent contenant des sels est rejeté sans traitement, son impact principal est sur la salinité des eaux et des sols. De grandes quantités d'effluents salins sont rejetés (Qin, Liu, Meng, Fan, He, Liu, Shen & Zhang, 2016), la qualité de l'eau de surface et souterraine est détériorée dû à l'industrialisation (Jang, Hwang, Shin & Lee, 2013) donc l'impact ne peut être négligé.

Tout d'abord, la présence de sels solubles inorganiques dans les eaux provoque pour la vie aquatique des stress osmotiques au niveau cellulaire, ce qui impacte par exemple, la croissance des micro-organismes (Qin et al., 2016). Pour le troisième secteur plus gros producteur d'effluent salé, l'industrie pétrolière (Lefèbre & Moletta, 2006), trouver un moyen de diminuer la quantité d'eau salée rejetée est un vrai défi d'actualité. Surtout pour les points d'extraction se trouvant souvent en zones arides (Ali, Quist-Jensen, Macedonio, & Drioli, 2015). De plus, le sel présent dans l'eau finira par arriver dans les sols par le cycle de l'eau. Et il est bien connu qu'un excès de sel nuit à la croissance des plantes (Yan, Marschner, Cao, Zuo & Qin, 2015), notre nourriture. En règle générale, la salinité nuit à la vie par deux biais. Le premier est qu'elle réduit la quantité d'eau disponible dans les sols. Le second est que les ions responsables de la salinité peuvent engendrer une certaine toxicité, ainsi qu'une déficience en nutriments (les nutriments nécessaires, sont remplacés par les sels au sein des mécanismes biochimiques) (Epstein, 2009).

Il y a également des effets plus particuliers, propres à chaque sel. Par exemple, le carbonate de calcium peut être responsable de la turbidité des eaux (Gestion des ressources hydriques Manitoba et Santé Manitoba, 2011). La turbidité est le fait qu'une eau est trouble. Ce n'est pas bon signe pour les services gérant l'eau car certains traitements ne sont plus possibles, cela peut révéler que des éléments pathogènes s'y trouvent ou encore, cela peut présager que la qualité des sols est détériorée (Sénat, 2017).

Le sulfate de sodium est largement employé dans les secteurs du verre, de la papeterie, et des détergents (Li, Van der Bruggen, & Luis, 2014). Les cours d'eaux en contiennent les plus grandes quantités en Belgique et au Mexique. Les études n'ont déterminé aucune pollution ou dommages sur le vivant, seulement des plaintes quant au goût de l'eau courante lorsque la concentration de ce sel augmente (World Health Organization, 2004), et dont la consommation peut causer des troubles digestifs tels que diarrhée (Kegley, Hill, Orme, & Choi, 2016). Si un

ouvrage en béton n'a pas été prévu pour présenter une résistance aux sulfates (pas de traitement à la chaux par exemple) (Le Roux & Orsetti, 2000), un contact avec des sulfates, peut engendrer des dommages aux bétons en 10 à 15 ans (Gagné). Pour le sulfate de sodium plus spécifiquement, la conséquence est une ettringite secondaire extensive (Le Roux & Orsetti, 2000). Enfin, selon Chatterji et Jensen : « *Les sulfates de sodium sont considérés comme les sels les plus destructeurs dans les matériaux poreux* » (cités par Denecker, 2015, p.48), bien que leur rôle ne soit toujours pas bien compris dans l'endommagement des pierres. (Denecker, 2015)

Un autre exemple est celui des nitrates. Leur déversement, ainsi que celui des phosphates est responsable de l'eutrophisation, de la variation du pH et de salinité des plans d'eaux. Ceci a un impact direct sur la vie aquatique pouvant mener à sa disparition quand la concentration saline de l'eau est élevée (Baok, 2007). La première cause de l'eutrophisation est les rejets, domestiques et industriels (Chesselet, s.d.).

Mais ce problème d'eutrophisation est un problème généré par une grande partie des sels. Tout comme l'impact sur les micro-organismes, et sur la vie aquatique. A plus long terme, la salinisation des sols entraîne une perte de productivité pour l'agriculture (Shrivastava & Kumar, 2015).

L'évacuation des effluents salés est un problème grandissant à l'échelle mondiale (Kim, 2011).

Tout un temps considéré comme des solutions salines résiduelles, ces effluents étaient simplement largués en zone côtière, enfouis dans le sol ou traités par simple évaporation (Kim, 2011). Des traitements physico-chimiques existent mais sont souvent énergivores et coûteux en frais de maintenance et d'opération (Jang et al., 2013). Un des moyens de dissuader les industries de perpétuer ces déversements est la taxation. En Belgique, les entreprises déversant des effluents salés sont taxées. La teneur en sels rentre dans la section écotoxicité de la formule de taxation (Perleau, 2016).

Pour pallier à l'impact négatif de ces émissions de déchets dans notre environnement, une solution est de les valoriser, permettant ainsi non pas de diminuer, mais de ne pas augmenter la quantité de déchets créés. De fait, réemployer un déchet en tant que matière première, implique une baisse de consommation de matière première, la production de déchets n'augmente plus. Tout ceci rentre en concordanance avec le terme durable. Le durable, c'est ce que les technologies et procédés en cours de développement essaient d'embrasser, à tous les

niveaux, de l'économie durable à un impact sur l'environnement durable (Quist-Jensen et al., 2017).

2.2. Que fait-on pour traiter les effluents actuellement ?

Une analyse des méthodes de traitement des effluents industriels par la concurrence a été réalisée au chapitre 4 « La concurrence ». Cela concerne surtout le traitement pour ôter les sels des effluents. Il en ressort l'existence d'un large panel de méthodes de traitement. Les solutions majoritairement proposées pour les sels sont des unités d'évapo-concentration ou d'évapo-cristallisation. De manière plus générale, les entreprises peuvent faire appel à stations d'épuration pour traiter leurs effluents.

L'ultrafiltration, la coagulation ou floculation sont employées pour ôter des particules en suspension des effluents hyper salins. Les résines échangeuses d'ions sont employées pour l'adoucissement de l'eau. Les anions et cations sont remplacés par des H^+ et OH^- (Lefebvre & Moletta, 2006). Seulement l'effluent ne peut contenir de trop grandes quantités de particules en suspension au risque de boucher les résines et la régénération de ces dernières est coûteuse (Kim, 2011). Il existe également des traitements aérobiques et anaérobiques pour retirer les composés organiques, ou des nutriments d'effluents à forte concentration saline (Lefebvre & Moletta, 2006). Le choix se portera sur l'une ou l'autre méthode en regard des traitements nécessaires, du budget alloué etc.

Au fil des dernières décennies, la recherche et les industries se sont consacrées à l'élaboration de systèmes permettant de récupérer les matières valorisables de leurs déchets, ou d'en extraire certaines afin de limiter leurs impacts sur l'environnement. Par exemple, en extrayant du pétrole et du gaz, les exploitations pétrolières produisent un effluent à salinité élevée. L'élaboration d'un procédé de désalination membranaire a été réalisée, permettant non seulement de réduire la pollution induite par l'extraction mais aussi une production d'eau douce. Élément intéressant pour les exploitations souvent situées en zones arides (Ali et al., 2015).

Et ceci est valable également pour les émissions de gaz. De fait, le secteur industriel est connu pour son largage de gaz tels la vapeur d'eau, le CO_2 et le méthane, contribuant à l'effet de serre (Simon, 2016), ou encore de SO_2 , responsable notamment de dépôts acides. Ces dépôts acides endommagent les zones d'eau douce (lacs et rivières), tout comme le développement du monde végétal (Li et al., 2014).

Pour résumer, le 21^{ème} siècle voit une nette tendance du secteur industriel à diminuer son impact sur l'environnement, en travaillant sur le traitement, le recyclage ou la valorisation de ses déchets. Différentes solutions sont proposées, et chaque système mis en place est unique, dû à la diversité des effluents. Dans le cadre de ce mémoire, l'accent sera porté plus particulièrement sur une technique de traitement prometteuse des effluents industriels, qui est la cristallisation. La cristallisation permet de séparer sélectivement de la phase liquide, un composé solide. Un tour d'horizon des différentes méthodes de traitement des effluents par cristallisation sera réalisé, avant d'aborder les technologies membranaires, dont la cristallisation membranaire.

2.3. Technologie

2.3.1 Où en est la technologie en matière de cristallisation de solutions salines

La cristallisation dans le traitement des effluents est considérée comme une solution prometteuse, surtout en ce qui concerne la récupération d'eau douce et de sels valorisables. Certains auteurs ont répertorié les différents moyens de cristallisation, ainsi que leurs applications (Kim, 2011 ; Lu et al., 2017).

Evapo cristallisation (EC)

Lors d'une cristallisation EC, la solution est soumise à un traitement thermique. Il s'ensuit une « dislocation » des sphères de solvations de la solution. Le solvant s'évapore, ne reste que le soluté, qui se cristallise. Employée depuis plus de 5000 ans, elle permet aussi de concentrer jusqu'à saturation une solution moins concentrée, permettant alors la cristallisation des sels via une évaporation supplémentaire du solvant restant. La méthode est largement employée dans divers secteurs pour sa maturité et son efficacité, notamment pour le traitement des effluents concentrés en Cl^- , SO_4^- , Na^+ et Ca^{++} (Lu et al., 2017).

L'évapo-cristallisation se décline de deux façons, la seconde étant en train de prendre le dessus en matière d'intérêt sur la première, pour sa simplicité.

La première est la cristallisation par évaporation à multiple effet : (Multiple effect evaporation crystallization, MEEC, en anglais). Ce procédé consiste en un alignement en série d'évaporateurs, où la solution à cristalliser sera portée à ébullition par de la vapeur insérée dans le premier évaporateur. Un jeu de transfert de vapeur générée suite à l'ébullition entre les évaporateurs permet une consommation limitée d'eau douce. La technologie. Comparé à un système avec un seul évaporateur (SEE : Single-effect evaporation), le système MEEC permet

une cristallisation plus rapide, et moins énergivore (Lefevre&Moletta, 2006). Le système a comme désavantage la complexité et la taille de sa structure, comme l'illustre le schéma et la photo ci-dessous (Figure 9 et Figure 10) ci-dessous.

Cela n'empêche néanmoins pas son application dans des procédés industriels, tel par exemple, l'étape de concentration du jus de betterave à la raffinerie de Tirlemont (Raffinerie Tirlemontoise), ou d'être proposé par la concurrence de notre projet de mémoire pour le traitement d'effluents industriels (France évaporation).

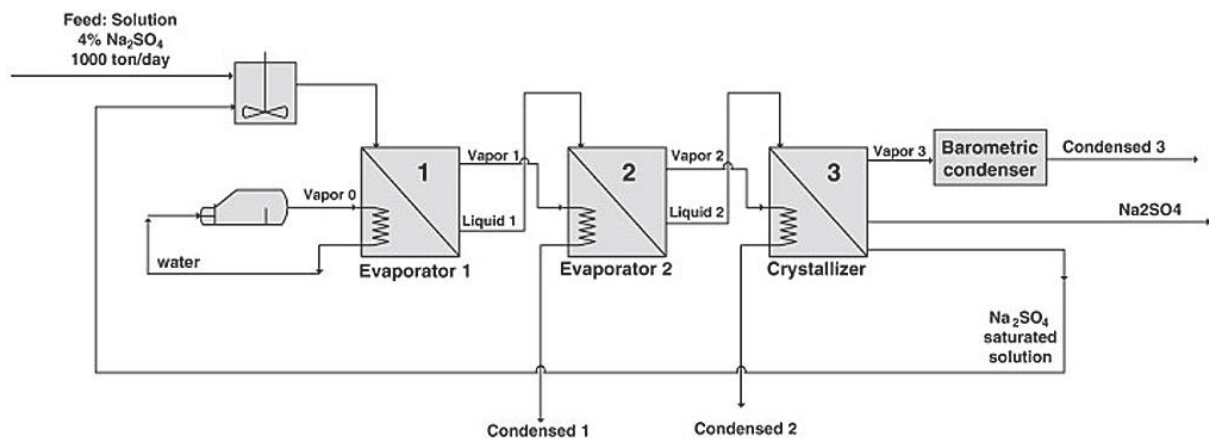


Figure 9 Schéma d'un système de cristallisation à multiple effet (extrait de Lu et al., 2017)



Figure 10 Photo d'un système d'évaporation à multiple effet utilisé en industrie (Raffinerie Tirlemontoise, s.d.)

Une autre technologie est la cristallisation par compression ou recompression mécanique de vapeur : (Mechanical vapor recompression crystallization, MVRC en anglais). Elle a été envisagée comme alternative pour le traitement des effluents à haute salinité. (Liang & Hang, 2011). De fait, l'efficacité est améliorée en termes de consommation énergétique par rapport à l'évaporation à multiple effet, vu que la vapeur secondaire est compressée à la sortie de l'évaporateur. De plus, l'espace occupé est moindre, car comme l'illustre la Figure 11, il n'y a qu'un seul évaporateur. Seulement, lorsque la concentration de l'effluent augmente, la

technique perd de son efficacité, la consommation énergétique augmente pour continuer le procédé et une certaine maintenance est à prévoir pour l'entretien du compresseur. Ce qui fait que cette méthode n'est pas encore largement répandue dans le secteur industriel (Cetiat, 2017 ; Lu et al., 2017).

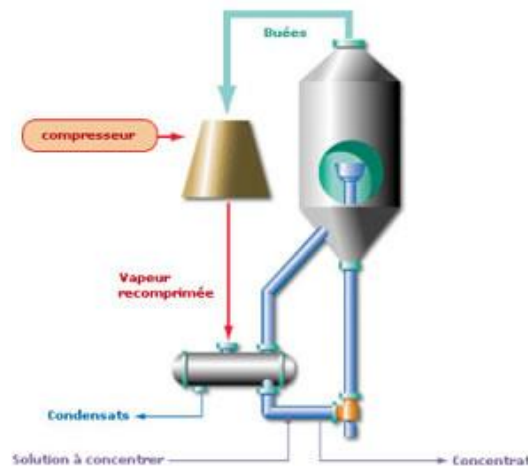


Figure 11 Schéma d'un système de la cristallisation par compression ou recompression mécanique de vapeur.
(extrait de Cétiat, 2017)

Cooling crystallization

Cette méthode de cristallisation est appliquée dans de nombreux domaines d'activités pour les solutés dont la solubilité dépend très fortement de la température. Elle se divise en trois catégories : la cristallisation du soluté, la concentration par congélation, et enfin la concentration par congélation eutectique.

Tout d'abord, la cristallisation du soluté est réalisée sur le principe que comme la solubilité augmente avec la température, si la solution est refroidie, il y aura donc cristallisation. Le procédé est employé pour la valorisation de sels minéraux (Lu et al., 2017), mais est aussi étendu à la récupération de composés organiques (Kontos, Koutsoukos, & Paraskeva, 2014).

Ensuite, la concentration par congélation est présentée comme une méthode prometteuse d'extraction des effluents de l'eau (Lu et al., 2017). Le principe consiste à diminuer la température d'une solution dont la concentration en soluté est inférieure au point eutectique. Ainsi, c'est l'eau qui cristallise en premier, elle est donc extraite de l'effluent. Le diagramme de phase binaire repris à la figure **Figure 12** illustre ceci. Beaucoup de recherches sont entreprises sur le sujet étant donné que la séparation eau-solutés est très efficace, qu'il n'y a pas besoin de pré-traitement (Johnson, 1976), que le procédé n'est pas énergivore et qu'il n'y

a pas de problème de blocage ou encore de corrosion (Williams, Ahmad, Connolly, Oatley-Radcliffe, 2015).

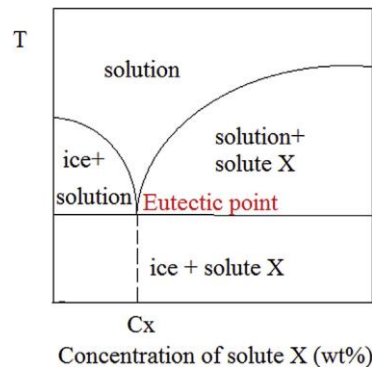


Figure 12 Diagramme de phase binaire d'un soluté X en phase aqueuse (extrait de Lu et al., 2017)

Mais la technique n'est pas encore répandue dans le traitement des effluents car elle recèle des inconvénients importants pour les éventuels intéressés tels les coûts d'investissement trois fois plus élevés que pour les procédés d'évaporation, la limite de capacité de traitement et la complexité mécanique. (Lu et al., 2017)

Enfin, la cristallisation par congélation eutectique est également, au stade de recherche dans le but d'être appliquée à l'extraction extrêmement pure de l'eau et des sels des effluents. L'idée, ici, est de congeler l'effluent à la concentration et température eutectique de la solution. C'est-à-dire, à l'endroit où la glace et le sel cristalliseront simultanément mais séparément (Lu, 2014). Par une différence de densité, le sel et l'eau solides, se séparent, l'eau plus légère se mettant au dessus. La méthode comporte également un avantage énergétique. En effet, solidifier la glace requiert moins d'énergie (6,01kJ/mol) que l'évaporer (40,65kJ/mol) (Lu et al., 2017) et donc la cristallisation par congélation eutectique peut requérir jusque 90% d'énergie en moins que l'évaporation (Lu, 2014).

A nouveau, les points faibles de cette technologie sont les coûts d'investissement et la complexité mécanique (Lu, 2014).

Cristallisation par réaction

L'idée est de générer des composés insolubles ou peu solubles, en faisant réagir certains ions avec un contre ion dont le produit résultant a une faible solubilité. Ainsi, le produit précipite, et est aisément séparable de la solution. Cette méthode offrant des produits à haute pureté est fortement exploitée pour l'extraction des effluents de métaux lourds.

Les inconvénients sont que les produits formés ne sont pas toujours stables en fonction du pH et le rendement pas maximum, et parfois la précipitation entraîne la formation de boues, compliquant la filtration (Al-Tarazi, 2004 ; Chen, 2012).

Des recherches se font encore sur le domaine, pour améliorer la séparation en employant par exemple des zéolithes (Lu et al., 2017). L'intérêt des industries est encore palpable avec par exemple une publication sur la récupération de Zinc et de phosphate d'un effluent, via une installation semi-pilote de précipitation (Huang, Zhang, Yang, Zhang, Guo, & Liu, 2017).

Cristallisation par ajout d'anti-solvant (Drowning-out crystallisation)

Cette technique est souvent employée par le secteur pharmaceutique pour extraire d'une solution un soluté dont la solubilité y était élevée. L'extraction par cristallisation se fait par ajout d'un autre solvant où le soluté possède une solubilité bien moindre.

Néanmoins, ce procédé nécessite une étape de purification des cristaux, pour les séparer de l'anti-solvant (Genk, 2010).

Une nouvelle technologie : la cristallisation membranaire

Le paragraphe a présenté jusqu'à présent les différentes solutions existantes en matière de traitement des effluents industriels via le phénomène de cristallisation, Les techniques décrites jusqu'à présent comportent toutes des spécificités, avantages et inconvénients ce qui leur confère des domaines d'applications pas forcément similaires. Les avantages et inconvénients des différentes techniques sont regroupés dans la **Figure 13**, directement extrait de Lu et al., 2017.

La cristallisation, de manière générale reste une méthode pleine de possibilités pour répondre à la demande croissante de valorisation des déchets, impliquant donc une séparation efficace des différents composés d'un effluent. La richesse de méthodes disponibles permet aux industries d'optimiser la consommation d'énergie, les coûts d'investissement et de recherche pour élaborer le service fini, en fonction de la nature de l'effluent à traiter.

Summary of the advantages and disadvantages of different crystallization techniques in wastewater treatment.

Crystallization techniques		Advantages	Disadvantages
Evaporation crystallization (EC)	Multi-effect evaporation crystallization (MEEC)	1 wide applicability 2 fast processing speed	1 need external heating vapor 2 complicated system 3 complex operation
	Mechanical vapor recompression crystallization (MVRC)	1 high thermodynamic efficiency 2 energy saving 3 low running cost 4 less space occupation 5 reliable and flexible operation	1 high capital costs 2 high electricity consumption
Cooling crystallization	Solute crystallization	1. Easy for operation 2. Simple devices	limited to direct solubility compounds
	Freeze crystallization (FC)	1 recover high-purity ice 2 high energy efficiency 3 free from fouling, scaling and corrosion issues 4 ice can be used for cold heat storage	1 high capital costs 2 high mechanical complexity 3 limited treatment capacities
	Eutectic freeze crystallization (EFC)	1 recover water and salts simultaneously 2 more energy-saving 3 remove heavy metals 4 recover inorganic ions	1 high capital costs 2 high mechanical complexity need chemical agents
Reaction crystallization (RC)		1 operate at ambient temperature 2 can control impurities in the product	1 need drowning-out agent 2 narrow applicable range
Drowning-out crystallization		1 operate at low pressure and temperature 2 reject nonvolatile solutes completely 3 recover high-purity water 4 can couple with clean energy or low-grade heat sources 5 can operate at high concentration	1 high energy consumption 2 concentration and temperature polarizations 3 may crystallize in the module
Membrane distillation crystallization (MDC)			

Figure 13 Synthèse des avantages et inconvénients des techniques de cristallisation pour le traitement des effluents industriels tiré de : Lu et al., 2017

La distillation et cristallisation membranaire se retrouvent dans la Figure 13. Etant une technique de séparation avant toute chose, les membranes commencent à s'inscrire dans les solutions pour le traitement des effluents (Ali et al., 2015 ; Lu et al., 2017 ; Quist-Jensen et al., 2017). Avant de parcourir la cristallisation membranaire plus en détail, ce travail se focalisera d'abord sur les membranes en général, un bref historique. Ensuite, la distillation membranaire sera expliquée pour finaliser cette partie technique sur la cristallisation membranaire en elle-même.

2.3.2. Les technologies membranaires en général

Les membranes peuvent être définies comme une barrière semi-perméable permettant la séparation contrôlée de différentes phases, aussi bien gazeuses que liquides (Mulder, 2012). Les deux côtés de la membrane s'appellent l'alimentation (*feed* en anglais), et le perméat (*permeate* en anglais). L'alimentation est la phase gazeuse ou liquide que l'on souhaite traiter avec le procédé membranaire mis en place. Cette technologie de séparation jouit d'une innovation et d'une croissance rapide. Les secteurs tant industriel qu'académique mettent régulièrement au point de nouveaux procédés sur base de ces membranes. (Mulder, 2012). De fait, les technologies membranaires s'alignent dans les rangs des stratégies d'intensification de procédés (« PSI »). Les PSI ont pour but de minimiser la consommation énergétique et l'impact environnemental des procédés, ainsi que minimiser l'emploi de matières premières tout en maximisant la production, etc. Ceci procure à l'ingénierie membranaire une importance

non négligeable dans les recherches sur l'amélioration de la technologie, dans une optique de développement de procédés industriels durables. (Quist-Jensen et al., 2017)

Les applications découlant de la technologie membranaire sont aussi variées que les sortes de membranes existantes (Kieffer, 2008).

La technologie membranaire se scinde en deux branches, selon que la séparation qui a lieu se fait par la membrane de façon sélective ou non (Luis, Van Gerven & Van der Bruggen, 2012).

La filtration sélective se base sur le principe qu'un composé a une meilleure diffusion à travers la membrane que les autres. Il passera préférentiellement par rapport au reste de la solution dans laquelle il se trouve de l'autre côté de la membrane (Janssens, 2015).

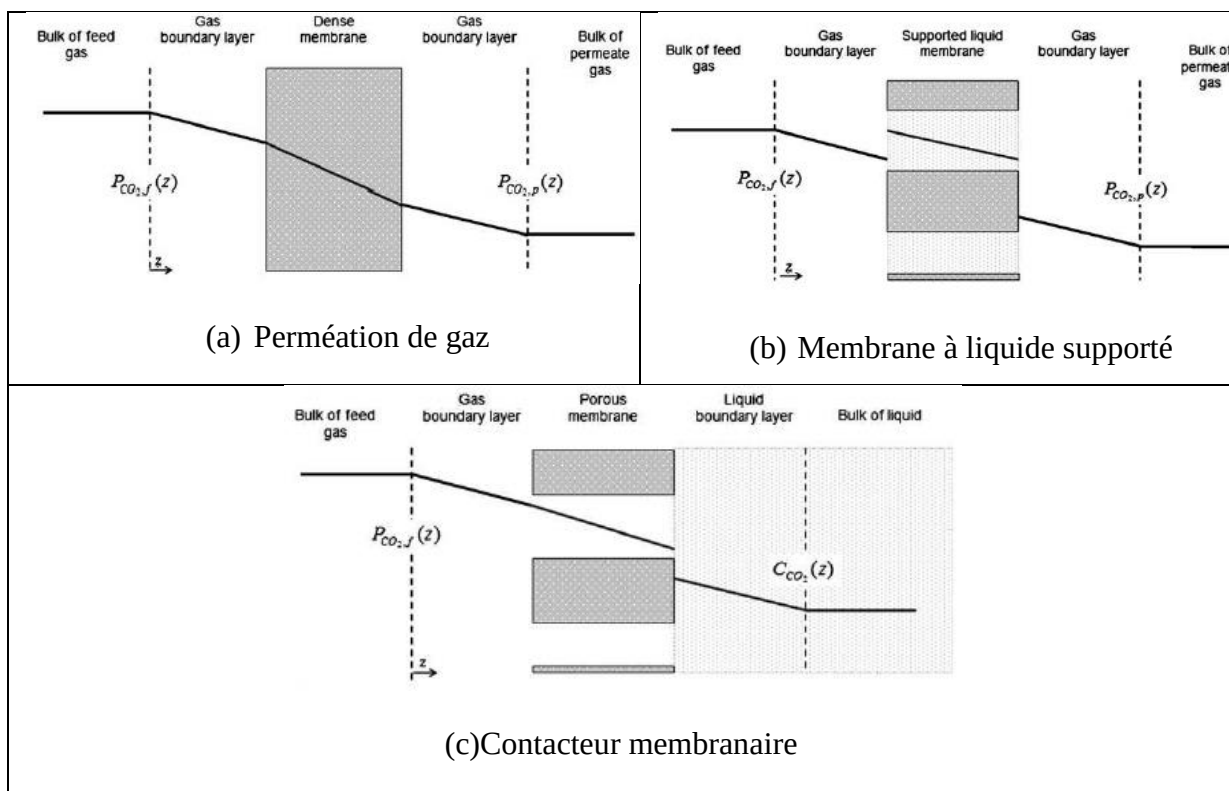


Figure 14 Schéma du transfert de masse d'un côté à l'autre de la membrane selon le type: (a) Perméation de gaz ; (b) Membranes à liquide supporté ; (c) Contacteur membranaire (contact non-dispersif) (extrait de Luis et al., 2012)

Les membranes sélectives se divisent en deux façons d'opérer : par perméation de gaz ((a) dans la figure ci-dessus), ou les membranes à liquides supportés ((b) dans la figure ci-dessus).

Tout d'abord, pour la perméation de gaz, les membranes employées sont denses. Elles sont déterminantes pour la sélectivité et la perméabilité du procédé. Cette technique n'est employée que pour les gaz. La force motrice est la différence de pression partielle en gaz de chaque côté de la membrane (Luis et al., 2012).

Ensuite, les membranes à liquides supportés ont, soit sur leur surface, soit dans leurs pores, un liquide, qui peut être par exemple ionique. C'est ce liquide qui est responsable de la sélectivité de diffusion au sein des pores de la membrane. La sélectivité du passage de tel ou tel gaz se fera en fonction de l'affinité entre les gaz présents dans l'alimentation, et le liquide supporté (Luis et al., 2012).

Avant de décrire les contacteurs membranaires, qui seront employés dans le cadre de ce mémoire, il est intéressant d'évoquer brièvement les sortes de techniques de séparation membranaire non-sélective, régies par une pression appliquée sur l'alimentation (Zhang, Luo, Ding & Jaffrin, 2015). Ceci nous permettra d'introduire le concept de filtration tangentielle, qui se déroule au sein des contacteurs membranaires (Leyssens & Adam, 2015).

La pression appliquée à l'alimentation force la solution à passer à travers la membrane (car avec cette pression appliquée d'un côté de la membrane, il y a création d'un gradient de pression, et donc création d'une force motrice). La taille des pores de cette dernière sera la sélectivité de cette filtration, car toutes les particules solides de taille supérieure à celle des pores ne passeront pas au travers de la membrane. La charge ou l'affinité du composé avec la membrane joueront également un rôle de rétention des particules (Leyssens & Adam, 2015).

Il existe deux sortes de filtration par pression : la frontale, et la tangentielle. Lors d'une filtration frontale, le liquide circule perpendiculairement à la membrane, comme illustré sur la figure (a) ci-dessous. L'inconvénient est qu'à terme, il y a une accumulation des particules retenues par la membrane, compliquant la perméabilité de la membrane. Un nettoyage régulier est donc nécessaire (Kieffer, 2008 ; Leyssens & Adam, 2015). La filtration tangentielle ne possède pas ce désavantage, car comme on peut le voir sur la figure (b), le liquide circule en parallèle à la membrane, ce qui permet, combiné à une vitesse élevée du liquide, de ralentir le blocage de la membrane (Kieffer, 2008).

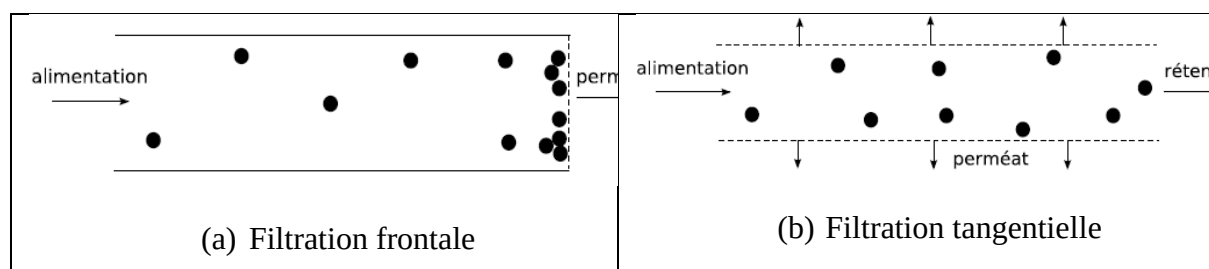


Figure 15 Schémas des procédés de filtration frontale (a) et tangentielle (b) (extrait de Kieffer, 2008)

La micro-, ultra et nano-filtration, ainsi que l'osmose inverse sont les procédés de filtration membranaire les plus courants. Avec leur utilisation, il est possible de séparer et de concentrer

un soluté ou une particule en suspension dans une solution (Kieffer, 2008). Leur classification se fait généralement sur la taille de leurs pores et la pression appliquée. Leurs principaux désavantages sont qu'elles sont très énergivores (pour la nano-filtration et l'osmose inverse), et qu'elles s'encrassent vite, impliquant à terme, le blocage des membranes.

Tableau 12 Taille des pores et pression appliquée pour les procédés de micro-, ultra-, et nano-filtration, ainsi que d'osmose inverse. (Extrait de Leyssens & Adam, 2015)

	Microfiltration	Ultrafiltration	Nanofiltration	Osmose inverse
Taille des pores (µm)	10^{-1} -20	10^{-3} - 10^{-1}	10^{-3}	$<10^{-3}$
Pression (bar)	0.2-1	1-5	3-15	10-100

2.3.3. Les contacteurs membranaires : généralités, avantages et inconvénients

Les contacteurs membranaires sont une sorte de membrane, un outil employé dans le seul but de garder en contact deux fluides, sans qu'ils se mélangent (Reed, Semmens, & Cussler, 1995).

Il existe une grande quantité de membranes, caractérisés par la nature des composants, la taille de leurs pores, et leur géométrie. Les matériaux possibles sont organiques (polymères) et minéraux. Bien que des dérivés cellulosiques et polyamides restent largement employés, des matériaux plus résistants à l'oxydation, au pH ou encore à la température sont utilisés (Kieffer, 2008).

Les contacteurs membranaires sont des membranes microporeuses qui ont des pores dont le diamètre a un ordre de grandeur de l'ordre du nanomètre à quelques dizaines de nanomètres.

Concernant la géométrie des membranes, elles sont soit des feuilles, des tubes ou des fibres creuses. Pour la création du module, les feuilles sont assemblées l'une contre l'autre, pour former soit des modules de type filtre presse soit des modules en spirale, illustrés en [Figure 16](#) et [Figure 17](#).

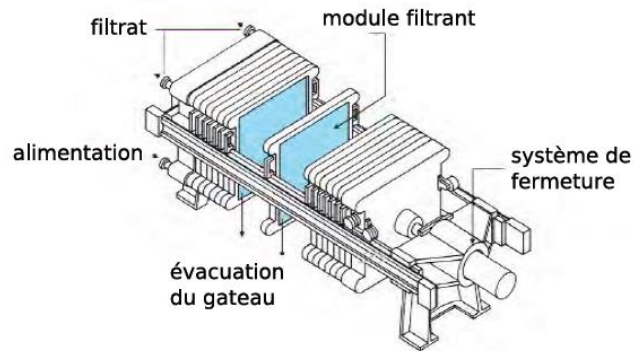


Figure 16 "Schéma d'un montage de type filtre presse" (extrait de Kieffer, 2008, page 10)

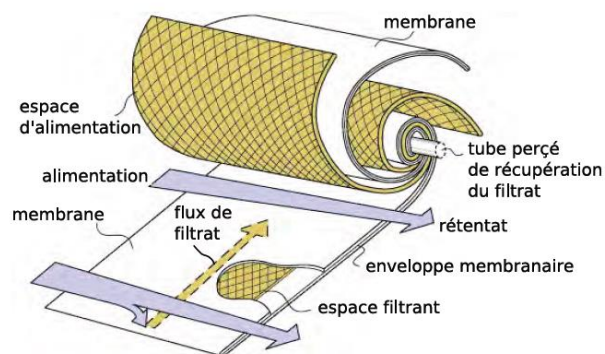


Figure 17 "Module bobiné en spirale Vaporsec® : représentation schématique" (Kieffer, 2008, page 10)

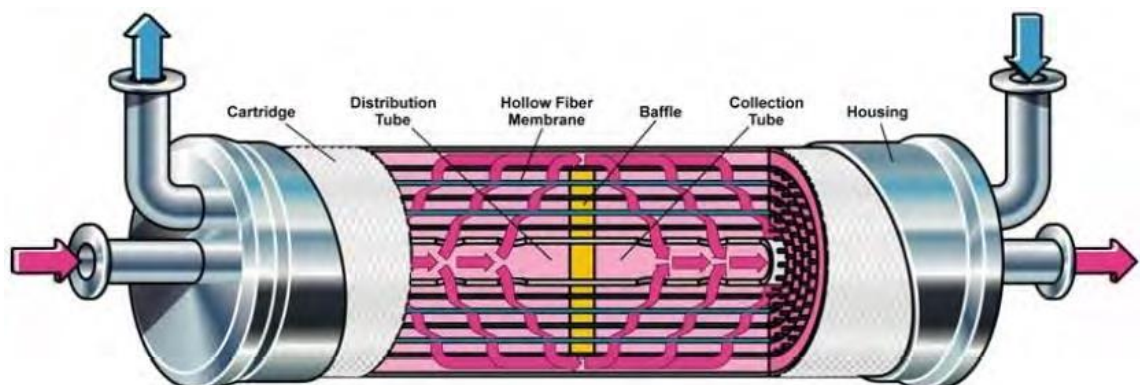


Figure 18 Illustration d'un contacteur membranaire produit par Liqui-Cel (Janssens, 2015)

Les tubes sont surtout concernés pour les matériaux minéraux, et ont des diamètres de 4 à 25 mm. Enfin, les fibres creuses sont aussi arrangées en faisceaux au sein de leur module, comme on peut le voir sur la [Figure 18](#). Ces dernières sont modulables assez aisément concernant leur

taille de pores, la longueur et nombre de fibres par module (Kieffer, 2008). Ceci est un atout clé pour une étude de procédé en laboratoire, et pour son scale-up.

La filtration membranaire non-sélective est illustrée à la Figure 14(c). Il s'agit d'une absorption non-dispersive avec des contacteurs gaz-liquide microporeux comme celui représenté en figure. Dans ce type de filtration, la membrane a pour seul rôle une barrière physique entre les deux phases. Les pores sont le lieu du transfert de masse, ils sont remplis de gaz, ce qui est favorable au transfert de masse, vu que la diffusion y est facilitée par rapport à une diffusion dans un liquide. La morphologie de la membrane aura un impact sur l'efficacité du transfert de masse. Au plus il y a de pores sur la surface, au meilleur sera le transfert de masse (Luis et al., 2012).

Les applications possibles pour les contacteurs membranaires sont nombreuses. Par exemple, pour de l'absorption (Luis, Van der Bruggen, & Van Gerven, 2011), de la distillation, de la cristallisation (Drioli, Criscuoli, & Curcio, 2006 ; Ruiz Salmon, Janssens, & Luis, 2017), de l'extraction liquide-liquide ou encore pour des réactions chimiques (Drioli et al., 2006). De fait, ces contacteurs peuvent être employés pour un système gaz-liquide, mais également pour un système liquide-liquide. Ce dernier système est d'application dans ce mémoire.

Paramètres physiques des membranes

Les performances d'une opération de filtration sont fonction des paramètres suivants. Tout d'abord, comme abordé dans le paragraphe précédent, elles dépendent des caractéristiques de la membrane (taille des pores, taux de porosité, matériau, ...). Ensuite, la filtration est aussi fonction de la solution à filtrer. Que contient-elle, et en quelles quantités (Keiffer, 2008). Il en est de même pour la nature et la composition de la solution qui absorbera la masse transférée. Il faut que ces deux solutions aient une bonne compatibilité avec le matériau de la membrane (Luis et al., 2012). Enfin, les conditions d'opération jouent naturellement un rôle (température, et flux transmembranaire) (Keiffer, 2008).

Avantages des contacteurs

Les contacteurs membranaires sont considérés comme une alternative aux moyens actuels de cristallisation grâce à leurs avantages. Les débits imposés savent être contrôlés indépendamment l'un de l'autre, ce qui permet un réglage plus fin des conditions expérimentales, pour optimiser le procédé. La surface membranaire active est connue. Comme c'est ce qui la caractérise, c'est une donnée très intéressante, notamment car une intensification (*scale-up* en anglais) est aisée, de par la linéarité du comportement du procédé avec la surface

membranaire (Ruiz Salmon *et al.*, 2017). Comparé à l'osmose inverse ou la nanofiltration, les contacteurs membranaires demandent moins d'énergie pour le transfert de masse.

Le rôle de barrière joué par la membrane qui fait que les deux phases ne se mélangent pas apporte un avantage non-négligeable pour une chaîne de production, ou un service de traitement d'effluent : celui de ne pas devoir faire de post-traitement après la distillation/cristallisation/... (Drioli *et al.*, 2006).

Enfin, la distribution est plus homogène au sein des fibres comprises dans les contacteurs que pour des réservoirs dont le diamètre se calcule en mètres. Cela optimise le contact entre la solution à traiter et les membranes, et donc le transfert de masse est meilleur (Chabanon, Mangin, & Charcosset, 2016).

Désavantages des contacteurs

Les membranes comptent encore des désavantages. Le premier est directement lié à sa fonction de barrière : la membrane est un frein au transfert de masse (Chabanon *et al.*, 2016). La grande surface d'interfaciale des contacteurs permet d'équilibrer la valeur du coefficient de transfert de masse des contacteurs avec les méthodes classiques (Simon, 2016).

La membrane peut se dégrader sur le long terme, au contact avec les solvants. Il est important de tenir cet aspect en compte lors du choix de la membrane pour traiter une solution spécifique

Un autre grand problème est l'efficacité du procédé et la viabilité des membranes sur le long terme. Si aucune attention n'est prêtée, la membrane peut finir par se boucher, ou les deux phases peuvent se mélanger suite au mouillage des pores (Luis *et al.*, 2012).

Le seuil de mouillage fait partie, avec le flux transmembranaire, des grandeurs physiques caractérisant une membrane.

Le mouillage

Le mouillage est un phénomène qui consiste en l'entrée de liquide dans les pores, contenant normalement du gaz. L'interface gaz-liquide n'est alors plus à l'extérieur, mais bien à l'intérieur des pores. Le mouillage est une résistance supplémentaire au transfert de masse qui donc, diminue (Luis, Van Aubel, & Van der Bruggen, 2013).

Le mouillage est dû à l'affinité entre le liquide et le matériau de la membrane. Un liquide hydrophile mouillera la membrane si son matériau l'est aussi (exemple : acrylonitrile). Il en sera de même pour un liquide et une membrane hydrophobe, polaire ou non (Kieffer, 2008).

Ce phénomène peut être expliqué par l'équation de Young. À l'intersection des trois vecteurs, illustrée à la **Figure 19** ci dessous :

$$\gamma_{LV} \cos \theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL}$$

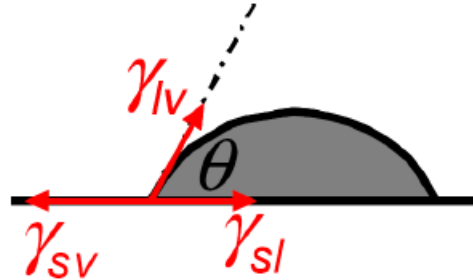


Figure 19 Représentation de l'angle de contact θ entre un solide et une goutte de liquide déposée dessus, déterminé par les trois vecteurs de tension de surface concernés (LV, SV et SL). (Drioli et al., 2006)

La tension de surface entre la phase liquide et la phase vapeur (LV), la phase solide et la phase vapeur (SV) et la phase solide et la phase liquide (SL) a pour symbole γ . L'angle de contact θ (illustré sur la **Figure 19** ci-dessus) est l'angle formé entre la paroi du pore et le liquide mouillant (Drioli et al., 2006). L'angle θ augmente quand la différence de polarité entre la membrane et le liquide mouillant augmente (Kieffer, 2008).

Des impuretés (composés organiques, inorganiques, microorganismes) dans la solution peuvent augmenter l'affinité du liquide pour la membrane (Keshavarz, Fathikalajahi, & Ayatollahi, 2007).

La tension de surface, ainsi que la non affinité entre le matériau et la solution permettent d'offrir une résistance au mouillage (Simon, 2016). Il faut néanmoins tenir également compte de la pression seuil de mouillage ΔP_{entry} , décrit par l'équation de Laplace ci-dessous :

$$\Delta P_{\text{entry}} = - \frac{2\theta\gamma \cos \theta}{r_{p,\text{max}}}$$

Où θ est un facteur géométrique décrivant la structure du pore (pore cylindrique, $\theta=1$), γ est la tension de surface, θ est l'angle de contact liquide-solide. Au plus la différence de polarité augmente entre le matériau et le liquide, au plus cet angle augmente, limitant le mouillage. Au plus la taille du pore diminue, au plus la pression seuil de mouillage monte. Par contre, en présence de surfactants, même en quantité minime, la pression seuil de mouillage diminue brutalement, étant donné qu'ils diminuent la tension de surface du liquide. Tant que la pression

n'excède pas la pression seuil de mouillage, le fluide non-mouillant n'entrera pas dans les pores (Drioli et al., 2006).

Il a été observé que le mouillage est inévitable après une certaine période d'opération, mais peut être retardé en jouant sur les conditions d'opération (Luis et al., 2011).

Enfin, une fois qu'il y a mouillage de la membrane, l'expérience doit être arrêtée, et la membrane lavée et séchée. De fait, un retour à la situation avant mouillage n'est pas possible. Le transfert de liquide suivra un comportement linéaire régi par la loi de Darcy ($N = K \cdot \Delta P$, ce qui aboutira à une nouvelle pression seuil de mouillage quasiment nulle (Drioli et al., 2006).

Encrassement de la membrane

Lors d'une expérience ou d'un procédé, en fonction de la composition de la solution, des impuretés se déposent au fur et à mesure dans les membranes, allant jusqu'à boucher les pores, et donc diminuer le transfert de masse (Chabanon et al., 2016 ; Susanto, 2011).

En anglais, on dissocie l'accumulation des impuretés organiques et minérales par les termes fouling et scaling, respectivement. L'encrassement de composés minéraux arrive surtout lors du traitement de solutions salines : désalination, distillation membranaire (El Bouwari, Donc, Ma & Khayet, 2006)

La solubilité des minéraux est dépendante de la température. Il y a moyen de contrecarrer l'encrassement minéral en augmentant donc la solubilité (Susanto, 2011). Mais si le but est de faire cristalliser justement des composés dissout, cela n'est pas une bonne solution. On peut aussi retarder l'encrassement en employant des fibres avec un diamètre plus grand (Chabanon et al., 2016) ou en ajoutant des additifs empêchant l'encrassement. Seulement ces derniers s'avèrent être organiques, donc leur présence favorise le mouillage des pores (Chabanon et al., 2016 ; Susanto, 2011).

Polarisation

Un autre problème des contacteurs est le phénomène de polarisation. Lors d'une distillation membranaire (voir point suivant), l'eau s'évapore pour passer à travers les pores de la membrane. Ce qui, localement, augmente la concentration de la solution, et donc diminue localement la pression partielle en eau. La résultante est une baisse du flux transmembranaire (Janssens, 2015)

La seule façon de contrer cet effet est d'annuler les augmentations de concentrations locales de la solution, et ce, en générant de la turbulence au sein de la solution traitée. En d'autres mots,

lui appliquer un débit suffisamment grand. Mais, comme illustré sur la **Figure 20**, il y a un débit maximum au delà duquel augmenter le débit n'influence plus le coefficient de transfert de masse.

Il a été observé pour une distillation et cristallisation membranaire osmotique que cette solution n'était pas applicable pour contrer la résistance au transfert de masse du côté de la solution osmotique (Ruiz Salmon et al., 2017).

Les publications sur des installations membranaires à échelle pilote ou industrielle ne sont pas nombreuses, le comportement des membranes pour des procédés industriels est donc encore peu connu, ce qui explique pourquoi les industriels préfèrent continuer avec leurs procédés, déjà bien étudiés, et qui fonctionnent sans problèmes (Simon, 2016).

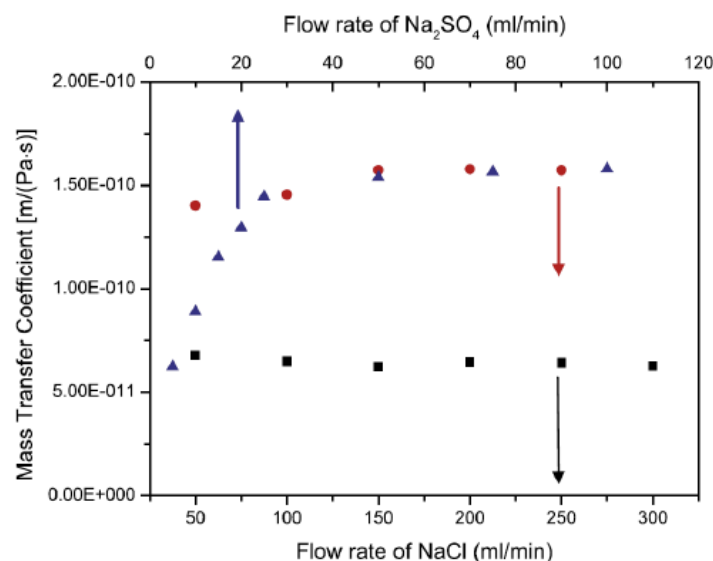


Figure 20 Phénomène de polarisation dans un système de distillation osmotique membranaire en fonction des débits des solutions osmotiques (NaCl) et d'alimentation (Na_2SO_4) : Le débit de la solution d'alimentation a un impact sur l'efficacité du transfert de masse, à bas débit (Li et al., 2014)

Pour conclure, les recherches sur l'élaboration des membranes idéales se doivent d'élaborer des contacteurs membranaires ayant les critères suivants : Un coefficient de transfert de masse et une densité de surface membranaire élevés, paré au mouillage des pores, ainsi qu'à l'encrassement sans oublier pour finir, une certaine inertie au contact de la solution traitée, lui conférant une longue longévité (Susanto, 2011).

2.3.4. La distillation membranaire : généralités, les différents modes de fonctionnement

La distillation membranaire est une méthode de concentration ou de purification d'une phase liquide. Il existe quatre types de distillation membranaire, se différenciant l'un de l'autre par la nature du perméat (ou distillat), l'autre côté de la membrane (Drioli et al., 2006). Ils seront expliqués brièvement plus tard dans ce document.

Par son caractère hydrophobe, la membrane empêche un transfert de masse liquide et crée une interface liquide-vapeur à l'entrée des pores. Classiquement, un composant du rétentat (la partie rose sur l'image ci-dessous), généralement le solvant, va traverser la membrane en phase vapeur vers le perméat, en bleu sur la **Figure 21**, où il se condensera. La force motrice de la distillation membranaire (MD) est basée sur un gradient de pression de vapeur, lequel est dû à une différence d'activités de l'eau dans les deux fluides séparés par la membrane (Luis et al., 2013).

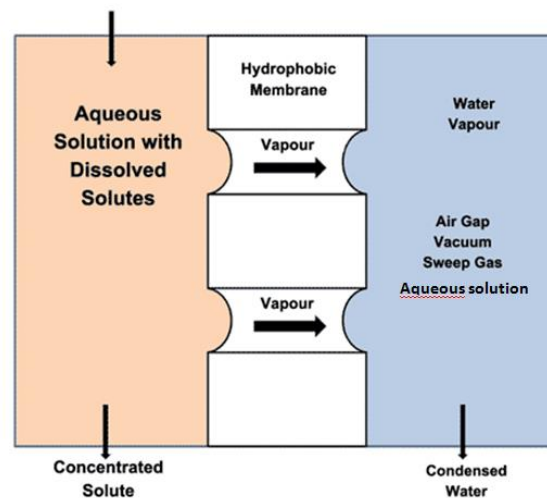


Figure 21 Principe général de la distillation membranaire. Tiré et modifié de (Upadhyaya, & Nene, 2015)

Il y a deux façons de générer le gradient de pression de vapeur : par différence de concentration (on parlera alors de distillation membranaire osmotique), ou par différence de température entre les deux fluides. Cette dernière s'appelle distillation membranaire thermique (Drioli et al., 2006), mais ne sera pas traitée dans le cadre de mémoire.

Le flux transmembranaire J du solvant à travers la membrane est décrit par l'équation suivante :

$$J = K(p_f - p_o)$$

Où $p_i = P * y_i = p_{vap}^0 * a_i = p_{vap}^0 * \xi_i * x_i$. K est le coefficient de transfert de masse [$\frac{m}{Pa \cdot s}$], p_i est la pression de vapeur partielle du solvant [Pa] (f, pour *feed*, la solution d'alimentation ou

rétenant et ϕ , pour la solution osmotique). P est la pression totale, y_i est la fraction gazeuse, p_{vap}^0 , la pression de vapeur saturante du solvant pur, a_i est l'activité de l'eau de la solution i , ξ_i son coefficient d'activité, et x_i , la fraction liquide (Drioli et al., 2006).

Différentes sortes de MD

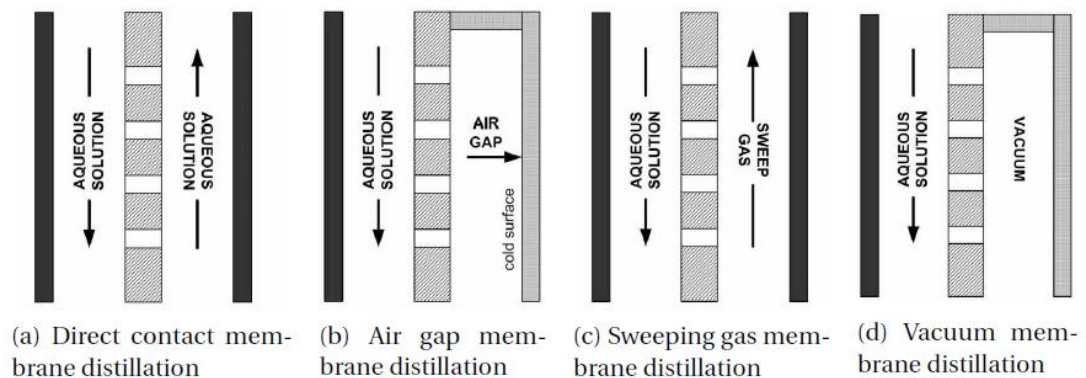


Figure 22 Représentation schématique des différentes sortes de distillation membranaire (extrait de Drioli et al., 2006)

- (a) DCMD : C'est la méthode la plus employée pour réaliser une distillation membranaire, de par sa simplicité d'opération. Pour une MD-thermique, la solution aqueuse en contre courant de l'alimentation a une température moins élevée que cette dernière, qui elle, est chauffée. Vu les pertes de chaleur, c'est la méthode la plus énergivore. La distillation membranaire est aussi comprise dans ce groupe (Susanto, 2011).
- (b) AGMD : Pour diminuer la perte de chaleur, de l'air se trouve entre la membrane et la surface froide, où se condensera la molécule distillée. Seulement, la résistance de transfert de masse est plus élevée dans l'air, le procédé est moins efficace que la DCMD (Susanto, 2011). De plus, le système est également plus difficile à construire. Les modules possibles sont seulement ceux en plateaux ou en spirale (Drioli et al., 2006)
- (c) SGMD : Cette méthode fait passer un courant de gaz inerte froid, qui emporte avec lui les molécules venant de la solution d'alimentation. La différence avec les deux premières méthodes de MD, c'est que ces molécules vont condenser à l'extérieur des membranes. L'idée est de diminuer la résistance au transfert de masse, ainsi que la perte de chaleur. Néanmoins, les coûts opérationnels vont augmenter avec le système de condensation nécessaire à la sortie de la membrane (Susanto, 2011).

(d) VMD : Un vide est créé, ce qui implique que la pression partielle du côté perméat est quasiment nulle, le transfert de masse augmente, et la perte de chaleur est diminuée, c'est le plus efficace des quatre systèmes. Néanmoins, le même problème que pour SGMD se pose : les coûts pour la condensation externe (Susanto, 2011).

La distillation membranaire osmotique (MD- O)

Comme dit précédemment, la distillation membranaire osmotique, MD-(O), engendre le gradient de pression de vapeur isothermique par une différence entre les activités de l'eau des deux solutions concernées. De fait, la nature des sels dans les fluides a son importance, c'est elle qui régit la différence d'activité de l'eau, et donc le flux transmembranaire.

Comme le but poursuivi est d'ôter du solvant du rétentat, la solution osmotique sera une solution très concentrée en sels qui contiendra moins de solvant que le rétentat (Drioli et al., 2006). La distillation membranaire osmotique est donc une DCMD modifiée, en ce sens que la solution aqueuse de côté du perméat est remplacée par une solution osmotique.

Il est possible d'avoir un flux transmembranaire négatif, si la concentration de la solution d'alimentation dépasse celle de l'osmotique au point que le gradient d'activités s'inverse. Le solvant ira à ce moment là de la solution osmotique à la solution d'alimentation (Luis et al., 2013).

La théorie prévoit que la distillation membranaire osmotique se déroule sans variation de température (Luis et al., 2013). Il y a néanmoins un gradient de température local. Evaporer le solvant requiert de l'énergie, et le condenser en libère (Drioli et al., 2006).

La distillation membranaire osmotique, par rapport à la distillation membranaire thermique permet de concentrer ou purifier des composés thermiquement instables, et demande moins d'énergie car il ne faut, ni chauffer le rétentat, ni maintenir la température de la solution osmotique constante (la refroidir). De fait, les contacteurs membranaires laissent passer une partie de la chaleur (Drioli et al., 2006). Nous n'entrerons pas plus dans les détails de la distillation membranaire thermique, car seul la distillation membranaire osmotique est étudiée dans le cadre de ce mémoire.

Résistance de transfert de masse

Le coefficient de transfert de masse, repris dans l'équation du flux transmembranaire/, peut être vu comme un indicateur des résistances au transfert de masse de la membrane.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{k_f} + \frac{1}{k_M} + \frac{1}{k_p}}$$

Où k_f et k_p sont les résistances au transfert de masse liées à la couche limite de diffusion des côtés de l'alimentation et du perméat pour arriver du fluide à l'entrée des pores k_M est liée aux limites de diffusion au sein des pores de la membrane (résistance de Knudsen, moléculaire, de surface et viscosité). Ces différentes résistances sont illustrées ci-dessous.

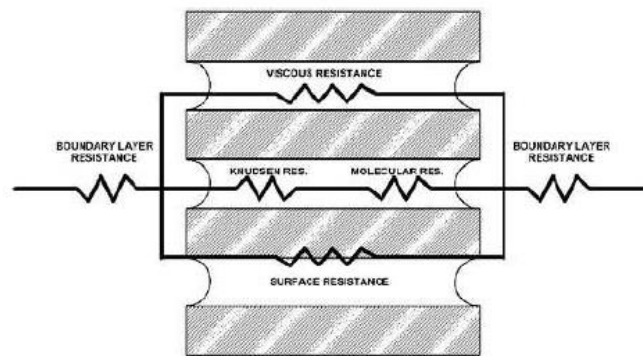


Figure 23 Représentation des résistances au transfert de masse lors d'une distillation membranaire (Drioli et al., 2006)

La résistance au transfert de chaleur n'est pas abordée dans cet état de l'art, car elle n'a pas été étudiée pour ce mémoire, mais il en existe bien une, qui a un impact sur la performance de la distillation (Simon, 2016).

Pour finir, il s'avère que l'intérêt croissant pour les technologies membranaires n'est pas si bien suivi que cela par les fournisseurs de membranes, pour l'élaboration de membranes plus performantes. Pourtant, cet aspect de la recherche a toute son importance. Une membrane avec une meilleure résistance à l'encrassement, au mouillage avec une pression seuil de mouillage élevée, plus compacte, mais surtout, avec un transfert de masse optimisé se verrait très convoitée par le secteur industriel. Des avancées pourraient notamment être faites grâce à des membranes en nanotubes de carbone, dont les propriétés sont prometteuses bien que la très fine épaisseur puisse apporter des problèmes de transfert de chaleur (Susanto, 2011).

2.3.5. La cristallisation membranaire

La cristallisation membranaire est un procédé innovant de récupération de sels depuis une solution liquide. C'est un procédé émergent qui a déjà fait ses preuves. De fait, parmi les publications sur le sujet, des études à l'échelle laboratoire se sont révélées probantes, par

exemple pour des effluents industriels du secteur chimique (Quist-Jensen et al., 2017), la séparation et purification de protéines (Di Profio et al., 2007), de macromolécules biologiques (Di Profio et al., 2003) ou encore pour dessaler des effluents issus du secteur de l'extraction. Ce procédé a également montré des résultats prometteurs à l'échelle semi-pilote notamment pour le dessalement permettant de récupérer séparément de l'eau et les sels (Ali et al., 2015).

L'intérêt à l'égard de cette technologie est grandissant ces dernières décennies, comme on peut le constater sur la **Figure 24** avec le nombre exponentiel de publications, donc de recherches, sur le sujet.

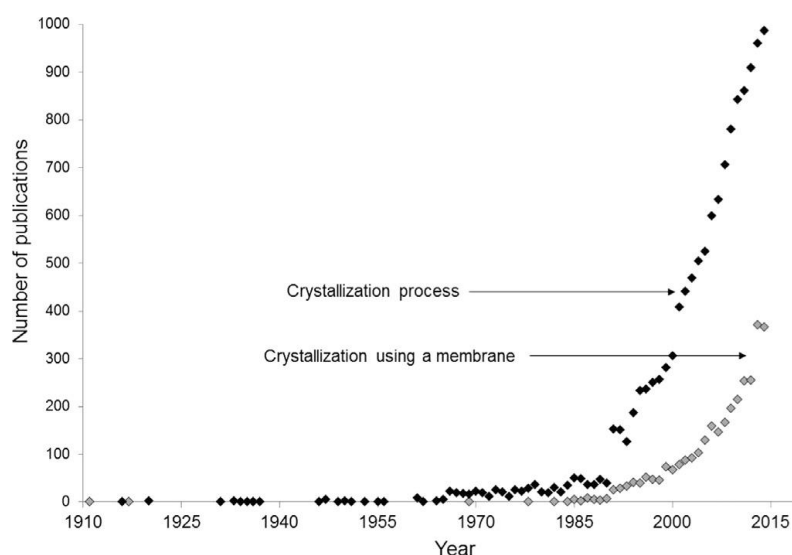


Figure 24 "Evolution du nombre de publications par année dans les journaux scientifiques qui incluent les mots-clés: "Crystallization" (black diamond) et "membrane crystallization ou membrane distillation" (gray diamond).

ISI Web of Science, Avril 2015" (Chabanon et al, 2016).

On peut expliquer cet intérêt notamment pour les nombreux avantages que peut offrir la cristallisation membranaire. Ces derniers seront abordés ultérieurement.

Principe de la cristallisation membranaire

Avant d'aborder la cristallisation membranaire, il est intéressant de rappeler les principes de base de la cristallisation. La cristallisation peut se définir comme une technique de purification par solidification de composés depuis une solution liquide (Drioli et al., 2006).

Les cristaux sont caractérisés par leur solubilité, pureté, morphologie, polymorphie et distribution de taille (Chabanon et al., 2016). Le polymorphisme est défini comme la propriété d'un cristal à adopter telle ou telle structure cristalline (Simon, 2016). Deux polymorphes d'un même sel sont considérés comme des composés différents. C'est un élément important à prendre en compte, étant donné que la morphologie d'un cristal impacte tout le procédé

postproduction (Ye et al., 2013). De fait, des cristaux en formes d'aiguilles exigeront une taille de pore du filtre plus faible pour les séparer du surnageant par exemple. Il est à noter que cette structure peut changer au cours du temps, ou en fonction des conditions auxquelles est soumis le cristal concerné. Les caractéristiques de ces cristaux dépendent de la vitesse de nucléation et de croissance qu'ils ont connue, et cela dépend entre autre du degré de saturation de la solution (Leyssens, 2015 ; Ye et al., 2015).

Afin d'expliquer la signification de la super-saturation mentionnée dans la définition de la cristallisation, il est intéressant de se pencher sur la **Figure 25**. Elle représente une courbe de solubilité d'une solution selon sa température et sa concentration ainsi que trois zones et deux limites. La zone « unsaturated solution » (solution non-saturée en français) peut correspondre à l'effluent industriel avant concentration : il ya suffisamment de solvant présent que pour dissoudre toutes les espèces ioniques présentes. Aucune cristallisation n'y est possible tant qu'aucun changement n'est appliqué aux conditions.

Une solution est définie comme super-saturée lorsqu'elle contient plus d'espèces ioniques dissoutes que ce que les molécules d'eau présentes dans cette solution ne peuvent dissoudre.

La ligne en trait continu, représentant la limite entre une solution non saturée, et la région métastable est appelée la courbe de solubilité, que l'on définit comme la quantité maximum de soluté que peut contenir une solution. À une concentration valant sa solubilité à une température donnée, une solution est à saturation.

Pour quitter la zone de super-saturation, il existe deux façons représentées sur l'image ci-dessous, mais il est à noter que dans les deux cas, il y aura un phénomène de cristallisation. En effet, les molécules d'eau n'étant pas assez nombreuses pour solvater les espèces ioniques présentes en solution, ces ions se rapprochent les uns des autres jusqu'à nucléation et croissance cristalline fournissant in fine, des cristaux (Brito Martinez, Jullok, Rodriguez Negrin, Van der bruggen & Luis, 2014). En vert, la cristallisation est due au principe selon lequel la solubilité d'une solution diminue avec la température. En rouge, comme on impose à la solution de contenir plus de soluté que ce que sa solubilité permet de dissoudre à une température T, il y a cristallisation pour éliminer cet excès de soluté de la phase liquide (Drioli et al., 2006).

La région métastable appartient à la zone super-saturée, qui est donc divisée en deux régions : d'une part, la région labile à concentration fortement plus élevée que la limite de solubilité où la nucléation, première étape de la cristallisation, est spontanée (Leyssens, 2015). En étant

spontanée, la nucléation empêche tout contrôle, il y a plus de risques de formation d'inclusions dans la structure cristalline, permettant à des impuretés de s'y insérer (Ye et al., 2013).

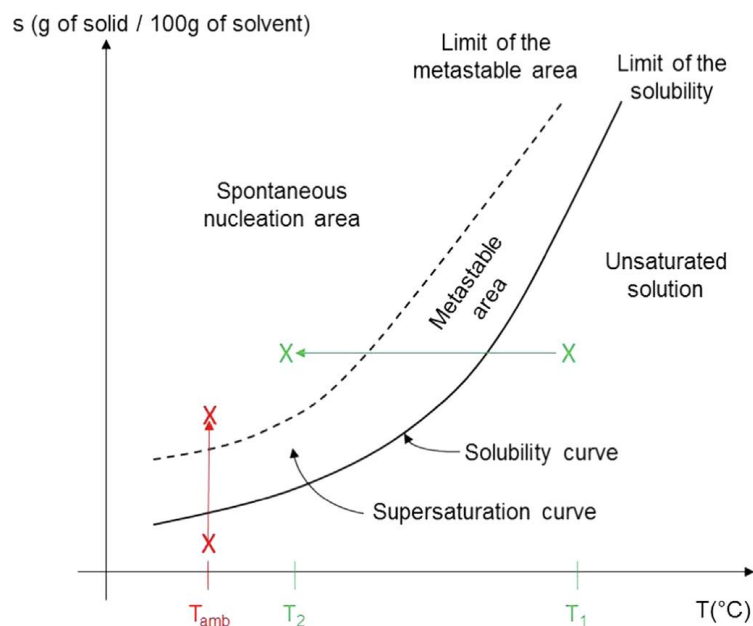


Figure 25 Exemple d'un diagramme concentration/température représentant les façons d'induire une cristallisation (par variation de température, ou jeu de solvant) (Chabanon et al., 2016)

D'autre part, il y a la région métastable qui est juste plus concentrée que la limite de solubilité. Là, la cristallisation est favorable thermodynamiquement mais pas cinétiquement (Leyssens, 2015). En effet, combiné à des limites de diffusion, les noyaux qui se forment auront tendance à se dissocier plutôt qu'à croître si leur taille est inférieure à une certaine taille critique. Cette tendance à se dissocier est due à une haute barrière d'énergie d'activation à passer pour pouvoir générer un noyau (Drioli et al., 2006). La proportion de cristaux se formant sera alors plus faible, et donc leur vitesse de croissance également. Les imperfections telles les inclusions se formeront moins. C'est dans cette région qu'il faut opérer la cristallisation (Simon, 2016).

L'inconvénient est que les délimitations de la zone métastable varient en fonction des conditions (Drioli et al., 2006).

La cristallisation membranaire : fonctionnement, avantages et inconvénients

La cristallisation membranaire consiste en une distillation membranaire, poussée jusqu'à atteindre la sursaturation d'une solution, entraînant une cristallisation (Drioli et al., 2006 ; Li et al., 2014).

Elle est étudiée dans la littérature notamment pour le traitement de l'eau de production des plans d'extraction du pétrole (Ali et al., 2015) et de saumures récupérées de procédés d'osmose

inverse. Une certaine potentialité lui est conférée pour le traitement des effluents industriels (Quist-Jensen et al., 2017).

Employer les contacteurs membranaires pour opérer à une cristallisation est un choix judicieux quant aux avantages qu'offre cette technique de cristallisation : contrôle indépendant des débits imposés, surface active connue, l'intensification est linéaire, peu énergivore, et les milieux ne se mélangent pas (Luis et al., 2013). De plus, elle permet de récupérer tant le sel, que l'eau de l'effluent (Lu et al., 2017) et est moins énergivore que les procédés classiques de cristallisation (Brito Martinez et al., 2014).

Enfin, étant donné que l'on sait travailler à plus basse température que les procédés de cristallisation classiques, il est possible de traiter des solvants et ou solutés thermiquement instables d'une part. D'autre part, plus de flexibilité est permise en terme de design du procédé (Brito Martinez et al., 2014).

La cristallisation membranaire offre certains avantages par rapport aux techniques de cristallisation courantes. De fait, la nucléation et la croissance cristalline sont contrôlées, par le fait que la sursaturation est contrôlée (Quist-Jensen et al., 2017). La sursaturation est contrôlée car on connaît le coefficient de transfert de masse (Ye et al., 2013). La cristallisation se fait plus rapidement. La distribution de taille des cristaux est étroite. Il est possible alors de choisir les conditions d'opération pour obtenir une forme polymorphe souhaitée d'un cristal. Enfin, les cristaux obtenus sont de haute pureté (Quist-Jensen et al., 2017).

La nucléation est hétérogène, elle se déroule dans la membrane, comme illustré sur l'image ci-dessous. Ceci diminue la barrière énergétique de formation du noyau cristallin (Luis et al., 2012). Comme expliqué antérieurement, localement, près de la surface membranaire, la concentration de la solution est plus élevée, suite à l'évaporation de solvant. Dès lors, la nucléation peut avoir lieu si on est en sursaturation. De plus, la membrane offre un support à la nucléation, c'est la nucléation hétérogène (Leyssens, 2015). C'est un avantage conséquent par rapport aux réservoirs de cristallisations classiques. De fait, comme il y a plus de surface disponible pour générer la nucléation hétérogène, il y a plus de noyaux qui commencent à grandir simultanément. Donc, la distribution de taille des cristaux sera plus homogène (Leyssens, 2015) et donc les cristaux finaux le seront aussi, ce qui facilite le filtrage, et la manipulation pour une nouvelle utilisation. La distribution de la taille des cristaux est aussi impactée favorablement par le fait que la concentration de la solution est homogène globalement, par rapport aux réservoirs classiques de cristallisation (Simon, 2016).

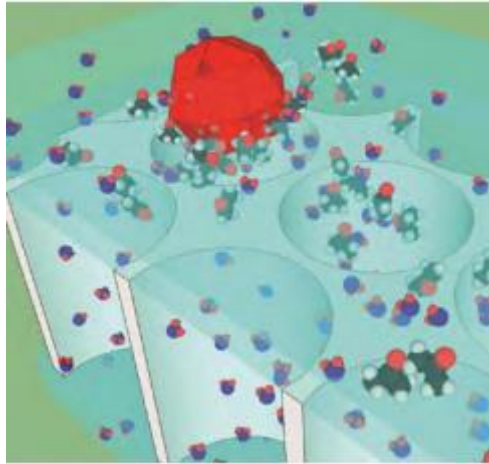


Figure 26 Représentation de la nucléation hétérogène lors d'une cristallisation membranaire au sein d'un contacteur (Janssens, 2015)

Pour favoriser cette nucléation, la cristallisation se fait dans des conditions d'écoulement laminaires, ainsi, le noyau a moins de chance de se dissocier suite aux forces de cisaillement (Drioli et al., 2006). Le choix de la membrane aura aussi un impact, en fonction de la rugosité de la surface pour l'adhésion des noyaux à la surface, et aussi l'adhésion à la surface (Chabanon et al., 2016).

Seulement, cette adhésion mène également à l'encrassement et blocage des membranes, qui est l'un des désavantages de cette technique (Simon, 2016). Les autres problèmes de la distillation membranaire sont également présents : la baisse du flux, le mouillage diminuent sur le long-terme l'efficacité de la membrane. Et il n'y a pas encore assez d'études sur la viabilité à long-terme d'un tel procédé. Mais les résultats sont prometteurs. Par exemple, une étude a déjà montré la stabilité de traitement pendant 90h de la distillation et cristallisation membranaire d'un vrai effluent, contenant des particules en suspension, mais à échelle laboratoire (Quist-Jensen et al., 2017).

3. Objectifs du mémoire

3.1. Objectifs généraux

Ce mémoire est un projet annexe à la thèse poursuivie par le doctorant Israel Ruiz Salmon à l'Université catholique de Louvain, traitant de la capture de CO_2 , et de sa revalorisation en Na_2CO_3 via les technologies membranaires. Le procédé n'emploie que des contacteurs membranaires (Simon, 2016). Les détails de ce procédé ne seront pas exposés dans le cadre de ce mémoire. De fait, le but poursuivi dans ce travail est d'appliquer la fin du processus de revalorisation du CO_2 pour valoriser d'autres sortes de déchets industriels, plus particulièrement la valorisation de sels minéraux. La fin du processus consiste en une distillation et cristallisation membranaire osmotique, et sera donc étudiée pour ce mémoire, pour d'autres sels que la carbonate de sodium.

La Figure 27 présente le procédé élaboré dans le chapitre plan de production de ce mémoire. Les travaux de recherches en laboratoire se sont focalisés sur la partie de distillation et cristallisation membranaire de ce procédé.

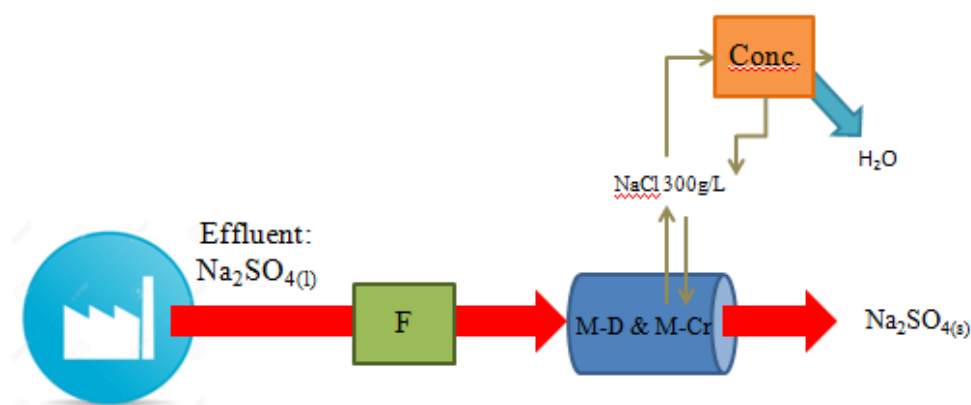


Figure 27 Schéma simplifié du procédé du système ROS. F= système de filtration ; Conc. = système de concentration ; M-D : distillation membranaire ; M-Cr : cristallisation membranaire (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

Un procédé de valorisation d'effluents industriels par la distillation membranaire osmotique et la cristallisation membranaire permettant de récupérer des sels à nouveau utilisables comme réactifs dans des procédés industriels serait donc créé. En parallèle à cela, le procédé sera confronté au marché par une évaluation de sa faisabilité technique, ainsi que de l'intérêt économique du secteur industriel pour ce service de traitement de déchet.

Ces dernières démarches d'étude économique seront d'autant plus poussées de par le contexte de ce mémoire qui est un mémoire CPME.

3.2. Objectifs plus spécifiques

En laboratoire, l'objectif de ce mémoire est donc de caractériser le procédé de distillation membranaire osmotique pour d'autres sels que le carbonate de sodium, et d'obtenir des cristaux par cristallisation membranaire (dans le prolongement de la distillation membranaire osmotique).

Le choix s'est porté sur la caractérisation de la distillation membranaire de deux sels : Le sulfate de sodium, Na_2SO_4 , et le nitrate de potassium, KNO_3 , pour leur large présence sur le marché industriel chimique, plus particulièrement, pour l'industrie du verre et des détergents pour Na_2SO_4 , et pour le secteur des engrais pour KNO_3 .

Plus particulièrement, l'axe scientifique de ce mémoire pluridisciplinaire comporte comme programme de :

- ❖ Caractériser la distillation et la cristallisation membranaire du Na_2SO_4 , en déterminant le flux transmembranaire et le coefficient de transfert de masse. La caractérisation de la distillation membranaire comprend l'étude de l'influence de la concentration des solutions ainsi que celle des débits imposés sur les valeurs des flux transmembranaires et des coefficients de transfert de masse. La caractérisation de la cristallisation membranaire consiste en l'étude de la qualité des cristaux obtenus. Ainsi, une comparaison entre deux membranes de tailles différentes est possible avec les résultats obtenus par Li et al (2014).
- ❖ Caractériser la distillation et cristallisation membranaire du KNO_3 de la même façon que pour le Na_2SO_4 .
- ❖ Réaliser une petite étude de caractérisation de la membrane pour la distillation et la cristallisation du Na_2CO_3 dans le but de développer une comparaison entre les résultats de ce mémoire, et les résultats obtenus précédemment par Israel Ruiz Salmon, et ses deux mémorants (Ruiz Salmon et al., 2017 ; Simon, 2016)
- ❖ Etudier la cristallisation de mélanges de sels, vu que les effluents industriels, contiennent rarement un seul sel.
- ❖ Réaliser une analyse économique incluant la surface de membrane nécessaire pour cristalliser un sel présent dans un effluent.

- ❖ Pour ce faire, réaliser une ébauche d'un plan pilote pour le procédé, en songeant aux principaux besoins de ce dernier, pour passer du batch au continu. Lister les matériaux, accessoires, et unités nécessaires pour son bon fonctionnement. Les données récoltées serviront à l'élaboration du plan financier, par Charlotte et Blanche.
- ❖ Dans le cadre du mémoire CPME, ce mémoire a pour but d'être la partie technique du projet d'entreprise. Les résultats obtenus détermineront la viabilité économique du projet.

4. Matériels et méthodes

4.1. Produits chimiques et équipements nécessaires

a. Produits chimiques

Pour préparer les solutions osmotiques et d'alimentation, de l'eau déminéralisée (Résistance électrique= $18.2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}^{-1}$) a été largement employée en tant que solvant. Les solutés étaient le Na_2SO_4 , KNO_3 , Na_2CO_3 pour les solutions d'alimentation. NaCl l'était pour la solution osmotique. Tous ces sels étaient anhydre, de la catégorie Analar Normapur, à 99.5% de pureté et proviennent du même fournisseur : VWR basé à Leuven en Belgique.

b. Equipements

Les expériences de distillation et de cristallisation ont été effectuées avec un contacteur membranaire de type : *Liqui-Cel®2.5x8Extra-flow*. Ses caractéristiques se retrouvent dans le **Tableau 13** ci-dessous.

Tableau 13 Informations techniques sur la membrane Liqui-Cel 2.5x8Extra-flow (Liqui-Cel, 2017)

Configuration du module	Fibres creuses (« <i>Hollow fibers</i> » en anglais)
Housing	Polypropylène
Potting	Polyéthylène
Type de membrane	Celgard®X50-215 Microporous Fiber
Matière de la membrane	Polypropylène (hydrophobe)
Volume autour des fibres	Environ 400 mL
Volume dans les fibres	Environ 150 mL
Porosité	40%
Taille des pores effective	$0.04\mu\text{m}$
Diamètre interne/externe des fibres	$240\mu\text{m}/300\mu\text{m}$
Épaisseur de la paroi	$40\mu\text{m}$
Aire de surface active	1.4 m^2
Nombre de fibres	10200
Longueur effective des fibres	0.16 m
Angle de contact	112°
Limites maximum des conditions à l'utilisation	70°C à 1 bar

Un manomètre fut nécessaire, afin de surveiller l'évolution de la pression à l'entrée de la membrane lors des expériences de cristallisation. Pour surveiller l'évolution de la concentration des solutions, ou recycler ces dernières, un conductimètre de type 914

pH/Conductimeter fut employé avec un pH-mètre inclus (pH/330-SET 00) (Methrom®, France, WTW®, Allemagne (metrohm.com, 2017)).

Concernant les tuyaux, servant à relier les réservoirs à la membrane, des tuyaux de type Masterflex Pump Tubing, Puri-Flex, L/S 16, 25 ft. de chez Cole-Parmer (UK) ont été employés (Cole-Parmer, 2017).

Les solutions ont été intégrées dans la membrane à l'aide de pompes péristaltiques, afin d'avoir un contrôle précis sur le débit imposé, de modèle Masterflex L/S Variable-Speed Drive w/ Remote I/O; 600 rpm (Masterflex, USA, 2017).

Une balance de chez VWR® (modèle LP 4202i), avec une précision de 0.01g a servi pour toutes les pesées de préparation des échantillons, ou durant les expériences de distillation membranaire.

Enfin, du matériel classique de laboratoire tel que verrerie, éprouvette, ballon jaugé, agitateur, cuillère fut également employé.

c. Préparation des solutions

Il a été décidé de travailler avec des volumes de solutions osmotiques et d'alimentation de 1,5 litre, pour rester dans le même ordre de grandeur que les expériences menées par les précédents mémorants sur la cristallisation du carbonate de sodium, ce qui permet une comparaison des résultats.

Le choix s'est porté sur un volume supérieur à 1L afin de limiter l'impact du changement de volume lors des expériences. De fait, des petits volumes sont plus sensibles à une variation de volume. Le changement de concentration des solutions qui en découle a un impact conséquent sur la force motrice de la distillation, les résultats obtenus perdront en fiabilité. (Simon, 2016)

Solutions de KNO₃, Na₂CO₃ and Na₂SO₄

- Solutions pour les expériences de caractérisation de la membrane pour la distillation membranaire

Il est à noter qu'une expérience de distillation membranaire osmotique de carbonate de sodium a été réalisée pour comparer, si possible, les résultats des précédents travaux sur la distillation membranaire osmotique du carbonate de sodium avec les deux sels étudiés dans le cadre de ce mémoire. Si la comparaison n'est pas possible, les résultats ne seront pas mentionnés dans ce mémoire.

Lors du premier emploi de la solution, celle-ci était préparée selon le procédé repris dans le **Tableau 14** ci-dessous.

Tableau 14 Mode opératoire pour la préparation d'une solution saline (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

Etape	Action
1	Vérifier que le matériel est propre, déterminer la quantité de sel à prélever pour arriver à la concentration désirée
2	Remplir à moitié le ballon jaugé d'eau déminéralisée
3	Peser la masse de sel nécessaire, homogénéiser la taille des grains (casser les blocs)
4	Incorporer sous agitation, le sel dans le ballon, rincer le récipient pour éviter les pertes de sel
5	Retirer l'agitateur, porter au trait, homogénéiser

Dans une optique de recyclage, les solutions ont été réemployées. Au terme d'une expérience, la concentration des solutions d'alimentation (C_{old} , déterminée via la conductivité de la solution mesurée elle, à l'aide du conductimètre) était plus concentrée qu'au départ de l'expérience. Si l'expérience suivante requérait une concentration égale ou inférieure à la concentration de départ de la solution d'alimentation employée, il suffisait de la diluer avec de l'eau déminéralisée, pour retourner à la concentration (C_{new}) et au volume (V_{new}) désirés afin de pouvoir l'employer à nouveau. Pour obtenir une dilution précise, on se servait de cette formule pour déterminer le volume (V_{old}) à employer.

$$C_{old} * V_{old} = C_{new} * V_{new}$$

S'il fallait obtenir une solution à concentration plus élevée que la concentration finale de la solution employée, il fallait ajouter une quantité supplémentaire de sel. Afin de déterminer cette quantité, la masse totale du sel pour 1,5 L de solution à la concentration attendue était déterminée. Pour un volume donné réutilisable de la vieille solution osmotique (maximisé pour éviter les pertes, tout en laissant une marge pour pouvoir rincer le récipient de pesée du sel), on déterminait la quantité de sel qu'il contenait via la conductivité de la solution, et la formule :

$$m [g] = C [g/L] * V [L]$$

En soustrayant cette masse de sel déjà présente dans la solution de la masse totale nécessaire pour arriver à la concentration attendue, on obtenait la quantité de sel à rajouter.

- Solution pour les expériences de cristallisation

Afin de limiter le temps nécessaire à amorcer la cristallisation lors du procédé de cristallisation membranaire, les solutions d'alimentation ont été préparées avec de hautes concentrations, proches de la solubilité, selon la procédure reprise dans le **Tableau 14**. Il fallait s'assurer qu'aucun cristal n'était déjà présent dans l'alimentation avant le départ de l'expérience de cristallisation membranaire.

L'ajout d'impuretés lors des expériences de cristallisation en présence d'autres sels en solution a impliqué de préparer la solution d'alimentation avec une concentration légèrement inférieure. Les impuretés ont été ajoutées à une concentration de 0.04 mol.L^{-1} chacune, comme indiqué dans le tableau suivant.

Tableau 15 Plan de travail de réalisation des solutions d'alimentations pour les expériences de cristallisation membranaire en présence d'impuretés (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

		experiments [mol/L]					
	Mw [g/mol]	1	2	3	4	5	6
Na ₂ CO ₃	105,99	near saturation		0,04	0,04	0,04	0
KNO ₃	101,10	0,04	0,04	near saturation	0,04	near saturation	0,04
Na ₂ SO ₄	142,04	0	0,04	0,04	near saturation	0	near saturation

Solution de NaCl

Pour le premier emploi de la solution osmotique, le même mode de fonctionnement que pour les solutions d'alimentation a été suivi (cfr **Tableau 14**).

La même optique de réemploi, appliquée aux solutions d'alimentation, a été suivie pour les solutions osmotiques. Comme elles se diluent lors d'une expérience de distillation membranaire et gagnent en volume, il a fallu avant chaque nouvel emploi les concentrer et les ramener à un volume de 1.5L. La même procédure de concentration, décrite pour les solutions d'alimentation, a été suivie.

Pour préparer ces solutions recyclées, le mode opératoire repris dans le **Tableau 14** fut aussi suivi, à l'exception près que la dissolution s'opérait dans un erlenmeyer de 2 litres contenant le volume de la solution à concentrer, et non pas de l'eau déminéralisée dans un ballon jaugé.

4.2. Set-up et procédures expérimentales

Cette partie est consacrée à l'explication des deux procédures expérimentales impliquant l'emploi des membranes. Elles comprendront à chaque fois trois parties : tout d'abord, le but

de ces manipulations sera exposé. Dans la foulée, le montage sera décrit et justifié. Ensuite, il en sera de même pour la procédure suivie.

Toutes les expériences ont eu lieu à température ambiante : 20°C.

a. Etude de l'influence de la concentration et du débit des solutions : caractérisation du flux

Le but des expériences réalisées avec ce set-up (Figure 28, photo : Figure 29) est d'étudier l'impact de la concentration des solutions osmotiques et d'alimentation d'une part, et d'autre part l'impact du débit, sur le flux transmembranaire, J .

Les pompes péristaltiques permettent d'appliquer un débit précis. Elles font circuler les solutions d'alimentations et osmotiques de leurs réservoirs respectifs à l'intérieur de la membrane.

La solution d'alimentation (« Na_2CO_3 solution » sur la Figure 28) passe à travers des fibres contenues dans le contacteur membranaire, appelé aussi lumen side tandis que la solution osmotique (NaCl) passe à contre-courant de la solution d'alimentation dans le shell side (la partie autour des fibres dans la membrane). Le processus se déroule en batch : les solutions repassent plusieurs fois dans la membrane.

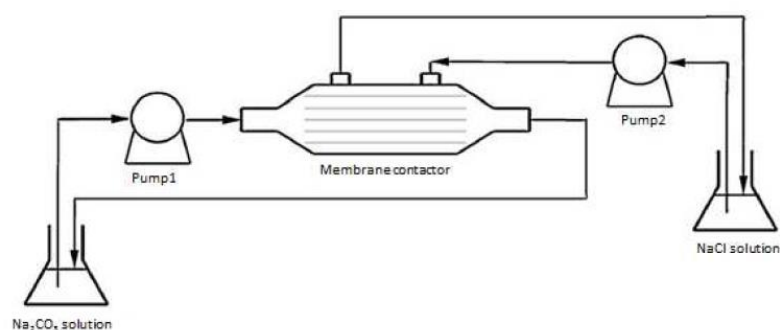


Figure 28 Schéma du montage employé pour la caractérisation de la membrane (repris de Simon, 2016)



Figure 29 Montage expérimental pour les expériences de caractérisation de la membrane

Les concentrations des solutions variaient entre 200 et 300 g.L⁻¹ pour la solution osmotique, dans le but de confronter les tendances observées par Janssens et Simon (Janssens, 2015 ; Simon, 2016) pour d'autres sels que le carbonate de sodium. Pour la solution d'alimentation, cela variait entre 20 et 250 g. L⁻¹. Le but de travailler à des basses concentrations est de déterminer le flux pour de telles concentrations. Ainsi, il est éventuellement possible de comparer les résultats obtenus dans le cadre de ce mémoire avec ceux de Janssens et Simon. D'autre part, il est possible avec ce flux pour une gamme de concentrations de la solution d'alimentation, de déterminer la surface de membrane nécessaire pour concentrer puis cristalliser un déchet initialement dilué et ce, à l'aide de contacteur uniquement. Une analyse économique dévoilera l'intérêt économique d'un tel procédé.

Les débits appliqués ont varié entre 150 et 400 pour l'alimentation, et entre 300 et 810 mL.min⁻¹ pour l'osmotique selon le paramètre étudié lors de l'expérience.

Ces expériences sont reprises dans le **Tableau 16** ci –dessous.

Tableau 16 Conditions expérimentales pour les expériences de caractérisation du flux transmembranaire (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

	Alimentation		Osmotique (NaCl)	
	Concentration [g/L]	Débit [mL/min]	Concentration [g/L]	Débit [mL/min]
Na ₂ SO ₄	20-50-70-120-170	400	200	811
	50-120	400	300	811
	100-150	150	300	300
	100-120	300	300	450
	150	300	300	450
KNO ₃	10-75-100-150-250	300	200	450
	10-75-100-150-250	300	300	450
	70	400	200	810
Na ₂ CO ₃	70	400	200	810

La procédure suivie lors de ces expériences est la suivante :

Les conductivités des deux solutions sont mesurées à l'aide du conductimètre repris dans **b** afin de savoir se faire une idée de l'évolution de la concentration au fil de l'expérience. Le pH de la solution d'alimentation est relevé. Contrôler le pH des solutions est important pour deux choses : premièrement, le pH de la solution peut affecter l'action de la membrane, ou le procédé en entier ; deuxièmement, dans le cadre de l'application de la technologie au traitement d'un effluent, son pH impliquera ou non une « tape de neutralisation, pour limiter son impact sur l'environnement (Ruiz Salmon, 2017). Une fois le montage mis en place, le passage dans la membrane des deux solutions est entamé en enclenchant les pompes au débit souhaité. Pendant quelques minutes, la membrane se remplit des deux solutions, l'air est extrait. Lorsque toutes les bulles sont extraites du contacteur, les pompes sont stoppées, les tuyaux pour la solution d'alimentation sont clampsés et ôtés du réservoir afin de peser le poids « initial » de la solution d'alimentation. Cette donnée servira pour la détermination du flux (voir section **b**). Les tuyaux sont dé clampsés, les pompes actionnées à nouveau.

Toutes les vingt minutes, cette procédure de relevé du poids est répétée, combiné à la mesure de la conductivité de l'alimentation. Janssens a conclu lors de ses expériences, que cette procédure n'influence pas les résultats si le temps entre deux mesures dépassait dix minutes (Janssens, 2015). Un intervalle de vingt minutes procure donc une marge fiable, dans la mesure

où le temps consacré à la mesure n'excède approximativement pas une minute. Les conductivités des deux solutions sont mesurées afin de savoir se faire une idée de l'évolution de la concentration au fil de l'expérience.

Une expérience durait en moyenne deux heures. Ce qui équivaut à six mesures. Si le flux déterminé de la variation du poids n'était pas stabilisé, l'expérience était allongée par tranches de vingt minutes jusqu'à atteindre un plateau.

La manipulation terminée, la membrane est vidée des deux solutions, puis rincée avec de l'eau déminéralisée avant d'être finalement séchée, à l'aide d'un courant d'air, servant à extraire les dernières traces d'eau de la membrane. Pour plus de détails sur la procédure de nettoyage, consultez l'appendice 1. Le pH de la solution d'alimentation, ainsi que la conductivité des deux solutions sont relevées.

b. Etude de la cristallisation au sein de la solution d'alimentation

Ces expériences ont été réalisées dans le but de déterminer la faisabilité d'une cristallisation membranaire pour le nitrate de potassium ; pour le sulfate de sodium, avec une membrane plus grande que celle employée dans la littérature (Li et al., 2014), et enfin, à titre de reproductibilité, pour le carbonate de sodium.

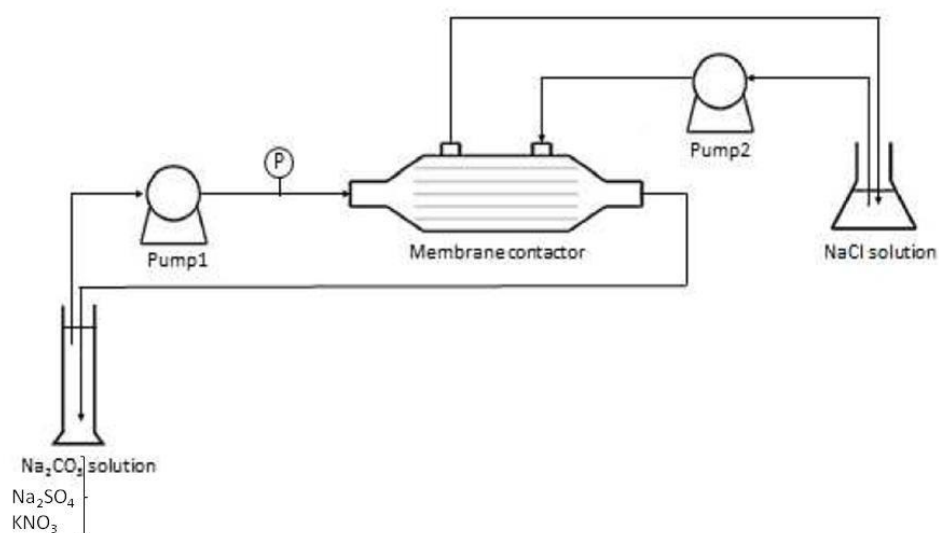


Figure 30 Schéma du montage des expériences de cristallisation (repris et adapté de Simon, 2016)

Le montage de ces expériences schématisé à la **Figure 30** (photo à la **Figure 31a**) a été pensé afin de favoriser la cristallisation, et d'éviter au maximum le blocage des pores de la membrane (*pore blockage* en anglais). De fait, le réservoir n'est plus un erlenmeyer ou un berlin de 2L,

mais une éprouvette graduée de 2L. Ce réservoir facilite une disposition des tuyaux à deux étages de par sa forme cylindrique allongée, comme on peut le constater sur la photo ci-dessous (Figure 31b).

Cette disposition permet d'une part de faire déverser la solution concentrée au fond du récipient (Figure 31d). Ainsi, on favorise l'accumulation des cristaux formés dans le fond du récipient. D'autre part, elle permet de prélever la solution à concentrer dans la partie supérieure, ceci permettant de limiter l'aspiration des cristaux formés dans la membrane.

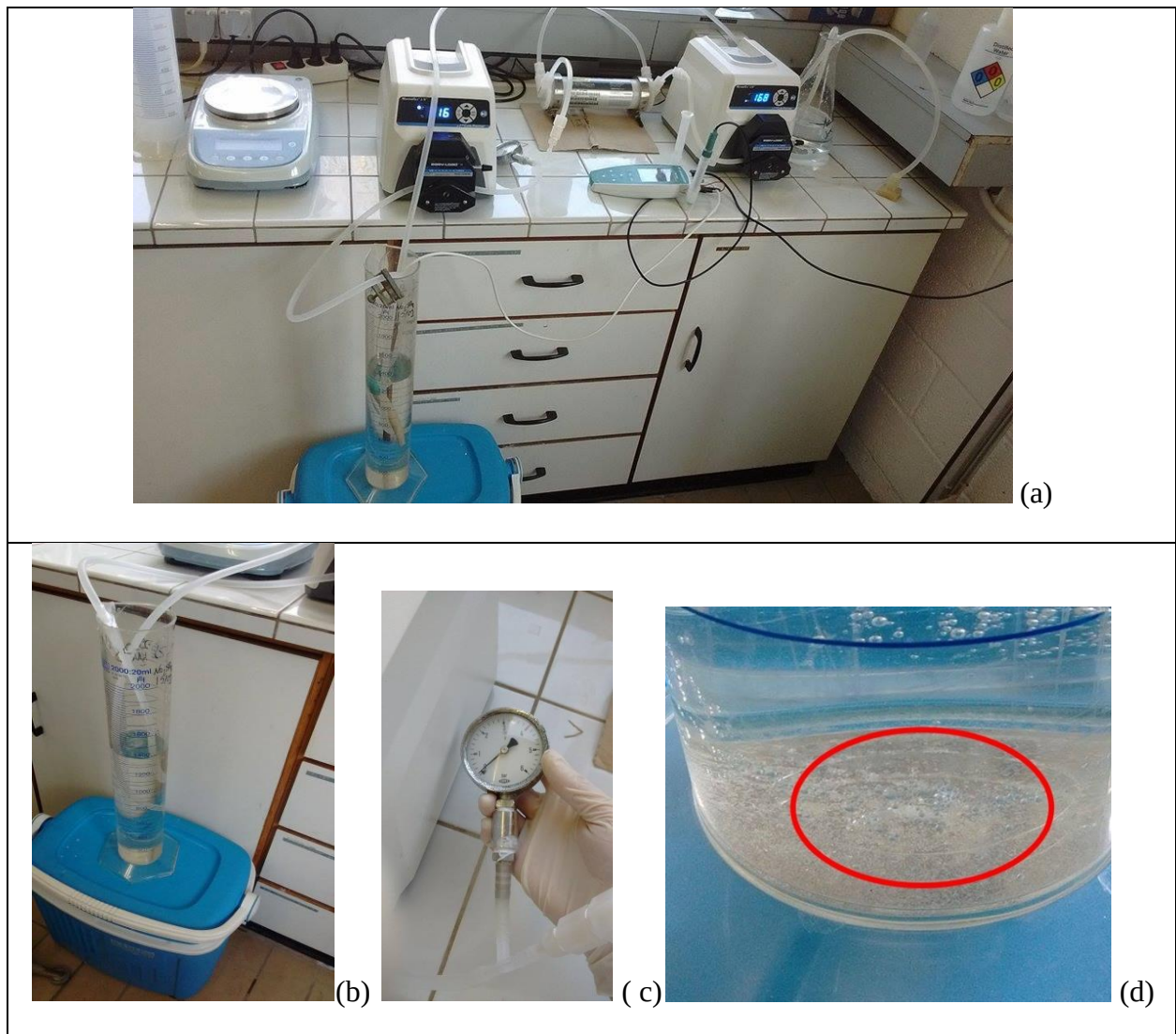


Figure 31(a) Montage pour les expériences de cristallisation ; (b) agencement à deux étages des orifices des tuyaux pour la solution d'alimentation ; (c) manomètre ; (d) apparition des premiers cristaux

Etant donné le risque élevé de blocage de la membrane, un manomètre (symbolisé par le P sur la Figure 30, photo Figure 31c) a été inséré sur le montage entre la pompe acheminant la solution d'alimentation et l'entrée dans la membrane pour la solution d'alimentation. Cet appareil nous permet de surveiller la pression, et d'arrêter à temps l'expérience avant qu'elle

ne se bloque complètement. En effet, lorsque des cristaux commencent à obstruer les pores de la membrane, ou à boucher les tubes par lesquels passe la solution d'alimentation, il y a une résistance croissante à l'entrée de cette dernière dans la membrane. La pression à l'entrée de la membrane augmente donc. Un blocage total est à éviter car, en plus d'être extrêmement long à déboucher (l'eau ne sait même plus circuler, il faut suivre une procédure décrite en [Annexe J](#)), il peut endommager la membrane (Warsinger, Swaminathan, GuillenBurrieza, Arafat, & Lienhard, 2015).

Concernant la procédure, les solutions étaient préparées à une concentration élevée, proche de la solubilité à 20°C (voir diagramme de solubilité dans l'[Annexe L](#)). Le [Tableau 15](#) Plan de travail de réalisation des solutions d'alimentations pour les expériences de cristallisation membranaire en présence d'impuretés (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017) reprend les concentrations choisies pour les différentes solutions. La concentration de 240 g.L⁻¹ pour l'expérience du sulfate de sodium est due à un manque de temps le jour de l'expérience, pour concentrer à 300 g.L⁻¹ la solution osmotique.

Les débits imposés sont 300 mL.min⁻¹ pour l'alimentation, et 450 mL.min⁻¹ pour la solution osmotique, par similitude avec Simon.

Une fois les solutions osmotiques et d'alimentation préparées et le montage monté, les conductivités des solutions étaient mesurées. Le pH était aussi relevé. Comme pour les expériences de caractérisation, l'air était chassé de la membrane.

Tableau 17 Conditions expérimentales pour les expériences de cristallisation membranaire (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

	Alimentation		Osmotique	
	Concentration [g.L ⁻¹]	Débit [mL.min ⁻¹]	Concentration [g.L ⁻¹]	Débit [mL.min ⁻¹]
Na ₂ SO ₄	175	300	240	450
KNO ₃	290	300	300	450
Na ₂ CO ₃	200	300	300	450

Aucune prise de mesure du poids de l'alimentation n'a été exécutée. Le suivi se faisait par la vérification du volume diminuant de la solution d'alimentation, de la conductivité décroissante de la solution osmotique et du temps pris jusqu'à l'apparition des cristaux par rapport au temps théorique calculé. Lorsque que les premiers cristaux apparaissaient, la pression était suivie de plus près à l'aide du manomètre. Quand la pression se rapprochait d'un bar, l'expérience était

stoppée, et la même procédure de nettoyage que pour les expériences de caractérisation (cfr a) était suivie.

4.3. Caractérisation et analyses

a. Conductivité des solutions

Nous avons employé le conductimètre décrit dans la section b pour mesurer la conductivité des solutions. En effet, à l'aide de courbes de calibration réalisées avant les expériences de MD(O)-Cr, nous pouvons, en mesurant la conductivité d'une solution, en déterminer sa concentration.

Les courbes de calibration sont représentées à la Figure 32. Elles ont été déterminées en mesurant la conductivité de solutions de concentration connues des sels en question. Les mesures pour chaque concentration ont été répétées au minimum deux fois.

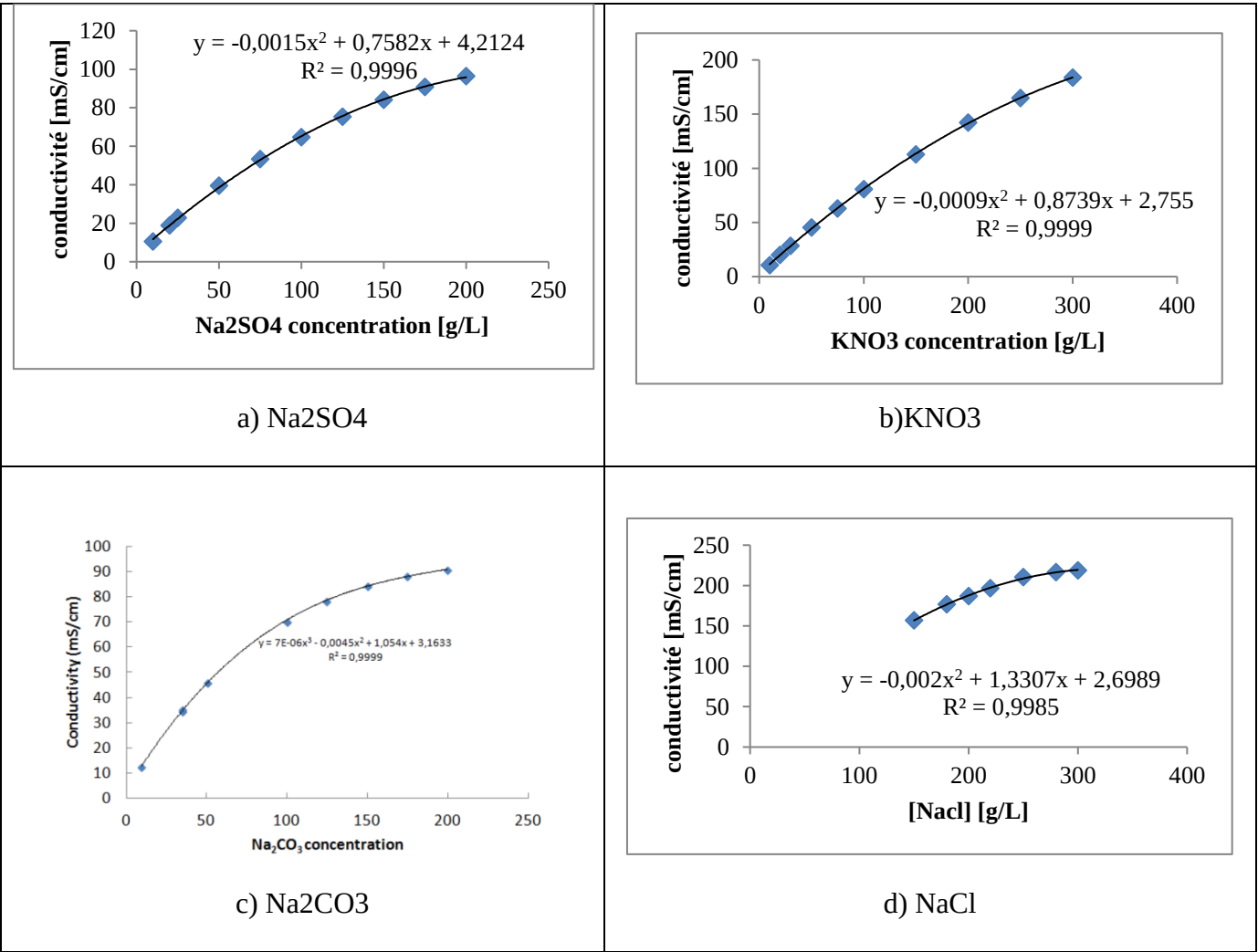


Figure 32 Courbes de calibration de la conductivité des solutions en fonction de leur concentration faits par Clérin, Dubray, & Havenne, 2017, sauf 4-6 c), tiré de Simon (2016).

Le conductimètre est doté d'une sonde Pt1000 fournissant la température. Il donne la conductivité d'une solution à 20°C, et applique une correction linéaire (2.07% / °C) lorsque cette dernière est différente de 20°C, afin d'afficher la valeur de la conductivité de la solution à 20°C.

Cette mesure était nécessaire surtout pour la réutilisation des solutions, et également afin de pouvoir suivre l'évolution des concentrations des solutions durant les expériences (voir section 4.2).

Il ressort de la courbe de calibration de NaCl que seules les hautes concentrations ont été testées. Etant donné qu'une courbe de calibration complète avait déjà été réalisée par Simon et Janssens, l'idée était de vérifier pour les concentrations de NaCl qui allaient être employées au labo la validité des courbes de calibration de Janssens et Simon. Comme les mêmes valeurs ont été obtenues, il n'a pas été nécessaire de couvrir toutes les concentrations d'une solution de NaCl.

b. Détermination du flux

Le flux détermine l'efficacité du montage expérimental, et des conditions d'expérimentation quant à la quantité d'eau extraite de la solution d'alimentation lors du procédé. Il permet aussi d'obtenir le coefficient de transfert de masse, qui caractérise la membrane.

Le flux a été déterminé lors de chaque expérience afin d'évaluer l'influence des conditions expérimentales (concentrations des solutions, et débits) sur ce dernier.

L'hypothèse est faite que seule l'eau passe à travers la membrane, de la solution d'alimentation à la solution osmotique. Les données de la variation du poids de la solution d'alimentation récoltées lors d'une expérience (voir a) nous permettent d'obtenir le flux transmembranaire via la formule suivante :

$$J = -\frac{1}{A} \frac{dV_p}{dt} \approx -\frac{1}{A\rho_{\text{eau}}} \frac{dw_f}{dt} = -\frac{1}{A\rho_{\text{eau}}} \frac{w_f(t_{i+1}) - w_f(t_i)}{t_{i+1} - t_i}$$

A est la surface de membrane comprise dans le contacteur (1.4m² pour notre module), V_p (m³) est le volume d'eau passée de l'alimentation à la solution osmotique, ρ_{eau} (kg/m³) est la densité de l'eau, t_i (min) est le temps de la prise de mesure numéro i. Vu que l'on travaille avec de

l'eau, $\frac{dV_p}{dt}$ équivaut à $\frac{dw_f}{dt}$, la différence de masse de la solution d'alimentation entre le temps t_{i+1} et t_i .

De chaque expérience est déterminé un flux transmembranaire moyen J_{avg} avec les quatre dernières mesures de l'expérience. De fait, il se peut que lors d'une expérience la valeur du flux J_i chute au début de l'expérience, avant de se stabiliser. Si la valeur du flux ne chute pas brutalement au début de l'expérience, le J_{avg} correspondant à cette expérience comprend alors tous les J_i de l'expérience.

c. Détermination du coefficient de transfert de masse

Le transfert de masse de la solution d'alimentation à la solution osmotique est dû à la différence d'activité des solutions de part et d'autre de la membrane. Ce phénomène est décrit par le coefficient de transfert de masse (K), qui décrit l'efficacité de la membrane, quant à ce qu'on attend d'elle : la concentration de la solution d'alimentation.

K est déterminé par la formule suivante, où $p^{vap}(T_f)$ et $p^{vap}(T_p)$ sont respectivement la pression de vapeur de l'eau des solutions d'alimentation et osmotique à une température donnée ; a_f et a_p sont les activités respectives de la solution d'alimentation (f pour *feed*) et osmotique (p pour *permeate*).

$$K = \frac{J_{avg}}{p^{vap}(T_f)a_f - p^{vap}(T_p)a_p}$$

Dans cette formule, tous les facteurs sont exprimés avec le système unitaire international (unités SI) : $\frac{m^3}{m^2 \cdot min}$ pour J_{avg} et Pa pour p^{vap} . Il faut donc pour calculer le coefficient de transfert de masse, convertir le flux. De fait, il est initialement présenté dans les résultats en $mL \cdot min^{-1} \cdot m^{-2}$. Les activités et pression de vapeur sont calculées via la méthode décrite dans l'[Annexe K](#).

d. Total water fraction (TWF)

Pour le Na_2CO_3 et le Na_2SO_4 , plusieurs formes de cristaux sont possibles, selon la température de cristallisation, comme on peut le constater sur les diagrammes thermodynamiques des sels repris dans l'[Annexe L](#). Cette méthode d'analyse permet de déterminer la quantité d'eau présente dans les cristaux, ce qui nous donne une information sur la nature du cristal formé à une température donnée. La procédure suivie dans le cadre de ce mémoire est basée sur celle référée dans l'article de Ruiz Salmon et al. (2017).

Premièrement, les verres de montres sont tarés (on note leur poids, w_{plate}). Les cristaux sont extraits de la solution surnageante, leur surface séchée à l'aide de papier *tork*, afin d'ôter les éventuelles gouttes de solution excédentaires. Les cristaux sont pesés sur les verres de montres, le poids est noté (w_{ini}). Le tout est placé quatre heures dans un four, à 105°C. On considère alors que toute l'eau présente s'est évaporée. On pèse à nouveau l'ensemble ($w_{anhydrous}$).

Le TWF est alors déterminé avec la formule suivante :

$$TWF = \frac{w_{ini} - w_{anhydrous}}{w_{ini} - w_{plate}} * 100\%$$

Les teneurs en eau théoriques des formes anhydres et hydratées des cristaux sont repris dans le **Tableau 18**. Les valeurs expérimentales y sont comparées, afin de trouver le cristal formé ;

Tableau 18 Teneurs en eau théoriques des cristaux de nitrate de potassium, sulfate de sodium, et de carbonate de sodium (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

Cristaux	TWF (%)
KNO ₃	0
KNO ₃ .H ₂ O	15,12
Na ₂ SO ₄	0
Na ₂ SO ₄ .7H ₂ O	47,03
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	55,91
Na ₂ CO ₃	0
Na ₂ CO ₃ .H ₂ O	14,53
Na ₂ CO ₃ .7H ₂ O	54,33
Na ₂ CO ₃ .10H ₂ O	62,96

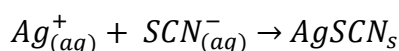
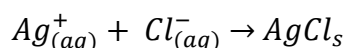
e. Analyse quantitative de la teneur en ions chlorures par la méthode Charpentier-Volhard

Comme expliqué dans la section **b**, pour déterminer la valeur du flux transmembranaire, il a été assumé qu'il n'y a que l'eau qui passe à travers la membrane. En cas de mouillage, les deux phases de part et d'autre de la membrane entrent en contact, des ions dissous peuvent donc passer d'une solution à l'autre (Ye et al., 2013). De fait, Luis et al (2013) ont retrouvé des ions chlorures dans la solution d'alimentation, qui n'en contenait pas au départ. Ils ne pouvaient donc provenir que de la solution osmotique. Comme cela peut être une source d'impuretés, et donc impacter la cristallisation du sel d'intérêt, il est intéressant de savoir la

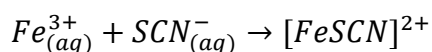
quantité de chlorures dans l'alimentation au terme de la cristallisation membranaire, et si une partie d'entre eux s'est insérée dans le réseau cristallin.

Pour savoir s'il y a des chlorures dans le réseau cristallin, il faudra dissoudre dans de l'eau déminéralisée une quantité connue du cristal à étudier (Simon, 2016). Ce cristal devra être préalablement lavé, afin d'ôter de sa surface les éventuels chlorures présents dans le surnageant. La procédure de nettoyage se trouve en annexe D.

La méthode de Charpentier-Volhard permet d'évaluer, et ce quantitativement, la présence de chlorures dans une solution. Basée sur le principe du titrage en retour, la quantité de chlorures présente dans la solution est déterminée via la quantité de thiocyanate nécessaire pour titrer l'argent restant en solution (College of Science, s.d.). Au plus elle sera élevée, au moins il y aura d'ions chlorure dans la solution.



Pour réaliser ce titrage, un large excès de nitrate d'argent ($AgNO_3$) est ajouté à l'échantillon. Sa quantité est connue. La précipitation du chlorure d'argent est immédiate, du à la très faible solubilité de ce composé (Hein & Arena, 2009). Ensuite, du Fe^{3+} est ajouté en tant qu'indicateur avant de titrer l'argent restant par une solution de thiocyanate. Dès que tout l'argent a précipité avec l'ion SCN^{-} , la solution passe du jaune pâle au rouge foncé car le thiocyanate ajouté passé l'équivalence, complexe avec l'ion ferrique. Le titrage est terminé.



Le calcul à réaliser pour obtenir la teneur en chlorures est de soustraire le nombre de moles de thiocyanate introduit jusqu'au changement de couleur au nombre de moles de nitrate d'argent initialement introduite (College of Science, s.d.).

f. Diffraction aux rayons X

Cette méthode permet d'identifier la nature de l'état solide. Plus particulièrement, cette méthode permet de trouver un diffractogramme. Ce dernier est créé par la diffraction des rayons-X par les cristaux. Le diffractogramme dépend donc de la nature de la phase cristalline.

Dans le cadre de ce mémoire, un appareil de diffraction de poudre a été employé pour analyser les cristaux. Il s'agit, d'un diffractomètre Siemens D5000, équipé d'un système de radiation

CuK α . Les analyses se sont opérées à 40 kV et 40 mA, avec une fenêtre de scan de valeur 2Θ de 2 à 50°. La vitesse de scan est de 0.6 min⁻¹, et le pas est de 0.02°.

La procédure pour la préparation des échantillons consiste à nettoyer la surface des tablettes sur lesquelles seront déposés les échantillons. Ensuite, on applique de la crème Nivea sur les plaquettes. Cette crème permet de fixer l'échantillon, et n'impacte pas les mesures, car elle ne diffracte pas. L'échantillon broyé à l'aide d'un mortier et d'un pilon, est ensuite déposé sur la plaquette. Cette dernière est tapotée afin d'ôter les cristaux qui ne sont pas bien fixés. Une fois les tablettes insérées dans l'appareil, l'analyse est lancée. (Höfler, 2017)

L'analyse des résultats consiste en une comparaison des spectres obtenus avec les spectres de la littérature. On peut les retrouver sur la base de données « Crystallography Open Database » (<http://www.crystallography.net/cod/search.html>) sous forme de fichiers .cif. Les spectres théoriques sont extraits des fichiers .cif à l'aide du programme « Mercury ». La procédure pour les extraire est décrite dans l'appendice M. (Höfler, 2017)

Le but de cette analyse sera d'évaluer l'impact de la présence d'impuretés (autres sels que le sel d'intérêt) sur la cristallisation du sel ciblé. Ainsi, l'efficacité de la technique de revalorisation de déchet étudiée dans le cadre de ce mémoire peut être testée, un cran plus proche de la réalité du terrain. De fait, un effluent est rarement une solution pure, ne contenant qu'un sel. Le mode opératoire suivi pour cette étude se base sur l'article de Ye et al., publié en 2013.

g. Estimation de la production de cristaux

Etant donné que le but du projet d'entreprise étudié dans ce mémoire est de valoriser les sels cristallisés, il est intéressant de se poser la question de la quantité de sel produite au terme d'une expérience de cristallisation.

La première idée est de peser la quantité de cristaux. Seulement, cela implique de devoir les sécher, pour ôter l'eau excédentaire sur leur surface. Ceci prend du temps, le risque que certains se déshydratent déjà est grand, et celui que la détermination de la quantité du sel cristallisé soit biaisée, également. De plus, une partie des cristaux se trouvent dans la membrane, et sont perdus lors du lavage impliquant une source d'erreur supplémentaire.

La procédure suivie est décrite par Simon (Simon, 2016). Elle se base sur une différence entre la concentration à la fin de l'expérience de concentration $C_{f,end}$, et la concentration de saturation $C_{f,sat}$. La concentration de base doit être connue précisément.

On sait que lors d'une cristallisation membranaire, le volume de la solution d'alimentation V diminue, dû au passage de l'eau vers la solution osmotique. La quantité du sel présent dans la solution d'alimentation m_{salt} elle ne varie pas. Traduit mathématiquement, cela donne :

$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = -J * A \\ \frac{dm_{salt}}{dt} = 0 \end{cases}$$

J est le flux transmembranaire moyen de l'eau à travers la membrane pour le sel étudié, A est l'aire membranaire du module employé, et t est le temps, en minutes.

Une évolution théorique de la concentration de la solution d'alimentation en fonction du temps a été établie par linéarisation par Simon. Il a employé l'équation $m_{salt} = C_{f,i} * V_{f,i}$, où $C_{f,i}$ et $V_{f,i}$ sont respectivement la concentration et le volume de la solution d'alimentation au temps i . $C_{f,i+1}$ et $V_{f,i+1}$ sont obtenus par ces équations :

$$\begin{cases} V_{f,i+1} = V_{f,i} - J * A * dt \\ C_{f,i+1} = \frac{C_{f,i} * V_{f,i}}{V_{f,i+1}} = \frac{C_{f,i} * V_{f,i}}{V_{f,i} - J * A * dt} \end{cases}$$

Enfin, la quantité de cristaux produits est estimée à l'aide de l'équation suivante :

$$m_{salts} = (C_{f,end} - C_{f,sat}) * V_{f,end}$$

5. Résultats et discussion

Ce chapitre exposera dans un premier temps les résultats et analyses sur l'influence de la concentration, puis du débit sur le flux et le coefficient du transfert de masse. Ensuite, les observations, et résultats des analyses des échantillons des expériences de cristallisation seront parcourus.

5.1. Influence de la concentration et de la nature du sel

Les résultats présentés dans cette section sont issus des expériences décrites en [a](#). Les solutions d'alimentation et osmotiques sont à température ambiante ($20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), et leur concentrations ont été modifiées selon le plan expérimental décrit dans le [Tableau 15](#). Le débit de la solution d'alimentation était de 300mL/min et celui de la solution osmotique, de 450mL/min.

a. Effet sur le flux

Des études antérieures ont observé une tendance générale du flux transmembranaire à diminuer au début des expériences de distillation membranaire de solutions de carbonate de sodium (Luis et al., 2013 ; Ruiz Salmon et al., 2017 ; Simon, 2016). La [Figure 33](#) illustre l'évolution classique du flux transmembranaire lors d'une des expériences en laboratoire de distillation osmotique membranaire réalisées cette année. Cette tendance est plus faible, mais on observe bien une légère diminution du flux au fil du temps, mais surtout au début de l'expérience. Le flux finit par se stabiliser, un état steady-state est alors atteint (Ruiz Salmon et al., 2017). Ce pourquoi, excepté pour les expériences où le flux ne varie pas, seules les 4 dernières valeurs mesurées du flux seront prises en compte pour la détermination d'un flux transmembranaire moyen par expérience. Ces derniers serviront à trouver le coefficient de transfert de masse, et étudier l'efficacité de la membrane pour une distillation et cristallisation membranaire de sels.

La diminution du flux en fonction du temps peut être expliquée sur base de l'équation suivante :

$$J = K(p_f - p_o) = K(p_f^* a_f - p_o^* a_o) = K p_{vap}^* (a_f - a_o) \text{ (conferatur [Annexe K](#))}$$

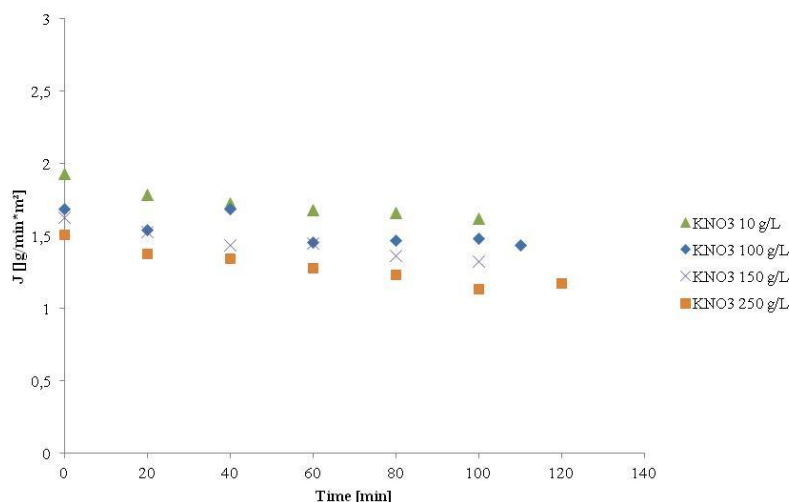


Figure 33 Evolution du flux transmembranaire lors des expériences de caractérisation de la membrane, pour des concentrations différentes en KNO_3 de la solution d'alimentation. Dans ce cas-ci, la solution osmotique a une concentration en NaCl de 300g/L (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

Lors d'une distillation, la solution d'alimentation se concentre, car de l'eau s'en extrait, mais la quantité de soluté présent, elle, ne change pas. Dans la solution osmotique c'est le cas contraire : la quantité d'eau présente augmente, ce qui entraîne une dilution.

Si l'on se réfère au graphe en [Annexe K](#) des activités de l'eau des différentes solutions employées dans le cadre de ce mémoire, on constate que l'activité diminue quand la concentration de la solution augmente. Ce qui est logique, l'activité représentant la quantité d'eau disponible. Or, si la concentration en soluté d'une solution augmente, il faudra plus de molécules d'eau pour les dissoudre, donc il y aura moins de molécules d'eau disponibles.

Pour revenir à la diminution du flux en début d'expérience, lorsque la concentration de la solution d'alimentation augmente, on peut donc constater que l'activité de la solution d'alimentation diminue quand sa concentration augmente. Donc dans l'équation ci-dessus, a_f diminue et a_o augmente. Le flux diminue donc. Mais comme le volume des solutions est assez élevé que pour limiter la variation de concentration lors d'une expérience, le flux se stabilise, les variations des concentrations sont négligeables.

Etude du flux transmembranaire de la distillation membranaire du KNO_3

La [Figure 34](#) illustre les flux transmembranaires moyen obtenus à différentes concentrations de la solution d'alimentation en KNO_3 , et pour deux concentrations différentes de la solution osmotique.

On observe une diminution du flux lorsque la concentration de la solution d'alimentation augmente. Pour une concentration d'alimentation donnée, le flux moyen augmente si la concentration osmotique augmente. Ceci s'explique, comme plus haut, avec la relation $J = K p_{vap}^*(a_f - a_o)$. Si la concentration de l'alimentation augmente, son activité diminue, et donc $a_f - a_o$ diminue et donc J diminue. Mais si a_o diminue, la valeur du flux augmentera.

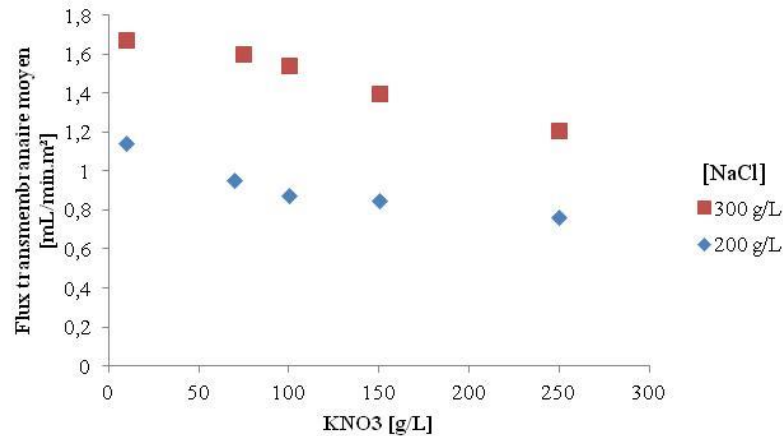


Figure 34 Evolution des flux transmembranaires moyen en fonction de la concentration de la solution d'alimentation en KNO₃, à deux concentrations osmotiques différentes (débit Alimentation : 300mL/min ; débit osmotique : 450 mL/min) (Clérin, Dubray, & Havenne, 20)

En parallèle, on peut observer que la variation de concentration de la solution osmotique a un plus grand impact que celle de la solution d'alimentation. Cela est dû au fait que la dépendance de l'activité de l'eau à la concentration de la solution est plus forte pour le NaCl que pour le KNO₃ (voir graphique des activités de l'eau en annexe C). Cette plus forte dépendance est due à la force ionique (Luis et al., 2013 ; Ruiz Salmon et al., 2017) de la solution osmotique, qui est plus élevée que celle de la solution d'alimentation ainsi que des tailles des ions. De fait, l'activité de l'eau est fonction du coefficient d'activité moyen. Ce dernier, pour des forces ioniques supérieures à 0,1 est fonction selon la théorie de Debye-Hückel, en plus de la force ionique, du diamètre des ions (Dupont & Garcia, 2014).

Le graphique illustré sur la **Figure 34** nous permet d'établir des courbes d'interpolation. Elles permettent de connaître le flux moyen pour une concentration donnée non réalisée en laboratoire, ce qui est une bonne aide pour des prédictions futures lors d'installations de système de distillation et cristallisation membranaire à échelle industrielle. Le modèle exponentiel a été choisi pour la dépendance exponentielle de l'activité de l'eau à la concentration de la solution (**Annexe K**).

$$J = 1,7185e^{-0,001C_{KNO_3}}, \text{ pour une } C_{NaCl} = 300 \text{ g/L}$$

$$J = 1,092e^{-0,002C_{KNO_3}}, \text{ pour une } C_{NaCl} = 200 \text{ g/L}$$

Seulement, les expériences n'ayant été réalisées qu'une seule fois, la validité de cette courbe d'interpolation est remise en doute pour la solution osmotique à 200 g/L, le R^2 étant moins proche de 1, donc les valeurs expérimentales étant plus éloignées de la courbe créée.

Etude du flux transmembranaire de la distillation membranaire du Na_2SO_4

Le même raisonnement qu'appliqué pour le nitrate de potassium précédemment peut être appliqué pour l'analyse de la Figure 35. Les mêmes analyses en sont tirées : La concentration de la solution osmotique a un plus grand impact sur le flux transmembranaire que la concentration de la solution d'alimentation, et au plus la concentration de la solution osmotique est élevée, au plus grand sera le flux. L'inverse est observé pour l'évolution de la concentration d'alimentation : le flux diminue avec la croissance de la concentration de la solution d'alimentation.

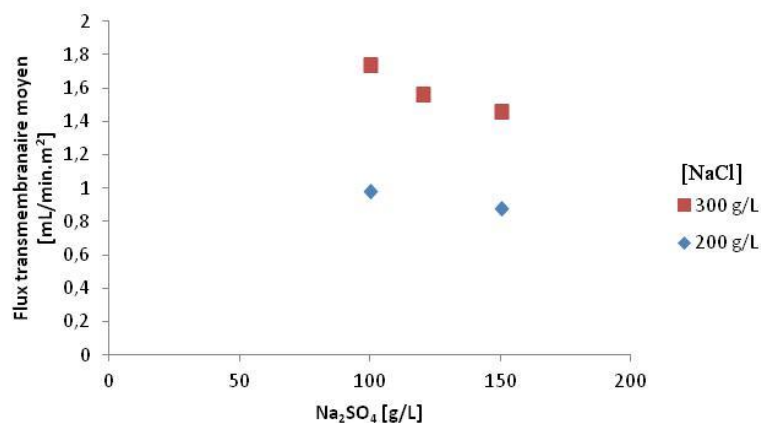


Figure 35 Evolution du flux à 300mL/min (alimentation) et 450 mL/min (osmotique) pour la distillation d'une solution de sulfate de sodium à différentes concentrations (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Influence de la nature du sel

Le but de ce mémoire étant de proposer un service de valorisation d'effluents industriels, il est intéressant de comparer les flux transmembranaires entre eux. De fait, la surface membranaire nécessaire pour le traitement est fonction du flux transmembranaire. Si ce flux ne varie pas en fonction du sel, cela simplifiera l'élaboration du système de traitement pour un nouveau client.

La Figure 36 présente pour des débits donnés l'évolution des flux transmembranaires moyens pour deux concentrations de la solution osmotique différentes. On constate que le flux diminue lorsque la concentration de l'alimentation augmente, et qu'il y a une nette différence du flux

selon que la solution osmotique est à 200 ou 300g/L, confirmant donc la plus importante influence de la solution osmotique sur le flux que la solution d'alimentation.

Concernant l'influence de la nature du sel, si l'on se réfère à la [Figure 37](#) qui illustre les flux moyens obtenus pour chacun des trois sels étudiés lors de ce mémoire à une concentration d'alimentation de 100g/L, en conditions expérimentales identiques (excepté pour la personne ayant réalisé les manipulations), on peut constater que les valeurs des flux pour chaque sel sont très proches. On observe que celui du sulfate de sodium est toujours le plus élevé, suivi de celui du KNO_3 et enfin du Na_2CO_3 . Si l'on se réfère au graphe des activités de l'eau repris en [Annexe K](#), et à l'équation liant le flux transmembranaire aux activités de l'eau, le flux transmembranaire du carbonate de sodium devrait être le plus faible, suivi de près par ceux du nitrate de potassium et du sulfate de sodium, ce qui est le cas.

Seulement, quand on souhaite élargir la comparaison aux alimentations plus et moins concentrées, on se rend compte en regardant la [Figure 36](#) que la tendance n'est plus aussi unilatérale, qu'il y a quelques incohérences. Le carbonate a un flux plus élevé aux basses concentrations que le nitrate de potassium. Or, les activités de l'eau du KNO_3 et du Na_2CO_3 sont similaires à 10g/L. La source d'erreur doit être la différence d'expérimentateur : les données pour le carbonate de sodium viennent des mémoires de Raphaël Janssens (Janssens, 2015) et de Kevin Simon (Simon, 2016).

L'évolution des flux pour le nitrate de potassium et du sulfate de sodium restent cohérentes entre elles, leurs activités étant très similaires et se rejoignant à hautes concentrations. On peut conclure que la valeur du flux suivant la nature du sel sera essentiellement fonction de son activité de l'eau mais qu'une comparaison entre les précédents travaux et ceux de ce mémoire n'est pas envisageable.

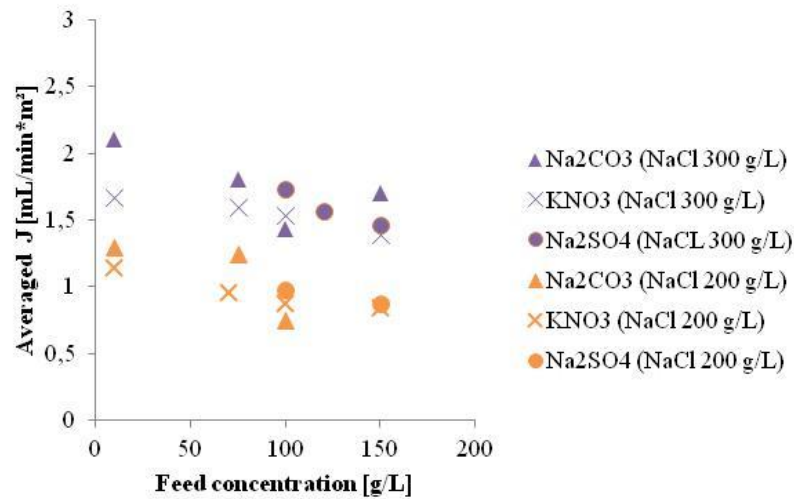


Figure 36 Evolution des flux transmembranaire moyen en fonction de la concentration de la solution osmotique, pour un débit donné pour les 3 sels étudiés (alimentation : 300mL/min ; osmotique : 450 mL/min) (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

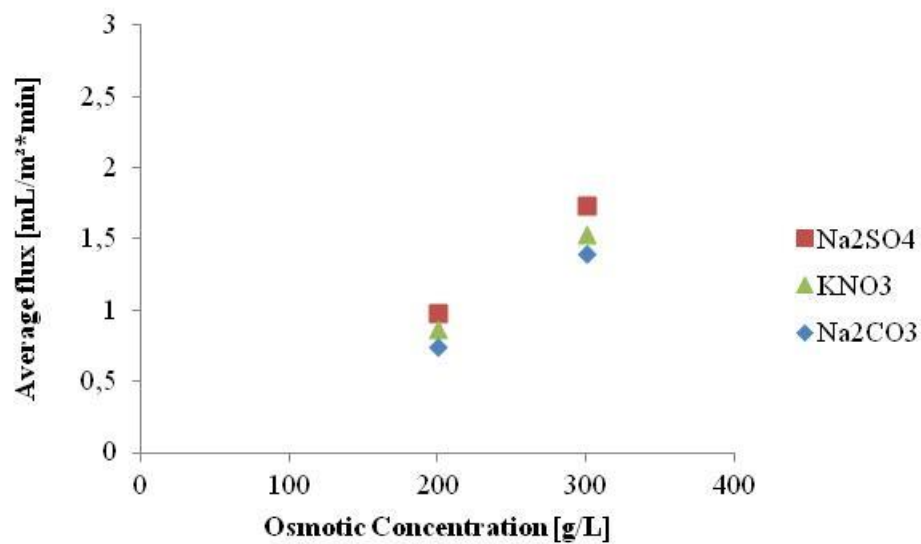


Figure 37 Flux transmembranaire moyen en fonction de la concentration de la solution osmotique, pour une concentration de l'alimentation et un débit donné pour les 3 sels étudiés (Débit de la solution osmotique : 450mL/min, Solution d'alimentation : 100g/L; 300mL/min) (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

a. Effet sur le coefficient de transfert de masse

Avec l'équation $J = K p_{vap}^* (a_f - a_o)$, et les valeurs des flux moyens, nous pouvons obtenir le coefficient de transfert de masse du contacteur membranaire.

Etude du flux transmembranaire de la distillation membranaire du KNO_3

Pour le KNO_3 , comme pour le Na_2SO_4 et le Na_2CO_3 dans les articles et travaux antérieurs (Li et al., 2014 ; Luis et al 2013 ; Ruiz Salmon et al., 2017), on peut observer sur la **Figure 38** que le coefficient est plus élevé pour une solution osmotique moins concentrée. Ceci est directement lié au fait qu'à concentration osmotique plus élevée, le flux est plus élevé. S'ensuit une meilleure évaporation de l'eau. En contrepartie, la concentration locale de la solution d'alimentation à la surface de la membrane augmente et celle de la solution osmotique diminue (due à l'évaporation de l'eau). Cette polarisation impacte négativement l'efficacité du transfert de masse, qui diminue.

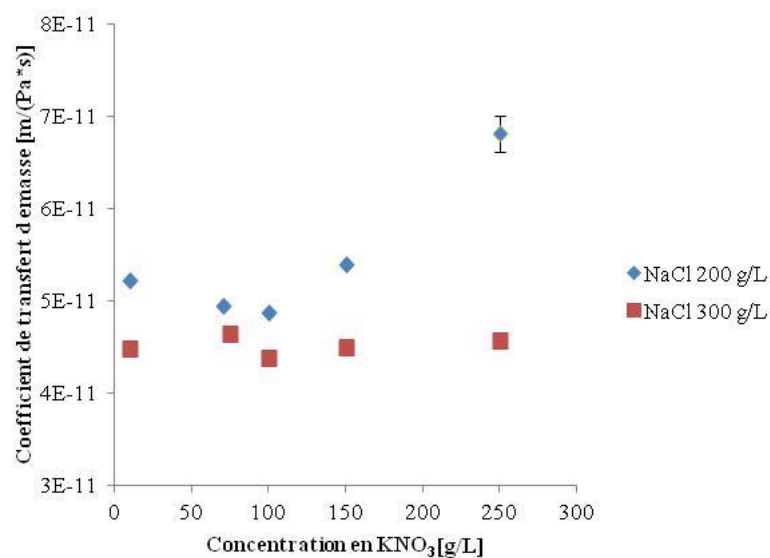


Figure 38 Evolution du coefficient de transfert de masse en fonction de la concentration en KNO_3 , pour deux concentrations de la solution osmotique (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Normalement, K doit être constant avec la variation de la concentration d'alimentation (Luis et al., 2013 ; Ruiz Salmon *et al.*, 2017). C'est d'ailleurs ce que l'on constate pour les expériences avec NaCl 300g/L et pour les solutions plus diluées pour les expériences avec la solution osmotique à 200g/L). Mais, on remarque sur la **Figure 38** que pour une concentration à 250 g/L en KNO_3 , le K augmente drastiquement pour NaCl 2000 g/L. L'expérience a été répétée (d'où la barre d'erreur) pour confirmer ou infirmer le résultat. Le meilleur K est confirmé. Une augmentation du K avait déjà été observée à haute concentration de la solution d'alimentation, mais avec une importance bien moindre (Simon, 2016). Nous avons trouvé une synergie intéressante seulement, lui trouver une explication est moins évident. En effet, pourquoi le K n'augmente-il pas non plus pour NaCl 300 g/L ? Les conditions expérimentales ont été analysées. Il en ressort que la température d'expérimentation était sensiblement plus

élevée pour ces deux expériences (KNO_3 : 250 g/L et NaCl : 200 et 300 g/L). La température moyenne de départ et de fin de ces deux expériences étaient respectivement de 18,4 °C et de 20,5 °C. Or, toutes les autres expériences ont en moyenne démarré à 16,7 °C et terminé à 19,2 °C. Mais une hausse de température est supposée faire diminuer le coefficient de transfert de masse (Ruiz Salmon et al., 2017). Nous supposons que, comme la différence d'activité $a_f - a_o$ est plus petite avec la concentration en NaCl de la solution osmotique à 200 g/L qu'à 300 g/L, l'impact d'une variation d'activité est plus important. Ce qui expliquerait un comportement différent selon la concentration osmotique.

Etude du flux transmembranaire de la distillation membranaire du Na_2SO_4

L'évolution du coefficient de transfert de masse en fonction de la concentration à des débits constants est répertoriée dans la **Figure 39** ci-dessous. On peut constater que la concentration de l'alimentation n'impacte que très légèrement le coefficient, à une concentration osmotique de 200 g/L. Les expériences avec une solution osmotique de 300 g/L montrent par contre une plus nette diminution du coefficient de transfert de masse avec l'augmentation de concentration de la solution d'alimentation. Ce phénomène a déjà été observé (Li et al., 2014). Il a été suggéré comme explication de ce phénomène qu'un phénomène de polarisation a lieu, diminuant donc l'efficacité de l'évaporation de l'eau, et donc, du procédé.

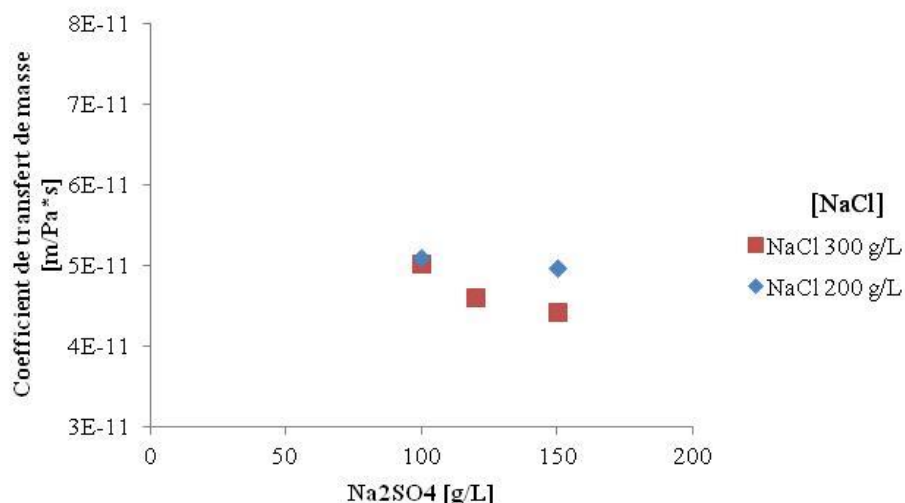


Figure 39 Evolution du coefficient de transfert de masse en fonction de la concentration en alimentation, à différentes concentrations de la solution osmotique, et différents débits de la solution d'alimentation (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Une analyse plus poussée sera réalisée au paragraphe traitant de l'impact des débits imposés, car plus d'expérience ont été réalisées dans ce cas là afin d'avoir une vue plus globale sur l'évolution du coefficient de transfert de masse.

5.2. Influence du débit

Les résultats présentés dans cette section sont issus des expériences décrites en **a**. Les solutions d'alimentation et osmotiques sont à température ambiante ($\pm 20^{\circ}\text{C}$), et leur concentrations ont été modifiées selon le plan expérimental décrit dans le **Tableau 16**. L'influence du débit sera d'abord présentée sur le flux transmembranaire, et ensuite sur le coefficient de transfert de masse.

a. Effet sur le flux

Etude du flux transmembranaire de la distillation membranaire du Na₂SO₄

La figure ci-dessous (**Figure 40**) reprend tous les flux moyens obtenus à différents débits tant pour la solution d'alimentation que pour la solution osmotique pour la distillation membranaire du sulfate de sodium. La concentration osmotique est de 200 g/L. Ainsi, il va être possible d'étudier l'influence du débit d'un effluent sur l'efficacité d'un système de distillation membranaire.

On constate qu'une diminution des débits de l'alimentation et de la solution osmotique n'influence aucunement l'efficacité du processus. On peut en conclure que les débits imposés

étaient assez élevés que pour éviter la polarisation, due à une trop faible vitesse des solutions (Ruiz Salmon et al., 2017).

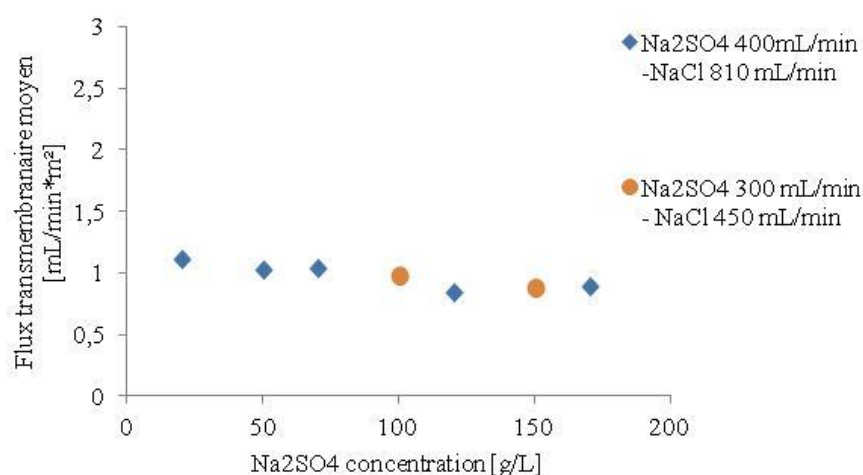


Figure 40 Evolution du flux transmembranaire à différentes concentrations de la solution d'alimentation en fonction des débits imposés, pour une concentration osmotique de 200 g/L (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Pour NaCl = 300g/L, la constatation est plus nuancée. De fait, on note une légère diminution du flux pour les expériences aux plus faibles débits (150mL/min pour l'alimentation, et 300mL/min pour la solution osmotique) mais globalement, changer le débit des solutions des deux côtés de la membrane n'influence pas le flux transmembranaire, et donc l'efficacité du procédé de distillation membranaire.

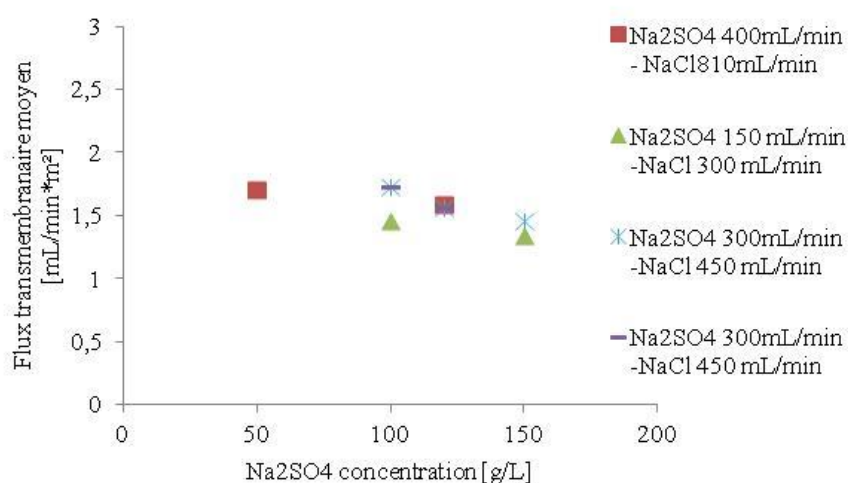


Figure 41 du flux transmembranaire à différentes concentrations de la solution d'alimentation en fonction des débits imposés, pour une concentration osmotique de 300 g/L (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Etude du flux transmembranaire de la distillation membranaire du KNO₃

Un zoom a été opéré sur la Figure 42 pour mieux distinguer les points. Pour le nitrate de potassium, augmenter les deux débits n'améliore pas significativement le flux transmembranaire.

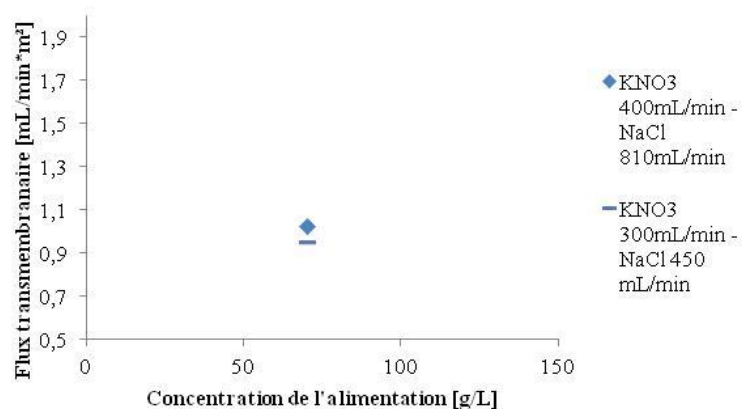


Figure 42 Flux transmembranaire du KNO₃ et du Na₂CO₃ selon différents débits. Le premier débit réfère à la solution d'alimentation, et le deuxième à la solution osmotique (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

b. Effet sur le coefficient de transfert de masse

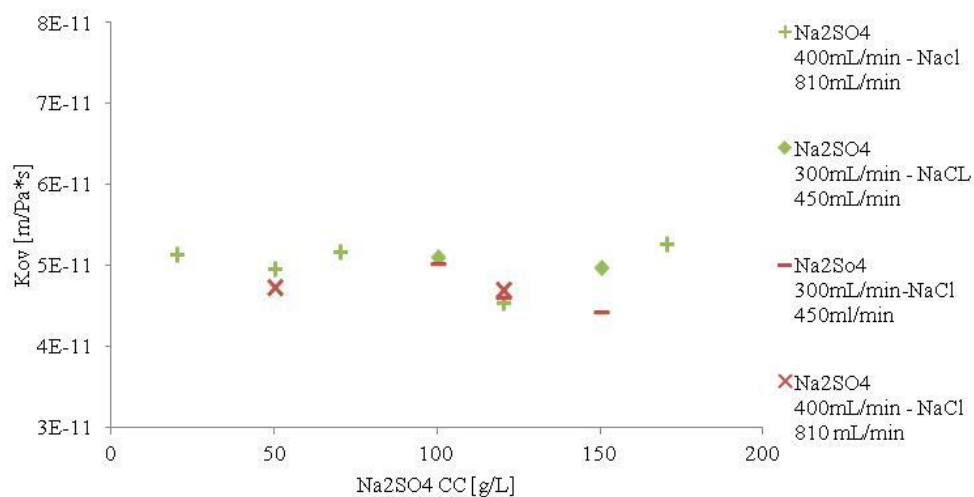


Figure 43 Evolution du coefficient de transfert de masse en fonction de la concentration en sulfate de sodium de l'alimentation, à différentes concentrations de la solution osmotique, et différents débits de la solution d'alimentation (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Sur la Figure 43, on peut observer le coefficient de transfert de masse évoluer en fonction de la concentration de la solution d'alimentation en sulfate de sodium.

Les expériences pour les deux sortes de solutions osmotiques (200 et 300 g/L) sont illustrées également. Chaque famille d'expérience reliée par leur concentration de la solution osmotique a été soumise à deux débits différents.

La tendance générale qui ressort est qu'il n'y a pas d'effet sur le flux si le débit des deux solutions est augmenté. Ceci est valable tant pour les expériences à 200g/L en NaCl qu'à 300g/L en NaCl pour les solutions osmotiques. Les observations de l'art antérieur (Li et al., 2014 ; Ruiz et al., 2017) sont confirmées. À une concentration de l'alimentation donnée, Le K est légèrement plus grand lorsque la concentration en NaCl est plus faible.

5.3. Cristallisation

Les résultats d'analyses des cristaux obtenus suite aux expériences de cristallisation membranaire, des solutions pures et avec des impuretés sont présentés dans ce paragraphe. Enfin, une discussion se portera sur la surface membranaire nécessaire pour cristalliser les sels d'un effluent, et la capacité de production de cristaux d'un procédé de cristallisation membranaire en continu.

a. Total water fraction

La teneur en eau des cristaux a été déterminée en suivant la procédure décrite en **b**.

Les résultats des solutions pures seront d'abord analysés. Ensuite, les teneurs en eaux des sels issus de la cristallisation membranaire de mélanges de sels seront abordées.

Si l'on se réfère aux diagrammes thermodynamique de phase des trois sels étudiés (voir **Annexe L**), et en regard des conditions expérimentales (20°C, concentration de saturation) nous devrions obtenir du $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ et du $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ainsi que du KNO_3 .

Solutions pures

Les moyennes des résultats des teneurs en eau des cristaux sont reprises dans le **Tableau 19** ci-dessous. En comparant les résultats obtenus avec les valeurs théoriques reprises dans le **Tableau 18**, on constate que l'on obtient bien du $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ et du $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, comme obtenu précédemment dans la littérature (Li et al., 2014 ; Ruiz Salmon et al., 2017). Pour le KNO_3 , il n'y a pas de forme anhydre, il cristallise dans l'eau à 20°C en KNO_3 .

Tableau 19 Résultats des teneurs en eau des cristaux issus des solutions pures (moyenne, et déviation standard)
(Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

	Teneur en eau [%]		
	Na ₂ SO ₄	KNO ₃	Na ₂ CO ₃
T° [°C]	20	20	20
TWF moyen	59±1,5	6±3	67±3
du pot	/	6,25	4,55

La détermination de la teneur en eau d'un cristal est une méthode qualitative, les erreurs peuvent donc être importantes et peuvent provenir de variables telles le déroulement de l'expérimentation, l'humidité relative de l'atmosphère le jour de l'expérimentation, la température, la quantité de sel prélevée pour la mesure etc.

De fait, en comparant les valeurs de teneurs en eau théoriques avec celles obtenues expérimentalement, ces dernières sont toujours plus élevées. Cette erreur a été confirmée en mesurant la teneur en eau du KNO₃ et du Na₂CO₃ sortant du pot. On peut constater dans le **Tableau 19** que le nitrate de potassium et le carbonate de sodium anhydres (issu directement du pot dans lequel ils sont stockés en laboratoire), soumis à cette analyse, obtiennent des teneurs en eau supérieures à 0. Néanmoins, cette méthode d'analyse est un bon indicateur de la nature du sel obtenu. Ici, pour le KNO₃, aucune mesure n'a donné une teneur en eau supérieure ou égale à la teneur en eau théorique de « KNO₃.H₂O », qui vaut 15.12 %. Cela signifie que cette forme n'existe pas, on peut donc être sûr que le sel obtenu est bien du KNO₃ anhydre.

Solutions avec impuretés

Le **Tableau 20** reprend la moyenne des résultats des teneurs en eau des sels cristallisés en présence d'impuretés (concentration 0,4 mol/L). On peut constater que leur présence n'impacte pas sur la teneur en eau des cristaux formés, peu importe le sel. De fait, les teneurs en eaux du carbonate sont proches de celle du Na₂CO₃.10H₂O repris dans le **Tableau 18** : 62.96%. Le KNO₃ reste anhydre et le sulfate de sodium conserve sa proximité avec la valeur théorique correspondant au Na₂SO₄.10H₂O.

Tableau 20 Résultats des teneurs en eau des cristaux issu des solutions en présence d'impuretés (0,4 mol/L)
(moyenne, et déviation standard) (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

	Teneur en eau [%]	
	T [°]	TWF [%]
$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{KNO}_3$	20	67±4
$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$	20	66±1
$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{KNO}_3$	20	64±4
$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{KNO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$	20	59,1±0,3
$\text{KNO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$	20	1±1
$\text{KNO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$	20	6±5

Cependant les erreurs sont plus grandes. On peut supposer, comme suggéré dans l'art antérieur (Ye et al., 2013), que ceci est dû à l'adsorption d'impuretés à la surface des cristaux. Si nécessaire, les cristaux peuvent être lavés en post-traitement pour évacuer ces impuretés (Ye et al., 2013).

b. Présence de chlorure (méthode de Volhard)

Lors des analyses de présence de chlorure, deux sortes d'échantillons ont été étudiés : Les solutions d'alimentation surnageantes d'une part, et les cristaux formés à l'issue d'une distillation et cristallisation membranaire d'autre part.

Les précédentes analyses (Simon, 2016) réalisées sur des expériences similaires avaient conclu que le transfert des ions chlorures de la solution osmotique vers la solution d'alimentation était négligeable. Ce n'est pas le cas ici : les premières analyses des solutions surnageantes des expériences de cristallisation des sels purs ont démontrés une présence de chlorures de moins d'1w% comme pour Luis *et al* (Luis et al., 2013), mais plus que les 0.01 w% obtenus par Kevin Simon lors de son mémoire (Simon, 2016).

Concernant les solutions surnageantes des expériences de cristallisation en présence d'impuretés, nous pouvons comparer la concentration des chlorures avec celles obtenues pour les solutions pures. L'ensemble des teneurs en chlorures varie de 0,56 à 2,35 g/L, ce qui correspond à des pourcentages massiques compris entre 0,18, et 1,12 % en Chlore. Cette dernière étant près du double de la teneur la plus élevée de chlorures pour les solutions pures. Cette hausse peut être due au mouillage de la membrane.

Même si des chlorures sont passés en faibles quantités à travers la membrane, l'analyse a révélé qu'il n'y en avait pas assez au sein des cristaux obtenus que pour être détectée par le test de

Volhard que pour être détecté ($<0,01$ g/L). On peut conclure que les cristaux sont purs, mais qu'une faible quantité de chlorures peut passer à travers la membrane.

Pour un procédé industriel, il est intéressant de surveiller cet aspect. De fait, si la quantité de chlorures venait à s'accumuler dans le réservoir de cristallisation, la garantie de l'obtention de cristaux purs pourrait être remise en cause, si les chlorures deviennent le sel majoritaire.

Tableau 21 Résultats des expériences de teneurs en Chlore des surnageants ainsi que des cristaux obtenus
(Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

	Echantillon	Liquide				Cristaux lavés
		NaCl		Sel majeur		NaCl
		[g/L]	W%	[g/L]	W%	[g/L]
Non soumis à une cristallisation membranaire	KNO ₃ pur	<0,005	0,002	285	99,998	
	Na ₂ CO ₃ pur	<0,005	0,002	205	99,998	
	Na ₂ SO ₄ pur	<0,005	0,003	175	99,997	
Solutions pures	KNO ₃ cryst	0,51	0,2	285	99,821	<0,01
	Na ₂ CO ₃ cryst	1,34	0,6	205	99,351	<0,01
	Na ₂ SO ₄ cryst	0,50	0,3	175	99,715	<0,01
Solutions avec impuretés	Na ₂ CO ₃ +KNO ₃	1,43	0,696	200	98,01800	<0,01
	Na ₂ CO ₃ +KNO ₃ +Na ₂ SO ₄	2,35	1,108	200	95,36300	<0,01
	Na ₂ SO ₄ +KNO ₃	2,08	1,148	175	97,74100	<0,01
	Na ₂ SO ₄ +KNO ₃ +Na ₂ CO ₃	1,55	0,839	175	95,48100	<0,01
	KNO ₃ +Na ₂ CO ₃	0,84	0,280	295	98,58300	<0,01
	KNO ₃ +Na ₂ CO ₃ +Na ₂ SO ₄	0,56	0,183	295	96,74600	<0,01

Comme conclut dans un article ayant réalisé des analyses similaires (Ye et al., 2013), le très peu de chlorure éventuellement présents dans les cristaux permet donc d'obtenir des cristaux dont la pureté n'est pas inférieure à celle proposée par les fournisseurs (cfr 4.1).

c. DRX

Avant d'entamer la discussion sur les analyses DRX de poudres, il est important de signaler que pour déterminer la concordance en un spectre issu de la littérature, et le spectre d'un échantillon, il n'est pas nécessaire de retrouver tous les pics présents dans le spectre issu de la littérature.

Solutions pures

a) Na₂CO₃

La comparaison des spectres du carbonate de sodium issus de la littérature avec notre échantillon n'a pas donné de correspondance parfaite. Le spectre s'en rapprochant le plus est celui du Na₂CO₃.10H₂O (fichier cif : 1532820). Ce qui confirme les résultats obtenus via

l'analyse de teneur en eau. Toutefois, on peut constater sur la **Figure 44(b)** que l'échantillon s'est déshydraté durant l'analyse, il était translucide, et est devenu blanc, comme à l'issue des analyses de teneurs en eau (explications : conferatur point suivant). Cela peut expliquer la présence de pics dans le spectre de l'échantillon ne correspondant pas à ceux de la littérature. La DRX étant un appareil de mesure fort sollicité, il n'a pas été possible de réaliser une nouvelle mesure, où l'échantillon avait été déshydraté au préalable, afin d'éliminer la variable de déshydratation au cours de la mesure. Nous ne pouvons pas faire de conclusion pour cet échantillon dans le cadre de ce mémoire.

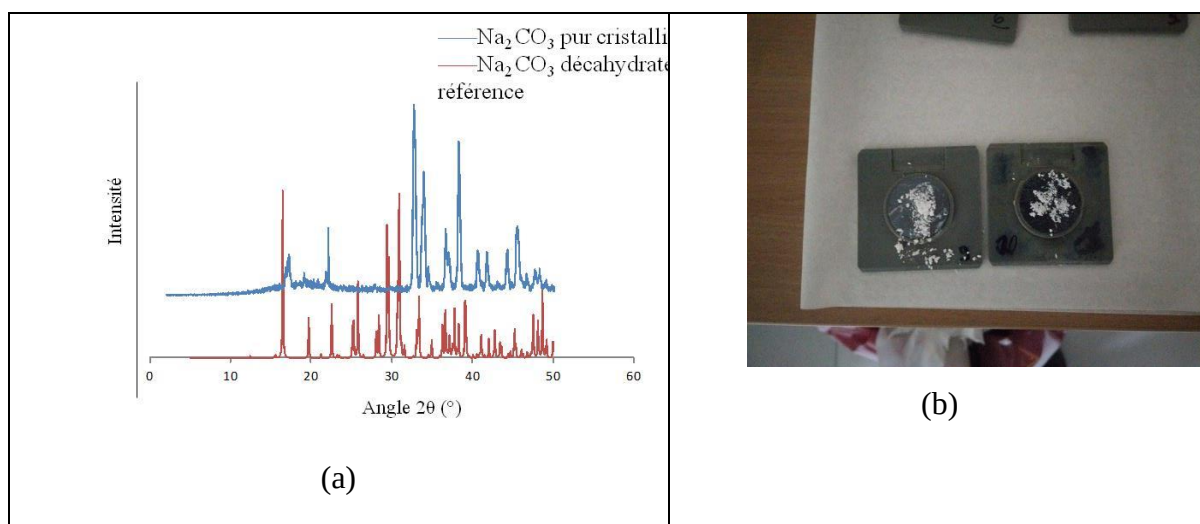


Figure 44(a) Comparaison du spectre expérimental de la cristallisation du carbonate de sodium avec le spectre issu de la littérature (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017) ; (b) Echantillons du carbonate de sodium après analyse DRX

b) Na_2SO_4

Si l'on se réfère aux résultats des tests TWF (voir section dans le chapitre résultats et discussion), ainsi qu'au diagramme de phase binaire du sulfate de sodium dans l'eau à pression ambiante (voir annexe D), il était attendu d'obtenir un diffractogramme correspondant à du sulfate de sodium décahydraté. Or, après comparaison des divers spectres trouvés dans la littérature du sulfate de sodium solide, il s'est avéré que le spectre ayant le plus de correspondance avec l'échantillon était le fichier .cif 1011184, correspondant au sulfate de sodium anhydre, comme on peut le constater sur l'image ci-dessous, reprenant le spectre de l'échantillon de sulfate de sodium et le spectre théorique 1011184.

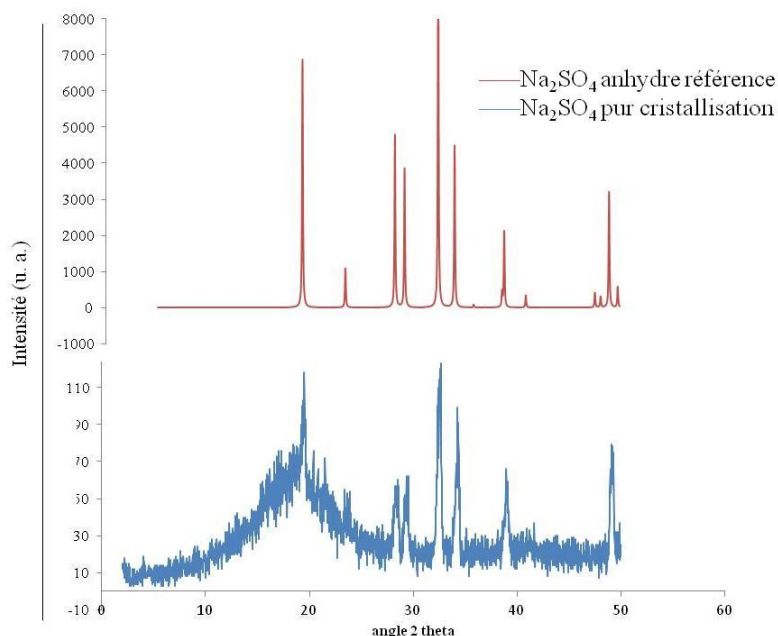


Figure 45 Spectres DRX de poudre des cristaux obtenus lors de la cristallisation de sulfate de sodium pur, en comparaison avec la référence (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Un bruit de fond est observé sur le diffractogramme, les pics obtenus ne sont pas nets, comme ceux de la référence (en rouge, sur la figure [Figure 45](#)). Cela peut être dû à plusieurs éléments : soit qu'il n'y avait pas assez d'échantillons sur le support et donc l'intensité du spectre n'est pas assez élevée, soit que le cristal est amorphe. La suffisance de quantité de cristaux est discutable en ce sens où nous n'avons pas de photos avant mesure des échantillons, pour comparer la quantité de cristaux déposée sur le support. De fait, l'échantillon de la cristallisation du nitrate de potassium que nous traiterons dans le point suivant a été préparé juste après cet échantillon-ci. Et son intensité de pic est bien plus élevée, de sorte que le bruit de fond n'est plus visible. Or, comme c'était une série de mesures écolée, on peut supposer que la préparation des échantillons fut suivie avec le même protocole. Une possibilité est que les cristaux de Na_2SO_4 n'aient pas été assez finement broyés, et qu'ils se sont moins bien fixés sur la surface. Donc qu'une plus grande partie a été jetée par rapport à l'échantillon du nitrate de potassium lors du protocole de préparation des supports. Cela semble être l'explication de la faible intensité du spectre obtenu (le maximum ne dépassait pas 150 unités d'absorption, alors que la référence monte à 8000 u.a.). Néanmoins, il y a eu assez d'échantillons que pour pouvoir déceler les pics caractéristiques de l'échantillon.

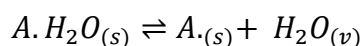
Si l'on observe la photo des échantillons à la fin des analyses, on constate sur notre échantillon (le numéro 9 sur la photo ci-dessous) que les cristaux sont blancs, tout comme le Na_2SO_4 anhydre employé pour préparer les solutions, ou comme les cristaux à la sortie de l'étuve lors

des analyses TWF. Comme le diffractogramme obtenu (Figure 45) nous indique que l'échantillon est du Na_2SO_4 anhydre, cela signifie que l'eau qui était présente dans le cristal de départ, s'est évaporée. En quittant la structure cristalline, elle l'a brisée en surface, expliquant le caractère amorphe, également indiqué sur le diffractogramme.



Figure 46 Echantillons à la sortie du diffractomètre

En fait, la stabilité des cristaux décrite par le diagramme de phase binaire du sulfate de sodium dans l'eau en fonction de la température, ne reste valable que si le cristal formé reste dans un environnement riche en eau. C'est-à-dire dans une solution aqueuse, ou dans un récipient hermétique, où l'atmosphère se saturera en vapeur. Sinon, à l'air libre dont la concentration en eau est bien moins élevée, l'eau s'évaporerait des cristaux (symbolisé par A dans l'équation ci-dessous), pour respecter Lechatelier.



$$K_{dessication} = \frac{[H_2O_{(v)}]}{1}$$

Donc, il est important de conserver les cristaux issus de la cristallisation membranaire dans un récipient fermé. Sinon, nous ne pourrions plus garantir la structure cristalline de sulfate de sodium décahydraté. La morphologie du cristal ne sera plus la même s'il se dessèche.

c) KNO_3

L'analyse du nitrate de potassium cristallisé confirme bien qu'il s'agit du nitrate de potassium. D'autres échantillons de nitrate de potassium avaient été analysés par DRX, et à chaque fois, un pic juste avant 20° apparaît sur le diffractogramme. Le spectre issu de la littérature est le fichier cif : 2013633.

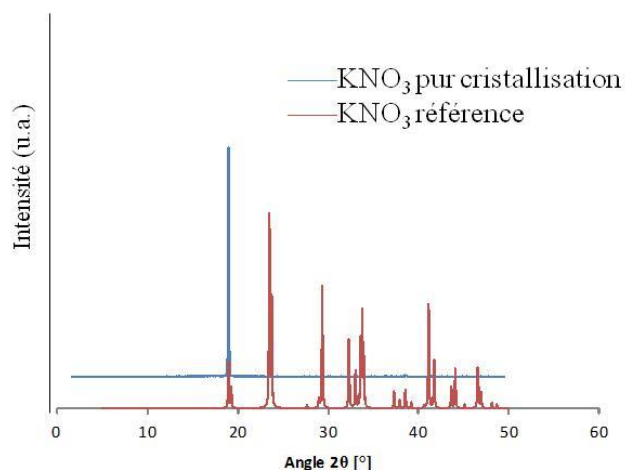


Figure 47 Spectres XRPD de référence et des expériences de cristallisation du nitrate de potassium (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

Solutions avec impuretés

Ce paragraphe traite de l'étude des spectres obtenus pour les cristallisations membranaires des 3 sels étudiés dans ce mémoire, en présence d'impuretés dans la solution. Ces impuretés sont le KNO_3 , le Na_2SO_4 et le Na_2CO_3 , présent avec une concentration de 0.04 mol/L dans la solution d'alimentation.

a) Na_2CO_3

Comme pour avec l'expérience de cristallisation de la solution de carbonate de sodium pure, il n'y pas de concordance parfaite entre le spectre issu de la littérature le plus similaire (fichier cif : 1532820), comme illustré en (b). Cependant, le spectre de l'expérience de cristallisation de carbonate de sodium sans impuretés est cohérent avec ceux en présence d'impuretés. On peut donc conclure que, comme l'avait déjà observé par Ye et al (2013), la présence d'impuretés (nitrates et sulfates) n'impacte pas la croissance et l'élaboration de la structure cristalline de carbonate de sodium, au sein d'une cristallisation membranaire.

La non-cohérence avec tous les spectres issus de la littérature des différentes formes anhydres et hydratées du carbonate de sodium est sans doute due à la même erreur que pour la solution de carbonate de sodium de la solution pure. Une nouvelle analyse de ces cristaux, séchés à l'air préalablement, serait de mise.

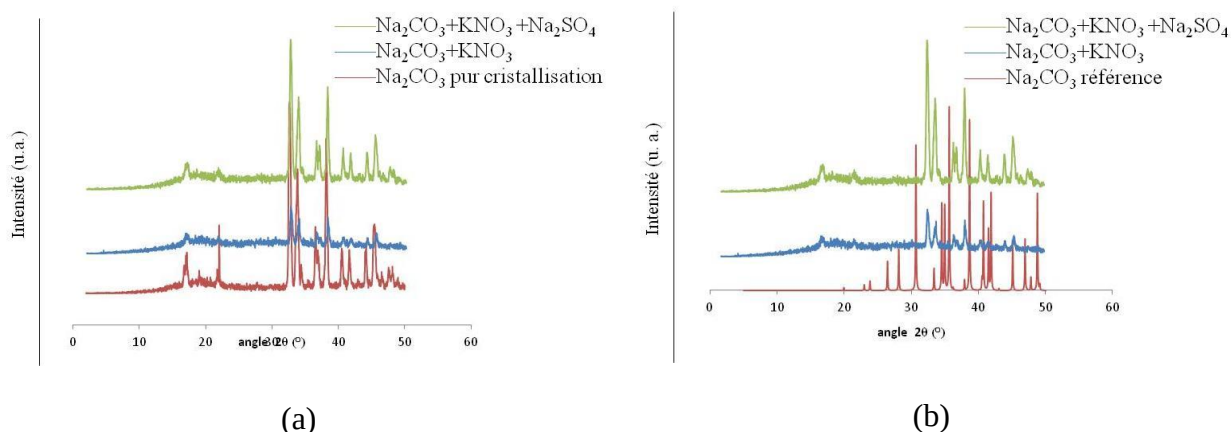


Figure 48 Spectres XRPD de cristallisation du carbonate de sodium pur (a), et de référence (b) ainsi que des expériences de cristallisation du sulfate de sodium avec un et deux sels en impuretés (0.04mol/L) (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

b) Na_2SO_4

L'analyse DRX des cristallisations du sulfate de sodium en présence de 0.04 mol.L^{-1} d'une (KNO_3) ou de deux impuretés (KNO_3 et Na_2CO_3) ne révèle aucun impact. De fait, comme on peut le voir sur la figure reprenant le spectre de référence, ainsi que les deux spectres des cristallisations du Na_2SO_4 en présence d'impuretés, les diffractogramme correspondent, comme pour la cristallisation de sulfate de sodium pur au spectre issu de la littérature (fichier cif 1011184).

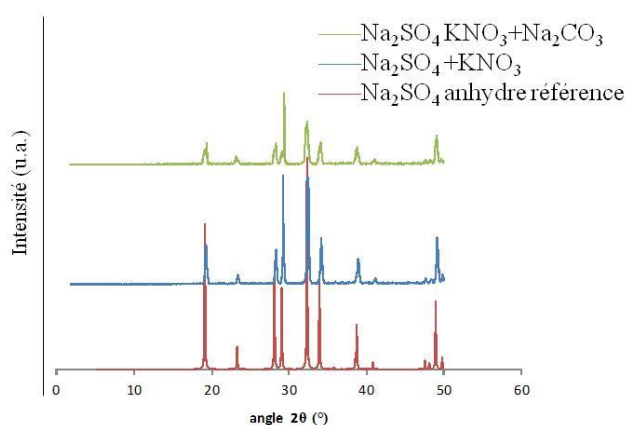


Figure 49 Spectres XRPD de référence et des expériences de cristallisation du sulfate de sodium avec un et deux sels en impuretés (0.4mol/L) (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

c) KNO_3

Concernant le nitrate de potassium, la même analyse peut être déduite que pour le sulfate de sodium : la cristallisation du sulfate de sodium en présence de 0.04 mol.L^{-1} d'une (Na_2CO_3) ou de deux impuretés (Na_2SO_4 et Na_2CO_3) en solution, n'impacte en rien la construction de la structure cristalline du nitrate de potassium. De fait, comme on peut le voir sur la figure reprenant le spectre de référence, ainsi que les deux spectres des cristallisations du KNO_3 en présence d'impuretés, les diffractogramme correspondent, comme pour la cristallisation de nitrate de potassium pur au spectre issu de la littérature (fichier cif 9012755). Par contre, nous avons du changer de diffractogramme de référence, car celui qui correspondait pour la cristallisation pure, ne coïncidait plus. Il est à noter que nous avons mis en confrontation seul face à la référence le spectre de l'expérience $\text{KNO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ car son intensité comme on le voit sur la (b) était bien moindre que celle de l'expérience $\text{KNO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$.

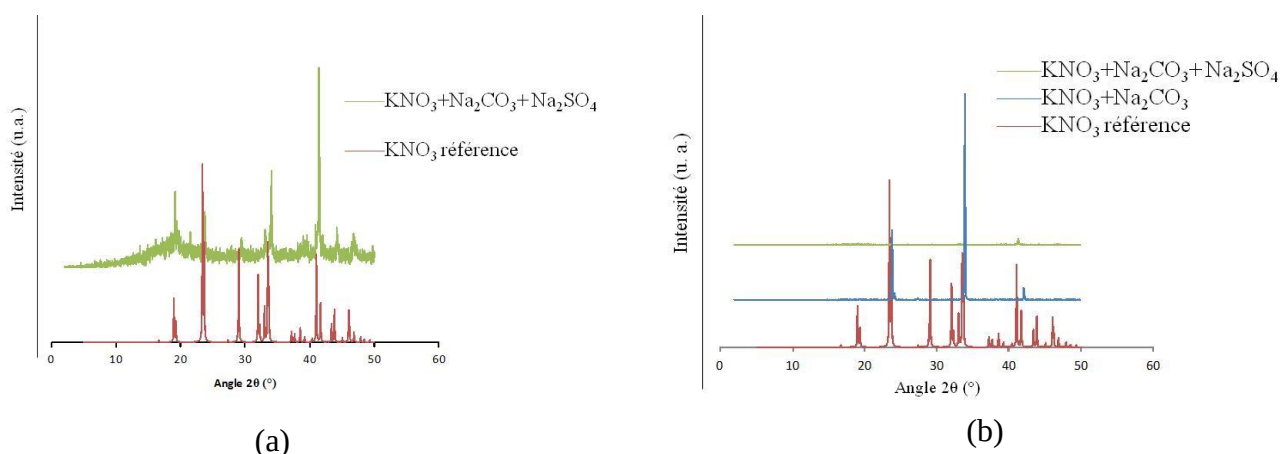


Figure 50 Spectres DRX des expériences de cristallisation du nitrate de potassium en présence d'impuretés, en comparaison à un spectre issu de la littérature. (a) : Spectre de référence et spectre expérimental de la cristallisation de KNO_3 en présence de Na_2CO_3 et de Na_2SO_4 (b) Spectre de référence du KNO_3 , accompagné des deux spectres expérimentaux de KNO_3 cristallisé en présence d'une et deux impuretés (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

d. Quantité de cristaux produits

Pour avoir une idée de la rentabilité d'une cristallisation membranaire, il est intéressant de chercher à déterminer la quantité de cristaux produits.

Ce paragraphe ne traitera que de la production de cristaux de sulfate de sodium, étant donné que l'étude de cas se fait sur un effluent contenant du sulfate de sodium.

En laboratoire, le procédé est en batch. Il y a une variation des volumes des solutions, et le procédé s'arrête lorsque la membrane se bloque. La procédure suivie pour déterminer la quantité produite lors de ce procédé discontinu est expliquée à la section [g](#). Le volume initial est de 1,5 L. Le flux employé est $1,54 \text{ mL/min} \cdot \text{m}^2$ et est le flux moyen déterminé pour la distillation et cristallisation membranaire du sulfate de sodium lors de ce mémoire. Les résultats sont représentés à la [Figure 51](#). On peut y voir l'évolution théorique rectiligne de la concentration en sulfate de sodium de la solution d'alimentation. Les premiers cristaux ont été observés après 71 minutes. L'expérience a pu durer 120 minutes, avant que la pression ne soit trop proche de 1 bar, et que l'opération ait du être stoppée. Selon l'estimation de l'évolution de la concentration, la concentration est alors de $211,47 \text{ g/L}$, et le volume final de la solution d'alimentation, de $1,24 \text{ L}$.

La production de cristaux a dès lors été estimée à $23,8 \text{ g}$, ce qui représente $9,1\%$ du sulfate de sodium présent dans la solution. Ce pourcentage est légèrement plus élevé que la performance obtenue pour le Na_2CO_3 (Simon, 2016). Cependant, dans ce travail là, la $C_{f,sat}$ choisie était celle de l'apparition des premiers cristaux, supérieur à la concentration de saturation du Na_2CO_3 . Nous avons décidé de travailler avec la concentration de saturation car l'observation des premiers cristaux, est un élément assez subjectif, sa détermination n'est pas répétable et est donc une source d'erreur de mesure. De fait, l'observateur ne regarde pas tout el temps le réservoir, il se peut qu'il regarde au mauvais endroit, et ne voie pas les premiers cristaux déjà formés à un autre endroit du réservoir, ...

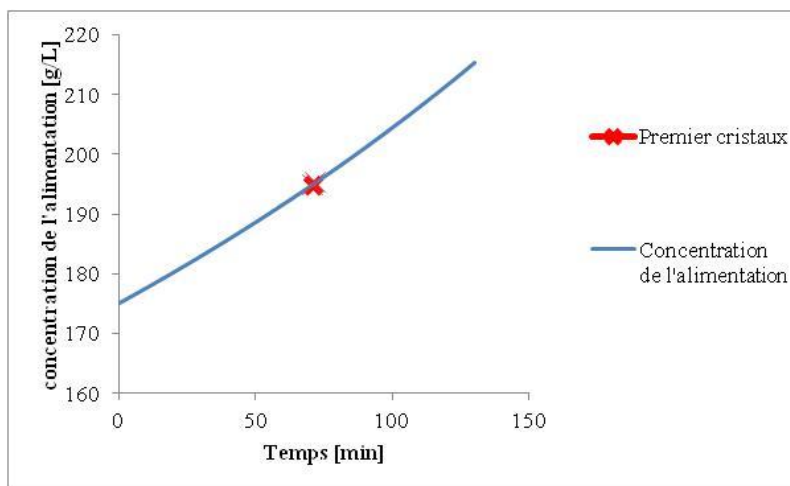


Figure 51 Evolution théorique de la concentration de la solution d'alimentation durant l'expérience de cristallisation avec l'observation des premiers cristaux. $[\text{Na}_2\text{SO}_4 \text{ initial}] = 175 \text{ g/L}$ (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Cette méthode de calcul n'est pas représentative de la production de cristaux dans un procédé en continu, où le procédé atteint un état steady-state (les volumes ne varient pas). Nous effectuons un bilan de masse. Il n'y a pas de pertes de matière, donc la quantité de sel qui entre dans les contacteurs membranaires est celle qui en sort.

Sur base de cette hypothèse, il est alors possible d'employer une partie du calcul de la surface membranaire pour déterminer la capacité de production de solution saturée du procédé. De fait, une des deux méthodes de calculs réalisées dans ce mémoire détermine la quantité de solution saturée qui sort des contacteurs membranaires (pour notre étude de cas, $[\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{sat}] = 192,3 \text{ g/L}$). Mais les recherches pour déterminer quelle proportion de cette solution saturée cristallise afin de déterminer la vitesse de production de cristaux n'ont pas été concluantes.

Pour le plan de production et le plan financier, respectivement chapitre 10 et 16 de ce mémoire, il fallait avoir une idée de cette vitesse de production des cristaux. Alors l'hypothèse que tout le sel présent au départ du procédé cristallise à la sortie a été posée. De fait, le procédé étant continu, il y a un apport continu de solution saturée dans le réservoir de cristallisation, favorisant donc la formation de cristaux. Donc, pour un effluent, de concentration initiale $52,19 \text{ g/L}$, et un débit de 1000 L/h , la production de cristaux sera de $52,19 \text{ kg/h}$.

5.4. Surface membranaire

Pour le chapitre plan de production, la surface membranaire pour extraire le sel d'un effluent contenant majoritairement du sulfate de sodium a dû être déterminée. En règle générale, pour un procédé membranaire, la surface membranaire nécessaire est un élément crucial à savoir

pour un procédé pour pouvoir disposer de la surface suffisante à son bon fonctionnement, mais également pour choisir la taille des contacteurs la mieux adaptée. Une fois que nous avons cette donnée en main, le passage du batch au continu peut commencer. Ce passage est crucial pour un procédé de traitement d'effluent, car leur production est elle, continue.

Si nous avons besoin de plusieurs contacteurs, nous savons déjà que travailler avec des modules en série n'impactait pas le flux, ce qui est une bonne nouvelle pour l'intensification de notre procédé de traitement d'effluent.

Dans le cadre de mémoire, l'exercice de calcul membranaire se fait pour amener à saturation un effluent dont la concentration moyenne en Na_2SO_4 est de 52,19g/L. La description des calculs se trouve en [Annexe O](#).

Les résultats sont exposés dans le chapitre 11 : Plan de production, et sur la figure ci-dessous. On constate que les deux méthodes de calcul s'équivalent, les surfaces membranaires requises étant du même ordre de grandeur.

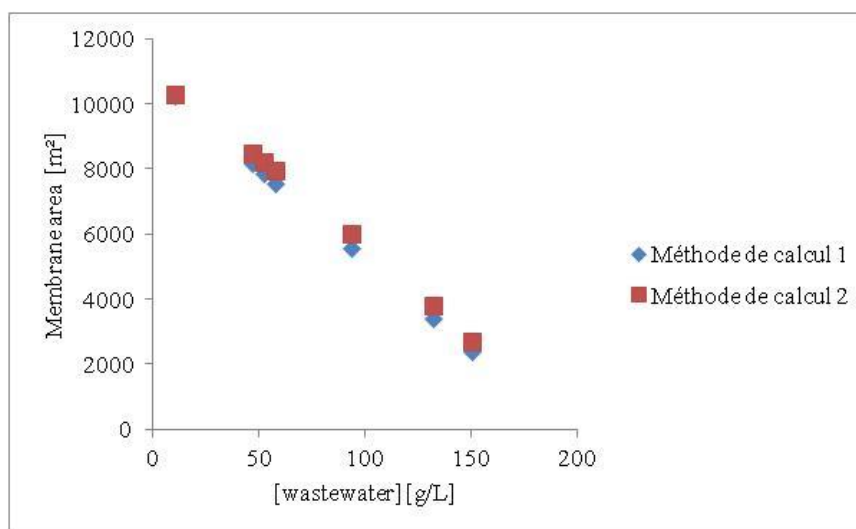


Figure 52 Surface membranaire requise pour concentrer jusqu'à saturation un effluent de sulfate de sodium selon deux façons de calculs (débit : $1\text{m}^3/\text{h}$) (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Il y a tout de même une différence de $\pm 300\text{m}^2$ entre les deux estimations. La différence de calcul entre les deux méthodes est que la première n'emploie pas la densité des solutions, mais les concentrations. L'autre méthode transforme toutes les valeurs à l'aide de la densité. Ce qui, comme on peut le voir sur la figure ci-dessous peut interférer grandement sur les prévisions en termes de besoin de surface membranaire, si le débit à traiter augmente ou si la concentration de l'effluent est faible. De fait, les effluents sont rarement des solutions concentrées, bien au contraire. La [Figure 53](#) exprime la différence de surface membranaire nécessaire pour amener

à cristallisation $1\text{ m}^3/\text{h}$ d'un effluent à différentes concentrations. Les deux séries représentées sont d'une part la différence de surface membranaire entre les deux méthodes pour un débit de $1\text{ m}^3/\text{h}$, et d'autre part, la différence de surface membranaire requise entre les deux méthodes, mais pour un débit de $20\text{ m}^3/\text{h}$, normalisé à $1\text{ m}^3/\text{h}$. On constate qu'à partir d'une certaine concentration de l'effluent, la différence est négligeable, mais pour un effluent à faible concentration, le facteur du débit à traiter par unité de temps est non-négligeable.

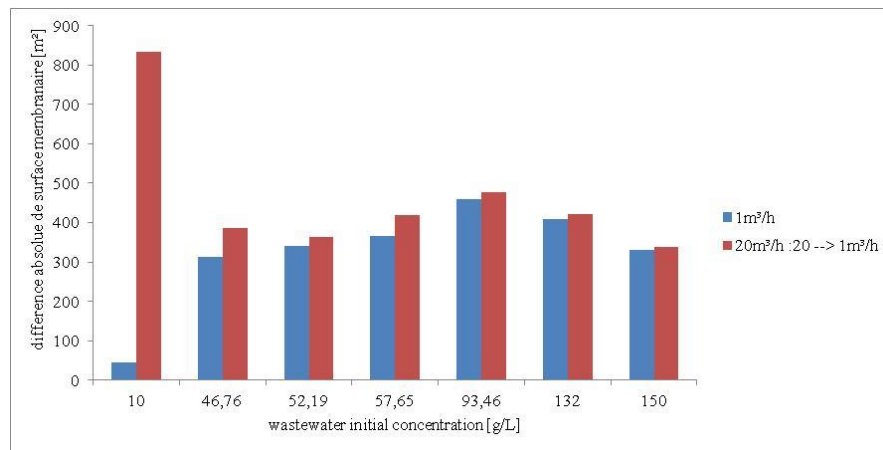


Figure 53 Différence au pro rata de la surface de membrane nécessaire par m^3 d'effluent traité par heure pour les débits de 1 et $20\text{ m}^3/\text{h}$, pour amener à saturation un effluent à différentes concentrations (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Il est donc très important lors de l'élaboration d'un plan pilote de tester les estimations réalisées par ce genre de méthodes de calculs, afin de vérifier les prévisions. Et de choisir de travailler avec la méthode estimant la plus grande surface membranaire, ainsi, nous sommes sûrs de ne pas sous-estimer les besoins.

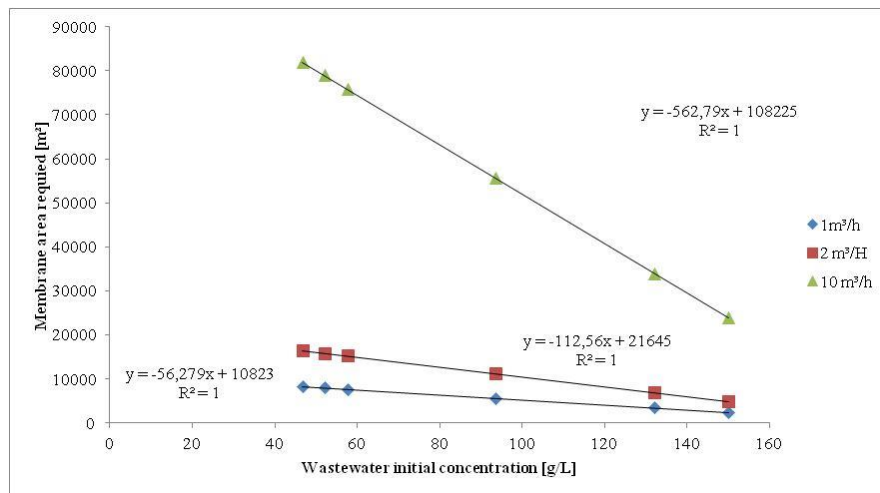


Figure 54 Evolution de la surface membranaire nécessaire en fonction du débit à traiter, et de la concentration initiale (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017).

Une fois que la relation est établie entre le débit de l'effluent, sa concentration initiale et la surface membranaire requise pour arriver à l'objectif désiré, il est aisé d'établir des graphes et des équations comme sur l'image ci-dessous, pour modéliser le besoin. Le même exercice eut être fait pour un débit donné, afin d'étudier l'influence de la concentration initiale sur la surface membranaire requise.

6. Conclusion

Le rejet d'effluents salins dans les cours d'eaux par l'activité industrielle n'est pas sans conséquences. Suite à la conscientisation de la société de son impact sur son environnement, le mode politique encourage les industriels à limiter ces impacts. En parallèle, le monde scientifique se mobilise afin de développer de nouveaux processus plus durables, ainsi que de solutions innovantes et efficaces pour le traitement des effluents industriels. Les technologies membranaires connaissent une expansion d'intérêt, notamment en matière de cristallisation membranaire dû à leurs avantages dont par exemple la facilité d'intensification et le caractère compact des contacteurs membranaires. C'est dans ce cadre que s'est déroulé ce mémoire.

La première conclusion qui ressort de ce travail est que la cristallisation membranaire du carbonate de sodium, du sulfate de sodium et du nitrate de potassium est techniquement faisable. À 20°C, les sels obtenus sont du sulfate de sodium décahydraté, du carbonate de sodium décahydraté et du nitrate de potassium anhydre. Le sulfate de sodium décahydraté, et le carbonate de sodium décahydraté ne sont pas stable à l'air libre, ils se déshydratent.

Pour une concentration osmotique de 300 g/L, le flux moyen pour le sulfate de sodium est 1,54 mL/min*m², et 1,47 mL/min*m² pour le KNO₃. Pour une concentration de la solution osmotique à NaCl 200 g/L, le flux est de 0,97 mL/min*m² pour la distillation membranaire du Na₂SO₄ et de 0,88 mL/min*m² pour celle du KNO₃. Les flux diminuent avec l'augmentation de la concentration de la solution d'alimentation, mais en sont moins dépendant que pour la variation de la concentration de la solution osmotique. Les performances membranaires sont néanmoins mieux exploitées à des concentrations plus faibles de la solution osmotique. De fait, la polarisation est plus marquée à des hautes concentrations de la solution osmotique. S'ensuit que le coefficient de transfert de masse sera plus élevé lorsque la concentration de la solution osmotique diminue ($5,43 \frac{m}{Pa \cdot s}$ pour 200g/L, et $4,52 \frac{m}{Pa \cdot s}$ pour 300g/L).

La présence d'autres sels en tant qu'impuretés (nitrate, chlorure, sulfate et carbonate) que le sel d'intérêt (carbonate de sodium, sulfate de sodium et nitrate de potassium) dans un effluent industriel n'impacte, ni la nature du cristal formé, ni la structure adoptée lors de la cristallisation du sel d'intérêt, à une concentration de 0.04 mol.L⁻¹.

Ces résultats sont prometteurs pour une application industrielle. Néanmoins, il semble justifié d'approfondir les recherches sur certains points. Une analyse plus complète, notamment une

chromatographie ionique pourrait venir appuyer la conclusion qu'il n'y a pas d'impuretés au sein du réseau cristallin, comme réalisé dans l'art antérieur (Ye et al., 2013)

Le passage en continu du procédé mérite une attention particulière. Aucune installation pilote n'a encore été mise au point, et étudiée pour une distillation osmotique membranaire. Cela serait intéressant, afin de vérifier toutes les hypothèses qui ont été posées dans le cadre de ce mémoire. Notamment, le taux de production, ou la viabilité du procédé sur le long terme. Il a été vu que des chlorures passaient de la solution osmotique vers la solution à traiter. Comment ce phénomène évolue-t-il sur le long terme, as-t-il un impact sur l'efficacité du procédé, et sur la qualité et la pureté des cristaux ? Enfin, comme il sera abordé dans les autres chapitres de ce mémoire pluridisciplinaire, la surface membranaire nécessaire est conséquente, ce qui rend l'investissement pour la technologie important. Il serait intéressant d'étudier si une combinaison de technologies membranaires ne pourrait pas optimiser les coûts d'investissement, comme déjà abordé dans l'art antérieur (Li et al., 2014).

Toutes ces démarches seraient dans le but ultime de pouvoir proposer un service de valorisation des effluents industriels efficace et viable sur le long terme permettant de diminuer l'impact de l'activité industrielle sur son environnement de façon durable.

Le chapitre suivant de ce mémoire traite de la proposition de valeur. Le chapitre 11 exposera le plan de production du service *ROS* réalisé grâce à l'analyse de la surface membranaire, et de la capacité de production calculées dans le cadre de ce mémoire. Dans ce plan de production, on retrouve des recherches à élaborer pour avancer dans le TRL (Technology Readiness Level) du service *ROS*.

Chapitre 9 : La proposition de valeur

Ce chapitre se présente comme la bande annonce du service *ROS*. Il explique la mission, la vision, les valeurs et le *core business* de *ROS*.

1. Mission, vision et valeurs

La mission, la vision et les valeurs d'une entreprise résument l'intention stratégique d'une organisation (Johnson et al., 2014). Ces premiers facteurs déterminant la proposition de valeur sont primordiaux pour une entreprise. Nous les avons construits en tenant compte des besoins mis en exergue au début du mémoire, à savoir le développement durable, l'économie circulaire, la RSE et la performance couplée au respect de l'environnement.

Dans cette optique, nous avons suivi les conseils des Sociétés d'Aide au Développement des Collectivités de l'Estrie (2013) qui offrent un service d'accompagnement en matière de développement durable. Ces notions permettent de définir l'identité de l'entreprise et de renforcer la communication et la motivation des employés. Nos décisions stratégiques se basent sur celles-ci.

1.1. La mission

ROS Recover your Own Salts souhaite offrir un service sur-mesure qui augmente la valeur ajoutée de son client tout en réduisant les répercussions de ce service sur la planète. Notre but ultime est de collecter les sels présents dans les eaux usées afin d'assainir celles-ci ainsi que de procurer au client sa propre source en sels ou de lui donner la possibilité de profiter de ceux de son voisin. Notre service permet au client de devenir indépendant des matières premières importées (sels), d'améliorer sa RSE, de diminuer les taxes imposées sur ses déchets et, enfin, de réduire son empreinte carbone.

1.2. La vision

Nous voulons devenir le partenaire dynamique qui transforme les entreprises en acteurs positifs ancrés dans l'économie circulaire et qui les aide à collaborer localement via la mise en place de symbiose industrielle.

1.3. Les valeurs fondamentales

Les valeurs de *ROS* sont le reflet de nos attentes envers ce projet. L'innovation, la collaboration, la durabilité, le bien-être et le respect sont les concepts clés que nous souhaitons implémenter. Ce sont les piliers de notre vision et mission ; Ils dirigent la réaction des acteurs de *ROS* face à une situation (Johnson et al., 2014).

2. Le *core business*

ROS se définit comme le partenaire des entreprises qui permet d'optimiser la gestion de leurs sels, que ceux-ci soient sous forme de déchet ou de matière première. En adoptant ce positionnement, *ROS* se différencie de la concurrence qui est principalement axée sur le traitement des eaux de A à Z. L'entreprise *ROS* jouit de caractéristiques spécifiques qui la démarque des autres, plus précisément, par ses services offerts en matière de symbiose industrielle et par l'importance accordée à la notion de partenariat et de confiance avec ses clients. Ainsi, nous pouvons affirmer que *ROS* a un positionnement distinct de ses concurrents.

2.1. L'offre

Le service proposé par *ROS* est le fruit de l'analyse des besoins, d'études qualitatives, de stratégies de positionnement et de différenciation. Celui-ci se décline en trois sous-catégories, qui sont développées dans le chapitre 12 :

- vente de la technologie, service d'adaptation de la membrane et d'installation du processus;
- service de maintenance et R&D;
- service de symbiose industrielle : service de mise en relation entre les usines belges désireuses de vendre leurs sels recyclés localement et les usines belges désireuses d'acheter des sels recyclés localement. Ce service comprend également la promotion et la vente à des prix compétitifs des sels recyclés.

2.2. La commercialisation de *ROS*

Le service *ROS* se commercialise sous forme de deux contrats : un contrat d'entreprise et un contrat annuel de service doté de clauses adaptées à chaque client. Le premier contrat stipule que la technologie, son adaptation et son installation doivent être payés endéans un mois une fois que celle-ci est installée et fonctionnelle dans l'usine du client. Le deuxième, d'une durée

de 10 ans (excepté pour le cas *Solvay* 1m³), établi le prix annuel du service de maintenance, de R&D et de la symbiose industrielle et démarre lorsque le processus *ROS* est fonctionnel.

Chapitre 10 : la stratégie

La stratégie représente l'essence même d'une entreprise. Grâce aux chapitres 3 : Pestel et 5 : Porter, nous disposons d'éléments extérieurs qui influencent les décisions stratégiques de *ROS*. Le chapitre 10 contribue à compléter cette analyse et à saisir quelles sont les forces et les faiblesses de *ROS*. Une fois le diagnostic achevé, les choix stratégiques de *ROS* sont choisis en fonction de celui-ci. La stratégie globale de *ROS*, l'acquisition du premier client, les partenariats stratégiques, ainsi que la stratégie de croissance sont expliqués en profondeur à la suite de l'analyse interne de l'entreprise.

Bonjour Mme Therace, ici nous n'arrivons pas à avoir le même espace entre deux paragraphes que dans la partie 1 du mémoire. En effet avec la présente mise en page, l'espace est soit trop grand, soit trop petit. Sincères excuses.

1. L'analyse interne

L'analyse interne correspond à la capacité stratégique propre à une entreprise. Johnson et al. (2014) insistent sur la nécessité de comprendre les spécificités d'une organisation à travers ses ressources et ses compétences pour construire un avantage concurrentiel durable.

Dans un premier temps, nous allons construire la chaîne de valeur de *ROS*. Ensuite, nous identifierons et distinguerons les capacités seuils des capacités distinctives de *ROS*. Finalement, nous nous focaliserons sur les spécificités de *ROS* qui constituent un éventuel avantage concurrentiel.

1.1 Chaîne de valeur

Cet outil ([Tableau 22](#)) permet aux entreprises de comprendre quelles étapes et activités contribuent à la création et au maintien de l'avantage concurrentiel.

a. Activités primaires

Les activités primaires assurent l'offre de services et créent directement de la valeur à chaque étape du processus (Jonhson et al, 2014).

Tableau 22 Chaîne de valeur de ROS : Activités primaires (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

Approvisionnement	Transport et logistique	Adaptation des membranes	Commercialisation	Service
-Acquisition des membranes en fonction du flux et de la concentration des eaux usées du client -Acquisition des matériaux généraux tels que : les pompes, les tuyaux et les récipients - Choix des fournisseurs de membrane via un lancement d'offre au plus compétitif sur base des critères suivants : prix - qualité - quantité de m ³ traité/h - résistance aux acides - délais d'approvisionnement (détermine notre capacité à traiter rapidement la demande du client)	- Fourniture emmenée à la manufacture/laboratoire/entrepôt - Pas de stock mais plutôt une production à flux tendu : cette méthode nous permet de commander au fur et à mesure les fournitures nécessaires et d'adapter l'offre à la demande - Transport de l'entrepôt au client - Transport des sels du recycleur au demandeur	- Tests en laboratoire sur le mélange de sels présents dans l'effluent (efficacité de la membrane à cristalliser les sels, contrôle de qualité de ceux-ci) - architecture du processus en fonction de la place libre - Adaptation du service aux installations préexistantes chez le client	-Via le site internet ROS, service d'appel client et bouche à oreille. - Publicité et recommandation de notre produit via des agences de consultance et organisations fédérales - Campagne de sensibilisation - Espace sur le site internet dédié au <i>matching</i> du besoin et des ventes de sels Ces points sont développés en profondeur dans le chapitre 12 consacré au marketing	-Installation de la technologie - Révision annuelle de l'installation, R&D tous les 5 ans - Maintenance tous les mois -Vente des sels cristallisés via la technologie, <i>matching</i> avec des clients locaux demandeurs de sels -Réparation éventuelle de la technologie - Programme de gestion des sels (visualisation statistique) connecté avec le système de monitoring

Il est important de préciser que notre choix de production à flux tendu permet certes de réduire les coûts de stockage, mais implique également un alignement et une coordination parfaite entre les différentes étapes. Nous opérons à flux tirés, ce qui signifie que ROS produit uniquement les demandes effectives. L'installation du processus, la maintenance et le transport des sels et de la membrane, sont sous-traités.

b. Activités de soutien

Les activités de soutien permettent : l'amélioration, le bon fonctionnement et l'efficacité des activités principales (Johnson et al, 2014).

Tableau 23 Chaîne de valeur de ROS : Activités de soutien (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

Infrastructures nécessaires : Laboratoires, matériel (voir chapitre 11 : Plan de production), système de gestion et stockage des connaissances, contrôle de qualité des sels.
Gestion des ressources humaines : Recrutement d'ingénieurs civils formés en chimie (connaissance technique), gestion des savoirs et formation des commerciaux et des

techniciens (plus d'informations sont mises en exergue dans le chapitre 14 consacré aux ressources humaines). Il est primordial que chaque employé comprenne l'impact de ses actions et décisions sur l'évolution de l'entreprise et de la stratégie.

Développement technologique : deux ans de R&D sur la nouvelle application que ROS donne à la membrane, extension au maximum du nombre de sels possibles à cristalliser.

1.2. Les capacités

Être doté de clients, de capitaux, d'un laboratoire, de connaissances en matière de technologies de recyclage des eaux, de fournisseurs intéressants et d'ingénieurs représente la condition minimale qu'une entreprise doit remplir pour être capable de rentrer sur le marché et égaler les concurrents. ROS, sous l'hypothèse qu'il soit sous forme de *Spin-off*, bénéficierait de l'investissement des fonds VIVES (Durieux, 2017), affirme que cet investisseur a un effet multiplicateur, c'est-à-dire qu'il facilite l'implication financière d'autres acteurs. ROS est encore en manque d'ingénieurs et de notoriété. Il est essentiel de travailler sur la complémentarité des connaissances de l'équipe. Un arrangement avec le CEO de la société *Manetco*, Monsieur Tanguy Van Regemorter, pourrait répondre à ces exigences.

À défaut de ne pas posséder les années d'expériences des acteurs déjà présents sur le marché, être une *Spin-off* signifierait avoir accès à une banque de données, de connaissances chimiques et technologiques ainsi qu'obtenir de l'aide via des personnes expérimentées dans le lancement des *start-ups*. Madame Luis Alconero a mené énormément de recherches sur la technologie des membranes et peut donc nous aider pour l'aspect technique. Au niveau des fournisseurs, nous en avons repéré quatre potentiels. Ce nombre nous permet de mettre en concurrence ces fournisseurs. Malheureusement, le rapport qualité/prix des membranes reste un facteur négatif pour notre projet.

En conclusion, ROS ne dispose pas, pour l'instant, des capacités intellectuelles, financières et matérielles nécessaires pour entrer dans le secteur. Les minces avantages que ROS possède sont basés sur la potentialité de créer une *Spin-off* et les connaissances du professeur Luis Alconero et de monsieur Ruiz Salmon. Or l'analyse qualitative met en exergue la difficulté que nous éprouvons à breveter notre innovation et donc à faire partie du régime *Spin-off*. Ce problème sera éclairé et clarifié lors du chapitre 13 : aspects juridiques.

En plus du manque de compétences en ingénierie, ROS fait face à **un problème majeur : une technologie (membrane) qui n'est pas encore assez mature que pour être commercialisée**

à un prix décent (voir chapitre 15 : plan financier). En effet, ce chapitre consacré aux aspects financiers démontre que le marché des membranes n'est pas suffisamment développé. Pour traiter un seul m^3/h , nous avons besoin d'environ 6.000 membranes. Nous sommes donc forcées de constater qu'aucun fournisseur ne propose de membrane adaptée à notre service. Dès lors, le rapport qualité/prix des membranes constitue un facteur négatif pour notre projet d'entreprise ROS. Les capacités distinctives de ROS seront évaluées à travers le modèle VRIO. Les capacités distinctives de ROS ont également été identifiées.

L'image propre à l'entreprise, différenciée de la concurrence et puissante est un élément essentiel qu'on peut identifier mais qui n'est malheureusement pas encore acquis. Elle doit être construite. Néanmoins, le positionnement choisi par ROS (la gestion complète du sel), le différencie déjà de ses concurrents qui se concentrent, eux, sur le traitement de l'eau de A à Z.

L'histoire de l'entreprise se base sur les expériences et le parcours du professeur Luis et M. Salmon, ainsi que notre rencontre avec eux et les objectifs partagés. Une histoire marquée par des intérêts scientifiques, environnementaux et responsables. L'aspect économique n'a jamais guidé ROS, même si celui-ci fait partie des conditions de réussite du projet.

L'entreprise ROS n'étant pas encore créée, il va de soi que l'esprit d'entreprise et sa culture ne sont pas encore installés. Les désirs de l'équipe ROS de créer un esprit d'entreprise fort mais surtout solidaire sont concrétisés à travers les valeurs, la mission et la vision de ROS ainsi que la gestion des ressources humaines.

M. Vertcoûtere (2017), expérimenté dans le marché du traitement des eaux, nous a affirmé qu'il n'existait aucun service de symbiose industrielle des déchets en Europe qui prenait en compte le transport de ceux-ci et le *matching* des clients les plus proches de la source de l'offre. La logistique, le transport des sels et le site internet (qui permet l'uberisation du déchet) sont donc des capacités distinctives du service ROS.

L'obtention d'un brevet est un élément distinctif de l'entreprise et nous permet d'être les seuls à utiliser l'application que le professeur Luis Alconero a découvert. Si la brevetabilité de cette application est confirmée, nous serons donc les seuls à pouvoir jouir de cette innovation. Sans celle-ci, les concurrents peuvent facilement nous copier et obtenir une technologie membranaire de cristallisation aussi énergivore que la nôtre. L'obtention ou non du brevet est développée dans le chapitre 13.

L'expérience du professeur Luis Alconero et M. Salmon dans les technologies membranaires sont des atouts pour l'entreprise ROS et permettent de la distinguer d'autres acteurs lambda.

Le service *ROS* prend en compte tous les aspects de la gestion du sel, il réussit à saisir les besoins exacts du client et lui procure un service sur-mesure, adapté à ses attentes. Un test de qualité des sels est effectué par un laboratoire extérieur trois fois par an pour attester de la qualité des cristaux de sel.

Le **Tableau 24** suivant récapitule les capacités seuils et distinctives de *ROS*.

Tableau 24 Capacités seuils et distinctives de *ROS* (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

	Ressources	Compétences
Capacités seuils	- Clients, network - Capital - Laboratoire - Fournisseurs de membranes rapport qualité/prix intéressant - Ingénieurs civils avec une formation en chimie - Connaissances et savoir-faire	- Relation de confiance - Convaincre les investisseurs - Rapidité de R&D, repérer les opportunités - Pouvoir de négociation - Moduler la technologie en fonction du système pré-existant - Gestion et stockage du savoir
Capacités distinctives	- Partenariats avec l'entreprise VITO ou Manetco, la relation avec le client est également une relation de partenariat - Image propre à l'entreprise et différenciée - Image puissante - Histoire de l'entreprise - Culture de l'entreprise - Logistique et transport des sels recyclés - Site internet "uberisation des sels" - Technologie brevetée - Expérience dans les technologies membranaires - Qualité du service et des sels récupérés	- Construire des relations de confiance win-win avec les différentes parties prenantes - Capacité à se différencier de la concurrence - Brand management - Capacité à créer et entretenir un mythe - Capacité à lier les employés à l'entreprise, à créer une cohésion et un but commun - Capacité à matcher localement les offres et les demandes des clients et à optimiser les trajets - Gestion et maintenance du serveur, design et facilité de compréhension - Gestion du brevet - Savoir-faire et antécédents - Comprendre les besoins du client

1.3. VRIO des capacités stratégiques de ROS

Les capacités distinctives étant identifiées, nous devons maintenant nous assurer que celles-ci peuvent constituer un avantage durable pour l'entreprise. Dans cette optique, nous avons testé chacune de ces variables à l'aide du modèle VRIO (**Tableau 25**). Cet outil permet de comprendre si les capacités distinctives nécessaires à la réussite de ROS, génèrent de la valeur pour le client. De plus cette valeur doit, pour être considérée comme un avantage concurrentiel, être qualifiée comme rare aux yeux du client. Pour que cet avantage soit durable, il doit également être difficile à imiter par les concurrents (Johnson et al, 2014). La capacité à faire interagir les ressources et les compétences est la dernière condition à remplir pour posséder un avantage concurrentiel en béton.

Pour appliquer ce modèle, nous avons fait l'hypothèse que ROS posséderait tous ces éléments, qui sont à nos yeux essentiels à la réussite du projet. Sans eux, le projet ROS ne pourrait voir le jour.

Grâce à l'application du modèle VRIO, il est désormais possible de pointer les activités principales constituant **un avantage concurrentiel durable** pour l'entreprise : les partenariats, une image forte et différenciée, une histoire et une culture d'entreprise spécifiques, un brevet sur l'application membranaire, l'uberisation des sels via www.recycleyourowsalt.com et finalement, l'expérience de Patricia Luis Alconero et Israel Salmon Ruiz dans les technologies membranaires. Nous verrons dans la section stratégie comment développer et garder ces avantages. La brevetabilité de la technologie sera discutée dans le chapitre 13 sur les aspects juridiques. Sans la possibilité de poser un brevet sur notre nouvelle application à la membrane, le business modèle de l'entreprise est mis en péril. Il en va de même pour l'engagement du professeur Luis Alconera et M. Salmon Ruiz dans l'entreprise.

Du côté des partenariats, plusieurs possibilités sont envisageables : un accord avec le centre de recherches VITO, avec le fournisseur ainsi qu'avec la société *Manetco*. Pour ROS, la relation avec les clients est de même nature qu'un partenariat. Ces différentes relations seront étudiées en profondeur dans la section "partenariats stratégiques". Les partenariats concrétisés avec les fournisseurs et d'autres acteurs seront ceux dégageant une valeur réelle pour le client. Celle-ci surpassera les coûts engendrés par cette relation. Pour ces coûts, une clause d'exclusivité en termes de partenariat identique sera également précisée. Nous remarquons que nos concurrents, excepté *Suez Environnement* avec *Rubicon* n'ont, à notre connaissance, pas construit de partenariat avec d'autres entreprises. La complexité de ces relations et leurs interconnexions

les rendent difficilement imitables. La structure de l'organisation de *ROS* permet de profiter pleinement de ces partenariats. Par exemple, concernant les clients, une réelle relation de confiance et d'entraide est construite. Nous leur offrons un service sur-mesure et adaptons notre offre en fonction de leurs installations et besoins. De nombreux entretiens et discussions ont lieu entre les deux parties. Pour fidéliser nos clients et leur montrer notre volonté à entretenir une relation avec eux, nous leur donnons 50% du profit généré par la vente des sels que *ROS* chapeaute entièrement et nous procurons également une révision du contrat de services à la baisse chaque année. Tout ceci représente des coûts rendant l'imitation de cette relation difficile.

Vu les contrats d'exclusivité et les interconnexions entre les parties, nos autres partenariats seront également difficilement imitables.

La notoriété de la marque est sans doute l'aspect le plus difficile à concrétiser mais reste un atout fondamental une fois réalisée. Suite à l'analyse de la concurrence, nous constatons que les concurrents construisent leur image sur le principe du traitement de l'eau de A à Z et de la réduction du volume d'effluents libéré dans l'environnement. La cristallisation n'est pas leur *core business*. Lors de notre conversation avec M. Peppin de *Suez Environnement* (2017), nous avons pu constater que le partenariat avec *Rubicon* n'était pas encore sur pied en Europe et qu'il ne s'était pas encore investi dans l'uberisation du déchet en Europe. Adopter une stratégie concentrée uniquement sur la cristallisation, le besoin en sels, la qualité des sels obtenus et le service nécessaire pour répondre à ces besoins nous semble l'option la plus prometteuse.

La logistique et le transport n'étant qu'un avantage temporaire, il semble naturel d'externaliser cet aspect et de se concentrer sur le *core business* de *ROS*. Par contre, suite à l'analyse qualitative et à la confirmation du besoin de sels locaux, nous avons décidé de nous occuper entièrement du service de connexion entre l'offre et la demande locales (voir chapitre 7). *ROS* pourra alors faire des interconnexions grâce à sa base de clients existante et fournir plus facilement les clients présents dans un même zoning industriel.

Les concurrents pourraient en effet opter pour la même stratégie. Néanmoins, leurs gammes de produits sont diversifiées et ne concerne presque pas les sels. Ils n'ont pas d'intérêt particulier à se focaliser sur le marché du sel et doivent, dans ce cas-là, changer toute leur stratégie.

Tableau 25 VRIO des capacités distinctives de ROS (Clérin, Dubray & Havenne)

Cap. distinctives	Valeur	Rare	Coûteux à Imiter	Exploité par l'Organisation	Conséquence stratégique
Partenariats avec l'entreprise VITO ou Manetco, les fournisseurs et les clients	OUI	OUI	OUI	OUI	Avantage concurrentiel durable
Image différenciée	OUI	OUI	OUI	OUI	Avantage concurrentiel durable
Histoire & Culture	OUI	OUI	OUI	OUI	Avantage concurrentiel durable
Logistique et transport	OUI	OUI	NON	-	Avantage concurrentiel temporaire
Uberisation des sels	OUI	OUI	OUI	-	Avantage concurrentiel durable
Stratégies flexibles	OUI	NON	-	-	Parité concurrentielle
Technologie brevetée	OUI	OUI	OUI	OUI	Avantage concurrentiel durable
Qualité du service	OUI	NON	-	-	Parité concurrentielle
Expérience dans les technologies membranaires	OUI	OUI	OUI	OUI	Avantage concurrentiel durable

2. Les décisions stratégiques

La suite du présent chapitre met en évidence l'analyse SWOT qui conclut l'analyse interne et externe de ROS. Les décisions stratégiques en découlant sont développées par la suite.

2.1. SWOT

Grâce à l'analyse Pestel mise en exergue dans le chapitre 3, nous avons pu déceler quelles tendances de l'environnement externe représentaient une menace ou une opportunité.

Ensuite, nous avons répondu à celles-ci en identifiant les FCS. Dans la section précédente, analyse interne, nous avons souligné ce que ROS était capable de faire ainsi que les faiblesses de l'organisation. Ces deux analyses couplées et chapeautées par les FCR relevés lors de l'analyse qualitative donnent naissance à la matrice SWOT qui nous permet d'évaluer si la combinaison de forces et de faiblesses est adaptée et capable de répondre aux menaces et opportunités.

Dans le **Tableau 26**, nous avons sélectionné les faiblesses, forces, menaces, opportunités les plus importantes pour ROS.

Tableau 26 Analyse SWOT de ROS (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

S	- Découverte d'une nouvelle application de la membrane pas encore brevetée - Image différenciée, premier acteur concentré sur un service de gestion du sel - Il n'existe pas, en Europe, de service complet de mise en connexion de l'offre et de la demande de sels qui s'occupe du transport et du <i>matching</i> local - Qualité des sels cristallisés par notre processus - Epaulé par des chercheurs professionnels en technologie membranaire - Possibilité de partenariats avec <i>VITO</i>, <i>Manetco</i> (voir l'analyse qualitative, chapitre 7)
W	- Marché des membranes n'est pas encore assez mature : technologie chère et nombre de membranes nécessaires pour traiter seulement 1 m³ insensé (voir chapitre 11: Plan de production) - Manque d'ingénieurs et de commerciaux formés - Image puissante à développer - Obtenir une base de clients conséquente - Aucune année d'expérience sur le marché, aucune relation existante avec les fournisseurs - Présence de NaCl dans le processus de cristallisation. Un nouveau déchet est donc créé suite à notre application. Déverser ce NaCl dans la nature est contraire à nos valeurs - Articles déjà publiés par M. Ruiz Salmon et le professeur Luis Alconero sur l'application donnée à la membrane
O	- Présence de taxes sur les eaux usées industrielles et les sels - Volatilité des prix des matières premières et diminutions des réserves naturelles - Dépenses octroyées aux stratégies environnementales par les entreprises en augmentation - Croissance du marché du traitement des eaux - Tendance à la digitalisation et à l'économie collaborative (management collaboratif) - Politique et normes européennes vers un monde 0 déchet - Sel réutilisable à l'infini
T	- Les fournisseurs de membranes étant peu nombreux, ils ont un pouvoir conséquent sur le prix de vente - Menace des substituts, prix des sels importés très compétitifs, les TIC facilitent le transport - Concurrents puissants, renommés, possédant beaucoup d'expérience sur ce marché - Tendance aux partenariats entre les entreprises concurrentes à l'international encore faible - Complexité de la brevetabilité d'une innovation

La plupart des complémentarités entre menaces, forces, opportunités, faiblesses ont déjà été abordées dans l'analyse des capacités stratégiques. Quelques-unes restent non-explorées :

- la menace des sels importés est réduite grâce à la volatilité du prix des sels et aux réserves naturelles en danger d'épuisement ;
- la menace des concurrents établis avec une bonne notoriété est contournée grâce à l'image de *ROS* différenciée ;
- la tendance des partenariats faible entre entreprises concurrentes n'est plus un problème étant donné que la commercialisation des sels est complètement gérée par *ROS*.

Il n'y a pas de problème pour vendre le sel d'une entreprise à son voisin qui est son concurrent étant donné qu'il y a un intermédiaire : *ROS* qui s'occupe du *matching* offre-demande.

Suite à l'analyse SWOT, nous avons décidé d'ajouter un élément à notre processus. La présence du NaCl à la fin du processus de cristallisation est une faiblesse qui peut, en effet, être effacée via l'intégration d'un concentrateur dans l'installation *ROS* (voir chapitre 11 : Plan de production). Cette solution ajouterait une étape au processus et, bien évidemment, un coût. L'élément le plus embêtant est la consommation énergétique que celle-ci requière, nous aborderons ce sujet dans le chapitre plan de production. Le NaCl n'est pas taxé mais a un impact négatif sur l'environnement. Même si le coût de cette technologie est élevé, *ROS*, tenu par ses valeurs et sa mission, n'a pas d'autre choix que de l'implémenter. Nous sommes en quête d'une solution plus optimale. **Cette contrainte transforme donc notre service non énergivore, en un service consommant plus d'énergie que prévu et comparé à la concurrence.**

Nous réalisons que deux faiblesses en particulier ne peuvent être surmontées via les forces de *ROS* et les opportunités décelées dans l'optique du projet initial : la non-maturité du marché des membranes et leur prix trop élevé, générant un investissement initial trop important (232.025.488 € pour un traitement de 20 m³/h) et les publications des scientifiques M. Ruiz Salmon et le professeur Luis Alconera sur la nouvelle application à la membrane, rendant la brevetabilité compliquée. Le premier problème est mis en évidence dans le chapitre 15 consacré au plan financier de *ROS*. Ce problème conséquent est malheureusement survenu en dernière minute et ne disparaîtra pas dans l'évolution de notre stratégie. Nous discuterons de cet aspect dans la conclusion présentant des pistes de solutions et réorientation du projet *ROS*. La possibilité de brevet est écartée dans le chapitre 13 : Aspects juridiques.

2.2. Stratégie Globale de ROS

ROS a choisi sa stratégie générique, **la différenciation vers le haut** en tenant compte de sa mission, des FCR, des avantages concurrentiels potentiels, de son analyse externe et interne. L'offre de ROS se différencie des autres grâce à son service complet focalisé sur le sel et à son service de symbiose industrielle. L'offre de ROS est plus élaborée et innovante que celle de ses concurrents. En effet, nous nous concentrons sur le besoin en sels et le problème que ces sels génèrent sur la nature. Nous nous engageons à continuellement repenser et améliorer le service ROS. Aux yeux des clients, la valeur dégagée par le service ROS est différente des compétiteurs. Au lieu de se focaliser sur le traitement des eaux, ROS permet d'obtenir des sels localement, d'optimiser la gestion de matière première (sels), ainsi que de collaborer avec des acteurs locaux tout en réduisant l'impact négatif sur la planète. La complémentarité de la technologie ROS et du service de symbiose industrielle permet au client de profiter d'un service complet, sur-mesure, où tous les aspects sont pris en charge. Ces deux services sont indissociables. Grâce au service de symbiose industrielle, qui complète parfaitement la technologie ROS, nous pouvons parler d'un certain déplacement de la concurrence qui permet à ROS de se positionner dans un espace vide, un océan bleu (présenté au chapitre 4).

Une stratégie d'épuration n'était évidemment pas envisageable étant donné que, dépendant du marché non-mature des membranes, ROS n'est pas compétitif sur les prix.

Le prix de vente de la technologie ROS ne pourra pas s'aligner sur les prix de la concurrence (qui n'est plus une concurrence directe, finalement) à cause des investissements conséquents dans les membranes. ROS a donc adopté une **stratégie de sophistication avec surpris**. Avec la revente de sels, le client obtiendra une nouvelle source de revenu qui compensera ce surpris. Aucun autre choix de stratégie n'est possible vu les coûts conséquents du service ROS. Nous sommes de toutes manières plus chères que la concurrence, même si nous opérons à prix plancher (correspondant seulement aux coûts directs). En effet, le prix plancher pour le contrat d'entreprise du service à l'échelle 20 m³/h (la vente et l'installation de la technologie) s'élève à 232.127.191 euros. Or, la concurrence vend un service de traitement de 50 m³/h à 10.000.000 euros. Prendre une marge de 10% sur chaque contrat ne changera donc pas la compétitivité de ROS.

Nous souhaitons justifier ce surpris par la qualité de notre service et la prise en mains complète de la gestion des sels.

La **Figure 55** vous permet de visualiser notre stratégie de prix.

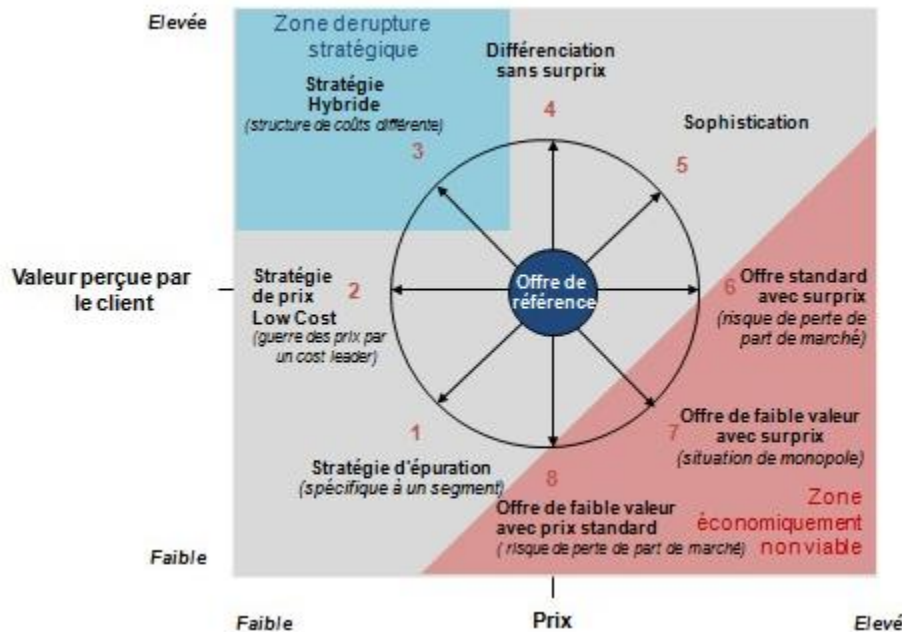


Figure 55 Horloge de Bowman (Value Lab, 2015, Idées et outils, para.1)

Pour conserver un avantage concurrentiel durable, ROS a choisi d'appliquer la manière VRIO. Notre avantage concurrentiel dépend donc du dépôt du brevet sur la nouvelle application que ROS procure à la membrane ainsi que des scientifiques qui font partie de notre projet et de la complémentarité de nos services. Une attention particulière sera portée à nos ressources intransférables : la marque ROS, son histoire et sa culture. Durant les cinq premières années, la totalité des éventuelles marges générées sera réinvestie pour améliorer le service. L'expérience et les connaissances amassées par l'équipe et le professeur Luis Alconero seront gérées et stockées. Des formations continues sont offertes à chaque employé. Les partenariats et leur nature complexe restent également un élément important de notre avantage concurrentiel.

Ce choix de stratégie met en avant la collaboration dans l'entreprise et la créativité de chaque individu. Cette philosophie influence la structure organisationnelle de ROS, le système de contrôle managérial et la politique de compensation (voir chapitre 14 : Aspects des ressources humaines). Les ressources les plus importantes aux yeux de ROS sont les membres de l'organisation et leur bien-être.

2.3. Stratégie d'acquisition du premier client

Nous avons conscience que la plus grande difficulté à laquelle ROS fait face est l'obtention du premier client. Étant donné que la technologie n'a pas encore été testée à échelle industrielle, nous faisons l'hypothèse qu'aucune entreprise n'acceptera d'investir un montant conséquent

dans la technologie ROS. Pour surmonter cet écueil, nous avons décidé de monter un projet prototype avec, comme une hypothèse de partenariat, l'entreprise Solvay. En janvier 2018, la technologie ROS à 1m³/h de débit sera installée dans l'une des usines de Solvay.

Pour convaincre Solvay de notre motivation et de la faisabilité du projet, nous prendrons l'investissement initial total à notre charge. Ceci signifie donc que le contrat d'entreprise est entièrement payé par ROS (achat et adaptation de la technologie : 11.634.722 €). Seul le contrat annuel de services (le service de maintenance et de transport des sels, l'intervention annuelle de ROS, l'analyse de la qualité des cristaux obtenus par le système ROS et les matières premières nécessaires au bon fonctionnement du processus : 285.078 euros annuellement) est à charge de Solvay durant une période de cinq ans. Après ce laps de temps, le contrat pourra être renouvelé. Nous leur donnons la possibilité, au bout de cette période, d'acquérir la technologie.

Grâce à ce projet prototype, nous acquérons une preuve tangible de l'efficacité de notre technologie et de la notoriété. Nous pourrions donc montrer aux prochains clients la technologie grande nature !

2.4. Partenariats stratégiques

« Un partenariat est une collaboration entre des organisations qui ne sont pas concurrentes » (Johnson et al, 2014, p.403). ROS souhaiterait exploiter deux types de partenariats : d'impartition et symbiotique. ROS se situe actuellement dans un stade d'approche de ces différents partenaires.

Le premier type concerne notre fournisseur de membranes et montre le souhait de ROS d'entretenir une relation au-delà du simple rapport client/fournisseur. En construisant une relation solide avec notre fournisseur, nous pourrions bénéficier de prix plus raisonnables et de sûreté en termes de délais de livraison, ce qui augmenterait la valeur apportée à notre clientèle. De son côté, le fournisseur pourra compter sur une demande récurrente et constante de membranes, un *feedback* sur celles-ci pour l'amélioration de son produit, ainsi qu'une visibilité accrue.

Quatre fournisseurs sont envisagés. Uniquement un seul de ceux-ci a été validé pour le moment : 3M. Après une expertise plus approfondie de leurs membranes, nous enverrons aux sélectionnés une proposition de partenariat. Celui qui nous fera la proposition la plus avantageuse l'emportera. Il est à noter que leur image de marque ainsi que la qualité de leurs

membranes sont deux critères essentiels, étant donné la place centrale de la membrane dans le service ROS.

« *Un partenariat symbiotique a pour but d'exploiter conjointement une clientèle ou des ressources* » (Johnson et al, 2014, p.404). ROS a la possibilité d'exploiter ce type de partenariat avec le centre de recherche VITO et l'entreprise Manetco. M. Johan Geysen, responsable des *Spin-off* et des doctorants de VITO, nous a proposé un partenariat avec, à la clé, une aide pour faire évoluer notre service à échelle industrielle. Les ressources en jeu sont : le savoir de VITO dans le domaine des membranes, les ingénieurs-chimistes, l'expérience sur le marché et le carnet d'adresses. De plus, le centre de recherche VITO posséderait des technologies complémentaires à la nouvelle application que ROS donne à la membrane, ce qui pourrait donc augmenter notre proposition de valeur. Ils se disent être "la" solution pour passer le plus rapidement du laboratoire au monde réel. En contrepartie, VITO prendrait des parts dans la société. La concrétisation du partenariat dépend de la brevetabilité de la membrane. Si celle-ci n'est pas brevetable, VITO se dit moins intéressé.

Le second partenariat avec l'entreprise Manecto engendrerait moins de synergies au niveau des ressources mais paraît plus en ligne avec les valeurs de ROS. En effet, les atouts principaux de ROS sont le contact humain et la collaboration entre les différentes parties prenantes. La communication et l'interaction sont plus simples à gérer et à entretenir avec une petite structure. Manetco propose également de faciliter le *scale-up* du projet. M. Tanguy Van Regemorter, CEO de cette entreprise, possède le profil type qui manque à l'équipe ROS : ingénieur-chimiste et serial-entrepreneur. Il nous a déjà épaulés bénévolement dans notre projet. M. Van Regemorter nous a également précisé qu'il a dans son réseau plusieurs entreprises qui seraient intéressées par notre technologie.

En accord avec notre stratégie et nos valeurs, notre choix se porterait sur l'entreprise Manetco plutôt que sur l'organisation VITO. Une collaboration de confiance semble plus facile à établir avec cette entreprise. De plus, si la technologie est brevetable et que ROS devient une *Spin-off*, ROS entretiendra déjà des relations avec des acteurs de taille tels que la Sopartec, le LTTO et son fournisseur, et préférera donc opter pour un partenariat avec un plus petit acteur.

La sous-traitance du transport des sels et de l'installation ainsi que la maintenance de la technologie sont également un partenariat symbiotique. Celui-ci est expliqué en profondeur dans le chapitre 14.

2.5. Stratégie de croissance : matrice d'Ansoff

La matrice d'Ansoff permet aux organisations de visualiser leur futur et leurs possibilités de croissance. La stratégie de croissance de ROS est divisée en quatre étapes (1;2;3) et est présentée sous trois formes différentes : pénétration de marché, nouveau service et développement de marché (nouveau segment de marché et extension géographique).

Le lancement de la société ROS et de ses services commence en septembre 2017. Nous continuerons la recherche et le développement sur l'étude de différents sels (20 au total) jusqu'en janvier 2019. Depuis janvier, l'étude du projet prototype *Solvay* est en cours. Il est prévu de passer à l'adaptation du procédé dans le courant du mois de juin et d'installer le premier système ROS traitant un débit de 1 m³/h en janvier 2018 dans l'usine *Solvay*. En 2018 nous améliorerons le processus *Solvay* et travaillerons sur deux autres projets, cette fois-ci capables de traiter un débit de 20 m³/h. C'est en janvier 2019 que les deux premiers processus à échelle industrielle seront implantés et fonctionnels. La stratégie de croissance de ROS est développée ci-dessous à l'appui du **Tableau 27** et des explications suivantes.

Tableau 27 Matrice d'Ansoff (Johnson et al, 2014, p.277)

		Produits	
		Existants	Nouveaux
Marchés	Existants	Pénétration de marché 1	Nouveaux produits et services 2
	Nouveaux	Développement de marchés 3	Diversification conglomérat

1. ROS va, durant cinq ans (2018–2022), renforcer sa pénétration de marché en dispersant son offre de services existante : un service de valorisation des sels présents dans les eaux usées industrielles, sur le marché cible choisi comme point de départ (le secteur chimique). Le but étant donc d'accroître ses parts de marché auprès des usines de production chimiques en Belgique et par après, au Benelux. Cette première stratégie permet d'acquérir de l'expérience sur les sels présents dans ce secteur (le sulfate de sodium et le nitrate de potassium et ceux étudiés durant la période de R&D) et, également, de renforcer le pouvoir de négociation de ROS vis-à-vis des fournisseurs. Au cours de ces années ROS devra

renforcer son image auprès des clients et se créer une réelle notoriété. Ceci est une condition sine qua non pour rivaliser avec les concurrents directs et augmenter ses parts de marché.

2. Au bout de la première année, une fois le projet *Solvay* en place en janvier 2018, ROS aura accès à une source locale de sels pour proposer un service complémentaire à l'initial : le service de symbiose industrielle via le site internet ROS.

Après quelques années de pénétration de marché, ROS aura constitué une communauté de personnes possédant des sels produits localement via le processus de cristallisation membranaire et souhaitant également acquérir d'autres sels nécessaires à leurs processus de production. La cible reste la même : les industries présentes dans le secteur chimique au Benelux. Ces entreprises ont en effet également besoin de sels en tant que matière première à insérer dans le processus de production. Seulement, ces sels n'apparaissent pas toujours dans leurs effluents industriels. Ce nouveau service implique la gestion et la construction d'un onglet sur le site internet mettant en œuvre la connexion d'offre et de demande de sels locaux. ROS lance donc un nouveau service tout en profitant d'une source de sels déjà existante et bientôt d'une communauté fleurissante (à partir de 2020 ROS installe six technologies par an). Cette dernière s'avère être un atout incroyable pour le lancement du service de symbiose industrielle : en effet, il est important d'atteindre rapidement une masse critique de source de sels pour garantir le succès de celui-ci. ROS s'occupe de la commercialisation des sels.

3. En 2023, ROS s'attellera à un élargissement de son marché : cibler les usines de production du secteur agro-alimentaire au Benelux. Ce développement est possible grâce à la R&D qui a été menée lors des deux premières années. D'autres recherches sur l'évolution de notre technologie et la maîtrise de sels supplémentaires pourront être effectuées durant les deux années précédentes. Le service de base reste fondamentalement le même. Le service de symbiose industrielle sera lui aussi accessible à ce nouveau segment de marché. L'usine Prayon qui était à la base intéressée par notre service fait partie de ce secteur.
4. Sur le long terme, une stratégie d'extension géographique au niveau européen est la prochaine étape de ROS. Les concurrents principaux restent relativement les mêmes au niveau européen qu'au niveau du Benelux. Cette stabilité permet de garder les mêmes facteurs clés de succès que ceux d'origine. L'ouverture des frontières, la mondialisation et les TIC sont un incitant à l'internationalisation. Une évaluation approfondie de la présence de nos concurrents dans certains pays ainsi que l'analyse des raisons de leur absence dans

d'autres devront être effectuées. La stratégie d'internationalisation est une stratégie globale. Les attentes des clients ne varient pas d'un pays à l'autre, même si certains secteurs de production sont plus développés à certains endroits. ROS propose un produit sur-mesure, ce qui nécessite donc la présence d'agents physiques dans chaque pays pour pouvoir évaluer et installer le processus. ROS bénéficiera de l'aide de l'Agence Wallonne à l'Exportation (AWEX) qui conseille et facilite l'exportation des services belges. Une aide financière est également envisageable pour le recrutement d'un agent indépendant qui sera en charge d'explorer le terrain. Les étapes idéales d'internationalisation sont l'appel à des agents indépendants, ensuite, l'installation d'une filiale de vente et pour finir, la constitution d'une filiale de "production" (adaptation des membranes). La R&D, les finances et le système d'information resteront centraux.

Chapitre 11 : Plan de production

Ce chapitre porte sur l'ébauche d'un plan-prototype à partir d'un cas réel d'effluent industriel. L'objectif principal est de comprendre et de répertorier les éléments essentiels au fonctionnement du processus *ROS* à l'échelle industrielle.

Pour analyser ses besoins deux phases sont nécessaires :

1. La recherche et développement en laboratoire du comportement de 20 différents sels durant les deux premières années du lancement de l'entreprise
2. La conception du processus *ROS*

La conception du système *ROS* est construite dans un premier temps à travers un projet-prototype à échelle semi-industrielle de 1 m³/h.

Les étapes clés du prototype reflètent celles qui seront nécessaires à la conception du système pour chaque client : analyse des déchets industriels et des besoins en sel de la firme, conception du système (calcul de la surface membranaire nécessaire et agencement des membranes, choix des pompes, analyse du système de filtration adéquat et gestion de la solution osmotique), l'entretien, la sécurité et finalement, le *monitoring*.

Les premiers changements imaginés pour l'intensification à échelle industrielle (un débit de 20 m³/h) seront également abordés. Nous comptons procéder au *scale up* de la technologie en 2019 (chapitre 10 : Stratégie).

La réflexion ainsi que l'évolution des choix concernant les composants du système *ROS* seront exposées à chaque étape. Le service *ROS* tel qu'expliqué dans ce chapitre n'est sans doute pas le service final qui sera proposé aux clients. De fait, nous sommes encore dans l'attente de réponses de certains fournisseurs ; sans celles-ci, nous sommes dans l'incapacité de confirmer certains éléments.

Notre première ambition était d'élaborer directement un projet-pilote. Dans cette optique, un accord a été conclu avec l'entreprise *Prayon* pour récupérer le sulfate de sodium de ses effluents. Cependant, il s'est avéré, en analysant les données fournies que l'entreprise *Prayon* n'était pas le candidat idéal. Premièrement, la composition de ses effluents est très complexe : on y trouve une large gamme de substances différentes. Cette composition requiert donc des prétraitements importants et complique l'obtention de cristaux purs. Deuxièmement, le débit de l'effluent en question est astronomique : 92.000m³/h. Qui plus est, sa concentration en sels

est dérisoire (de l'ordre de 30 à 470 g/m³ en Na₂SO₄, et de 1.13kg/m³, toutes impuretés comprises), ce qui vient donc compliquer le processus (Garnavault, 2017).

Ces informations nous parvenant très tard dans l'année, nous n'avons pu trouver d'autres partenaires prêts à nous fournir ces données confidentielles pour la rédaction du mémoire.

C'est donc, à travers la littérature que nous avons obtenus des données concrètes pour établir le plan de production. Quiet-Jensen et al. (2017) décrivent la composition des effluents de *Solvay* à travers une étude de faisabilité technique. Suite à cette découverte et à la suggestion du professeur Luis Alconero nous avons contacté un membre de l'équipe *Solvay*.

M. Horbez, chef du département « Recherche et initiatives » chez *Solvay*, a accepté de nous indiquer un ordre de grandeur de débit de l'effluent décrit dans la littérature pour l'élaboration d'un projet-prototype. Cette indication est normative, la valeur réelle est confidentielle (voir Annexe Q - Mail de Dominique Horbez concernant le projet pilote). Cependant M. Horbez nous affirme que cette valeur est une bonne estimation de la réalité.

Nous avons donc décidé de réaliser un projet-prototype (1 m³/h) avec les données récoltées. Celui-ci nous permettra d'évaluer le coût de la technologie. Nous parlons de prototype car l'échelle finale souhaitée est de l'ordre de 20 m³/h. Pour imaginer le processus à cette échelle nous faisons l'hypothèse que cet effluent possède les mêmes composition et concentration que l'effluent de *Solvay*.

Pour l'élaboration du processus nous faisons également l'hypothèse que le procédé de production tourne 24h/24, 7jours/7. Cela implique que notre système devra également tourner 24h/24, 7j/7.

1. Recherche & développement en laboratoire

Avant d'entamer l'activité économique de notre entreprise, nous devons approfondir la recherche sur le comportement des sels en matière de cristallisation membranaire. Nous aurons donc besoin d'un laboratoire similaire à celui dans lequel nous avons effectué les recherches nécessaires à ce mémoire. Cette section reprend tout le matériel nécessaire. Le coût sera repris dans le chapitre 15 : plan financier.

Pour plus de détails sur l'utilité de chaque matériel et l'analyse des sels, il convient de se référer au chapitre 8.

Voici le matériel nécessaire pour les deux années de R&D :

- matériel de base : connexion au réseau d'eau courante, d'électricité et à l'internet, un ordinateur portable équipé d'un logiciel Microsoft Office ;
- une arrivée d'eau déminéralisée. Une installation d'eau déminéralisée telle que celle commune à tous les laboratoires UCL est beaucoup trop onéreuse pour un laboratoire isolé (Van Wonterghem, 2017). Nous nous fournissons donc en conteneurs d'eau déminéralisée de 1.000 litres.
- le matériel repris au chapitre 8, dans la section matériel et méthodes (4.1) ;
- du matériel classique de laboratoire, deux membranes, des adaptateurs mâle-femelle pour fixer les tuyaux à la membrane repris dans le tableau en Annexe P - Détails du matériel pour le laboratoire R&D ; ;
- une étuve pour l'analyse de la teneur en eau ;

Pour analyser les cristaux, un partenariat avec un laboratoire capable de réaliser des analyses de Volhard (pour la présence de chlorures), et possédant un appareil de diffraction à rayons X (pour déterminer la structure des cristaux) doit être mis en place. Les deux sont disponibles à l'UCL.

Une fois la partie R&D clôturée, ce laboratoire servira à optimiser les conditions d'opérations pour les nouveaux clients ainsi que le service ROS en général, étudier un nouveau sel et se tenir à jour en matière de recherche sur les technologies membranaires. Tout le matériel conservera donc son utilité.

1.1. Analyse du nombre de sels possibles à étudier sur un an de R&D

Au terme de ce mémoire, nous émettons l'hypothèse qu'avant de lancer l'activité économique de ROS, et en parallèle à son extension à une capacité de production de 20m³/h, deux années de recherche et développement se feront en laboratoire. L'idée est d'élargir la gamme des cristallisations membranaires de sels étudiés, afin de pouvoir adapter plus vite le système chez les nouveaux clients, et de consolider notre base de *proof-of-concept*.

Pour ce faire, deux scientifiques travailleront en laboratoire. Donc, il faudra multiplier par deux le matériel décrit dans la section "matériel et méthodes". Chacun sachant caractériser l'efficacité de la membrane et étudier la cristallisation d'un sel en deux mois, ils étudieront au total 20 sels sur les deux années de recherche. Deux mois par an par chercheur ne sont pas comptabilisés pour prendre en compte les congés, les maladies et les expériences ratées.

Nous posons aussi les hypothèses suivantes :

- pour étudier un sel, il faudra procéder à dix expériences de distillation membranaire, afin de couvrir une gamme de concentration (de peu à très concentré) du sel étudié ;
- trois expériences de cristallisation seront nécessaires: une sans impuretés, deux avec. Pour savoir quelles impuretés intégrer, il faudra opérer à l'analyse de la littérature traitant des observations en matière de croissance cristalline, comment les ions impactent la croissance d'un sel ;
- l'étude d'un sel nécessitera trois kilos de ce dernier pour préparer les solutions d'alimentations pour les expériences, trois kilos étant la quantité consommée par Claire Clérin pour l'étude du KNO_3 ;
- trois kilos de NaCl sont à prévoir pour préparer les solutions osmotiques par sel étudié.

Concernant les analyses de cristaux, trois types d'analyse sont à opérer pour chaque sel :

- une étude de la teneur en eau. Celle-ci se fait dans nos laboratoires. Il y aura trois séances de séchage de quatre heures par sel étudié, vu qu'il faut trois expériences de cristallisation par sel étudié.
- 6 analyses de teneur en chlorure par un laboratoire externe (une du surnageant, et une du cristal dissout par expérience de cristallisation). Il est à noter qu'il faudra rincer le cristal avant de le dissoudre pour la mesure en chlorure, sinon la mesure peut être erronée ;
- 3 analyses de la structure cristalline (via diffraction aux rayons X, DRX) par sel étudié (car il y a 3 échantillons par sel étudié) effectuée via un laboratoire extérieur également.

1.2. Consommation annuelle des appareils utilisés en laboratoire

Pour établir la consommation annuelle en électricité, il faut tenir compte de la consommation des appareils : pompes, agitateur, balance et étuve. Celle-ci est calculée dans le **Tableau 28**. La multiplication de chaque colonne par élément nous donne sa consommation annuelle. L'addition de chaque consommation annuelle par élément nous donne le total de la consommation électrique pour une année.

Le nombre de manipulation par an a été établi comme suit pour les pompes, l'agitateur et les balances : par sel, il faut opérer 13 expériences par sel pour étudier la distillation et la cristallisation membranaire de ce dernier. Nous estimons le nombre d'expériences à réitérer à

3 par sel. Ce qui fait un total de 16 expériences par sel. Deux scientifiques travaillent dans le laboratoire. Un scientifique étant capable de réaliser l'étude de 5 sels sur une année. Nous comptabilisons donc un total de 160 expériences par an.

Les manipulations pour l'étuve sont au nombre de trois par sels comme expliqué précédemment dans le type d'analyse opéré pour chaque sel.

Le tableau ci-dessous résume la consommation électrique et l'espace occupé au sol et dans l'espace des différents éléments constituant le service *ROS*.

Tableau 28 Consommation annuelle des appareils en laboratoire (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

	W consommé /unité	Nombres d'unités	Nombres d'heure/unité/sel	Nombres de manipulations/ans	TOTAL conso/annuelle De l'élément
Pompes	3, 2	2	2,5	160	26 kWh
Balances	24	2	2,5	160	5,28 kWh
Agitateur	125	1	1	160	20 kWh
Etuve	184	1	4	30	22,08 kWh
TOTAL consommation annuelle					73, 36 kWh

Nous obtenons ainsi une consommation annuelle totale électrique des appareils utilisés en laboratoire de 73,36 kWh. Cette consommation d'énergie est dérisoire.

2. Conception du système *ROS*

Dans cette section nous allons passer en revue les étapes et les éléments nécessaires à la conception du système *ROS*.

L'analyse des effluents industriels et l'estimation des besoins en sels de la firme concernée ainsi que l'évaluation de la place disponible au sein de son usine (pour l'installation) sont des prérequis au lancement de la conception pure du système *ROS*. Une des premières analyses à réaliser sur les effluents industriels de la firme est de savoir s'il est possible de dévier l'effluent contenant le sel qui nous intéresse afin de savoir le traiter dès sa sortie du procédé de production. Dans le cas de *Prayon*, par exemple, l'organisation et la structure de leur usine rendait cette déviation impossible. Le premier endroit où il était possible de récupérer l'effluent était aux points de rejets des effluents de l'usine, mélangé avec les effluents de tous les autres procédés du site industriel de l'entreprise. Ceci expliquant les volumes conséquents, et la très

faible concentration. Ce paramètre est une condition sine qua non à la mise en place du service ROS. De fait, plus l'effluent à traiter sera concentré et aura un faible débit, plus les coûts d'investissements nécessaires au bon fonctionnement du service ROS seront faibles (surface membranaire nécessaire, quantité de système de filtration et de concentration). Conséquemment, cela implique que nous ne pouvons pas jouir des éventuels systèmes de filtration déjà installés chez les industriels, souvent en fin de parcours des effluents.

Cette première approche permet de comprendre les variables essentielles qui vont guider le projet tout au long de la conception de celui-ci. Nous l'illustrerons avec le cas *Solvay*. Ensuite, toujours à travers le projet prototype *Solvay*, nous expliquerons dans l'ordre le choix de la composition du système et le rôle de chaque élément suivant : la surface membranaire nécessaire, les pompes, les tuyaux, les réservoirs, les accessoires, le système de filtration, la solution osmotique, l'évacuation de l'eau extraite de l'effluent, l'analyse des cristaux, la récupération des cristaux et la mise en place du système.

Les adaptations nécessaires pour le *scale-up* (20m³/h) de la technologie, le *monitoring* du système, l'entretien et la sécurité de celui-ci seront également développés à travers les derniers points de ce chapitre.

2.1. Analyse des déchets industriels et estimations des besoins en sels de la firme

Dans le cas étudié, *Solvay* rentre dans la catégorie de clients qui n'ont pas besoin du sel récupéré à la fin du processus ROS. Le sulfate de sodium récupéré devra donc être vendu via notre service de symbiose industrielle. Dans le cas contraire, nous aurions procédé à l'estimation de ses besoins. Ces résultats auraient alors été mis en parallèle avec la production possible de sels recyclés par jour.

La composition de l'effluent à traiter se trouve dans la **Tableau 29**. On peut noter la présence de solides en suspension ainsi que celle de sable (SiO₂). La concentration de l'effluent en sulfate de sodium varie entre 46,76 et 57,65 g/L. Les impuretés Calcium et Magnésium représentent donc entre 0,13 et 0,11% de la masse totale présente dans l'effluent ; ce qui le rend relativement pur et propice à l'obtention de cristaux purs.

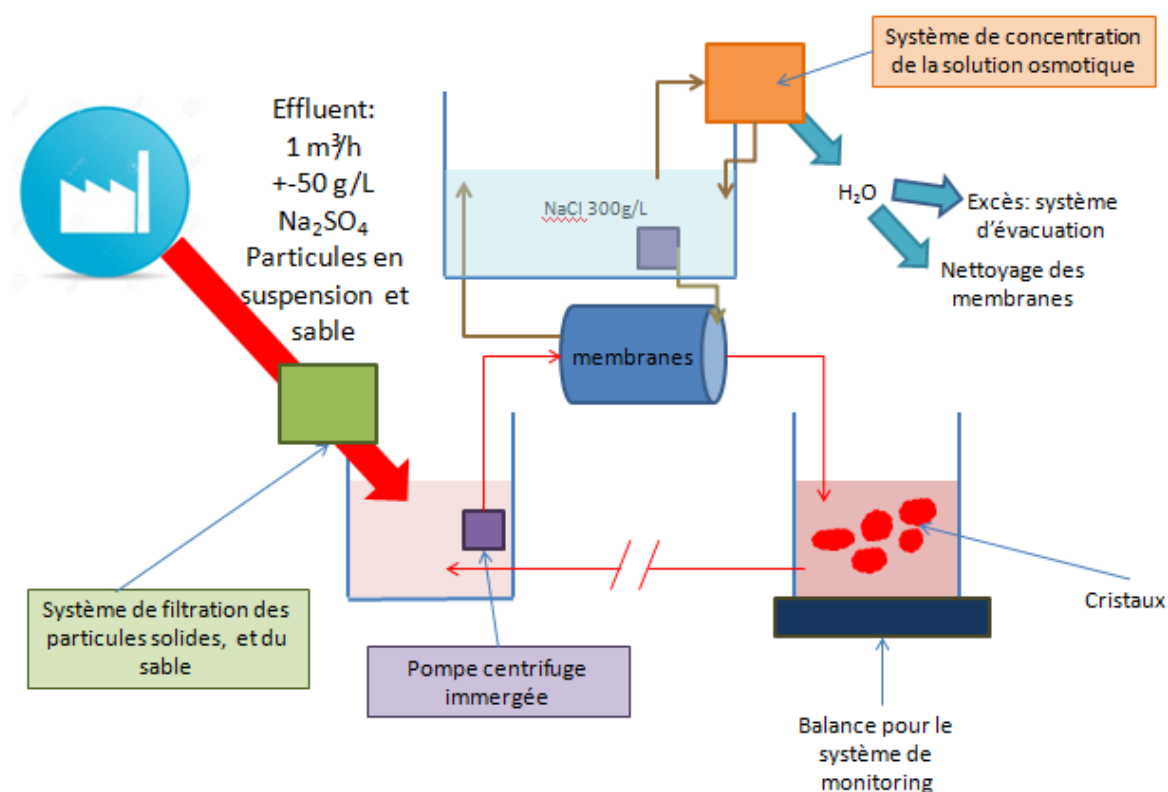
Tableau 29 Composition de l'effluent industriel de Solvay (Quist-Jensen et al., 2017)

Composition of the industrial wastewater.

pH	4–5
Na ₂ SO ₄	4.5–5.5 wt.%
Suspended solids	100–200 mg/L,
Soluble SiO ₂	Approx. 100 mg/L
Ca	Approx. 60 mg/L
Mg	Approx. 3–5 mg/L

2.2. Conception du système : Projet-prototype, débit 1m³/h (Solvay)

La Figure 56 ci-dessous illustre l'ébauche du prototype réalisé dans le cadre de ce mémoire, et synthétise toutes les questions et recherches qui se sont déroulées pour arriver à ce résultat. Chacun des sous-points suivants traitera les différents éléments séparément. Nous employons le terme "prototype", car des données (comme l'espace disponible sur l'installation industrielle) nous manque pour prétendre à pouvoir lancer ROS en phase-pilote sur l'installation étudiée.

Figure 56 Système ROS pour un débit de 1m³/h (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

Les flèches en rouge représentent le déchet industriel. Les flèches en brun le circuit de la solution osmotique. Les flèches épaisses bleues indiquent l'évacuation de l'eau extraite du déchet par la distillation membranaire.

a. Calcul de la surface membranaire nécessaire et agencement des membranes

La première étape dans l'intensification était de déterminer la quantité de surface membranaire nécessaire pour amener à la cristallisation de l'effluent de notre étude de cas. Ce calcul s'est fait en s'inspirant de deux méthodologies élaborées au sein de l'équipe de recherche de Patricia Luis (Li et al., 2014 ; Simon, 2016). Ces dernières ont été légèrement modifiées. Pour plus d'informations, consulter Annexe O - Calcul de la surface membranaire

Tableau 30 Surface membranaire nécessaire pour cristalliser l'effluent pour les débits de 300 mL/min (laboratoire), 1m³/h, par les deux méthodes de calculs, et 20m³/h (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

		Wastewater initial concentration number					
		1	2	3	4	5	6
Wastewater flowrate	[g/L]	46,76	52,19	57,65	93,46	132	150
300mL/min	Membrane area required [m ²]	146	141	135	99	59	25
1m ³ /h (Simon)		8191	7885	7578	5563	3394	2381
1m ³ /h (Li)		8503	8226	7945	6022	3803	2711
20 m ³ /h (Li)		170544	164986	159935	120788	76280	54378

Les deux méthodes de calcul représentées dans le **Tableau 30** arrivent à des résultats similaires. Les deux valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur, mais diffèrent d'environ 300m². Nous choisissons de travailler avec la méthode nous donnant la surface membranaire la plus élevée, donc, celle basée sur Li (2014). Ainsi, s'il s'avère lors des tests que la surface est trop élevée, nous garderons les contacteurs membranaires excédentaires en réserve. Dans le cas inverse, nous devrions en recommander et donc, perdre du temps.

On constate ainsi que la surface de membrane nécessaire est conséquente. L'étape suivante est la détermination du nombre de modules (contacteurs membranaires) correspondant à la surface obtenue. Pour un débit d'1m³/h et pour les six concentrations que voici. Le prix est en dollars US. Les 6 concentrations possibles de l'effluent sont d'abord les minima (colonne 1) et maxima (colonne 3) de la teneur en sulfate de sodium de l'effluent de Solvay. La concentration en colonne 2 est la valeur moyenne de cette concentration. Les concentrations des colonnes 4

et 5) sont des concentrations obtenues par *Solvay* de leur effluent après un traitement de pré-concentration. Enfin, la concentration de la colonne 6 est la pré-concentration optimale d'un effluent de sulfate de sodium, proposée par Li et al (2014).

Tableau 31 Surfaces membranaires et leurs prix (Liqui-Cel, 2017) pour traiter un effluent d'un m³/h en fonction de leurs concentrations initiales, avec le nombre de module 2,5*8 Extra-Flow de chez Liqui-Cel correspondant nécessaires, et le prix de cette quantité de cette quantité de contracteurs membranaires (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

	Unités	Wastewater initial concentration number					
		1	2	3	4	5	6
Wastewater flowrate	[g/L]	46,76	52,19	57,65	93,46	132	150
Débit: 1m ³ /h	m ²	8.503	8.226	7.945	6.022	3.803	2.711
nombre de membranes nécessaires		6.074	5.876	5.675	4.302	2.717	1.937
prix	US dollars	9.566.235,8	9.254.458,2	8.937.632,9	6.775.311,6	4.278.748,6	3.050.198

Pour le calcul de coûts, nous allons prendre une moyenne des trois premières concentrations du déchet. Les données à suivre sont celles de la colonne 2, correspondant à la concentration de 52,19 g/L. Les nombre de contacteurs membranaires nécessaire s'élève à 5.876, auxquelles il faut ajouter un nombre de réserve pour l'entretien, et en cas de blocage. Nombre que nous fixons à 1/10 du nombre total, c'est à dire 588. Le nombre de 5.876 contacteurs est obtenu, car le module que nous employons (le 2.5*8 Extra-Flow) a une surface membranaire de 1,4 m².

Pour le calcul de coûts, nous allons supposer que nous alignons les membranes en série sur une ligne, par simplicité et par manque de données pour les accessoires nécessaires à un autre agencement. Toutefois, il faudrait plutôt mettre en place un système de collecteurs à la sortie de la pompe (cette dernière est représentée par le carré mauve sur le schéma ci-dessus), pour diviser le flux sortant en plusieurs lignes de membranes, comme illustré sur l'image ci-dessous. De fait, imaginer de mettre en série les 5.876 contacteurs membranaires semble peu réaliste pour des raisons de pertes de charges, d'espace, et de la variation de la concentration de la solution osmotique entre le début et la fin de la file de membranes.

Si les membranes sont agencées autrement, en cas de blocage, toute l'installation n'est pas impactée.

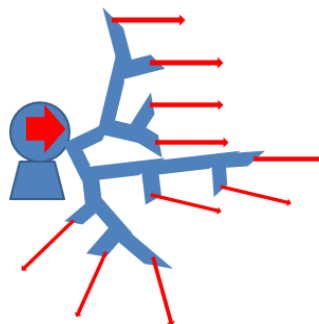


Figure 57 Division du flux sortant de la pompe en plus petites lignes de membranes à l'aide de collecteurs (Clérin, Dubray et Havenne, 2017).

Par exemple, les 5.876 modules pourraient être divisés en dix lignes parallèles (8 lignes de 587 membranes et 2 lignes de 590). Ceci permettrait d'optimiser l'espace. L'organisation des membranes est un point essentiel à travailler pour notre premier client. Le placement d'une boîte par-dessus *ROS* est envisageable. Par exemple, au cas où *ROS* devrait être placé en extérieur, cela lui offrirait une protection contre les intempéries.

b. Pompes

Les deux pompes (carrés mauves sur le schéma) permettent de faire passer les deux solutions au sein des membranes. Elles viennent compenser la perte de vitesse de l'effluent dû au système de filtration placé avant le corps du système.

Si on applique la consommation électrique des pompes péristaltiques employées au laboratoire au débit, la consommation pour traiter 1m³ d'effluent/heure serait de 984,85 kWh pour les deux pompes. Cette consommation est due à la précision de débit demandée à la pompe. En industrie, l'usage est d'employer des pompes bien moins énergivores.

M. Hollange, technicien de la société *PHC*, nous a proposé le modèle V85PX-35, plus adéquat à nos exigences :

- une pompe en inox, pour résister à la saumure de la solution osmotique et au sel présent dans l'effluent ;
- une puissance électrique minime, elle doit pomper un débit équivalent à celui produit par l'industrie : 1m³/h ;
- la pression infligée à l'effluent par la pompe ne doit pas excéder 1 bar, par rapport à la pression maximale tolérée au sein des contacteurs membranaires.

La consommation électrique de ce modèle s'élève à 0,55 kWh par pompe.

Il est à noter que nous partons de l'hypothèse qu'il n'y a pas de perte de charge. Dans le cas contraire, il faudrait employer les abaques des formules de perte de charge linéaire et locale, afin de déterminer quelle pression initiale il faut appliquer en plus pour contrer les effets de perte de charge, et assurer le débit de 1 m³/h. C'est un élément à ne pas négliger dans le futur. Pour le plan financier, nous mettons l'hypothèse que le prix de l'adaptateur entre l'orifice de la pompe et du premier module sera identique aux adaptateurs employés pour connecter les membranes entre elles.

c. Tuyaux, réservoirs, accessoires

Pour assembler les éléments du plan-prototype ensemble, nous avons besoin d'accessoires et de tuyaux. Des réservoirs sont aussi indispensables, pour stocker les cristaux, la solution osmotique et accueillir l'effluent après filtration.

- Réservoirs : nous estimons avoir besoin de deux réservoirs de 5m³ (un pour la solution osmotique et l'autre pour l'effluent), et un de 10m³, pour le stockage des cristaux à la sortie des membranes.
- Tuyaux : nous employons les mêmes tuyaux que ceux décrits dans la partie "matériel et méthodes" du chapitre 8. Nous estimons qu'une unité (7,6 m) suffit pour deux membranes. Il nous faudra donc, en comptant les unités de secours (1/10 du su système), 3.232 unités de tuyaux vendues par Master Flex.
- Accessoires pour les membranes : ils sont employés pour connecter les membranes entre elles. Les accessoires sont en PVDF (polyfluorure de vinylidène). Nous avons besoin de quatre raccords cannelés par membrane donc 25.856 unités (système de sécurité compris).
- Il faut également 4 adaptateurs femelles et 4 adaptateurs mâles par membrane pour connecter la membrane aux tuyaux. Ce qui donne un total de 25.855 adaptateurs femelles et 25.855 adaptateurs mâles.

d. Système de filtration

Le système de filtration est représenté par le carré vert sur le schéma du plan-pilote. Il se positionne juste à la sortie du procédé industriel. Ainsi, les pompes et les membranes ne sont pas endommagées par les particules en suspension qui se trouvent dans l'effluent. Il permet donc, en protégeant celles-ci, de rallonger leur espérance de vie.

VITO nous a proposé un de leur nouveau produit : la *BlueFoot membrane* comme solution pour le système de filtration. Cependant, celle-ci ne convient pas car 90% de la consommation

électrique est employée pour aérer le liquide. De fait, l'application de base de ces membranes est la filtration pour le pré-traitement des effluents par bio-réacteurs, qui nécessite une aération des liquides à traiter.

Sur les conseils du CEO d'*it4ip* nous avons opté pour un filtre spongieux. Celui-ci absorberait les diverses particules en suspension ainsi que le sable présent dans l'effluent. *Solvay* ne pouvant nous communiquer plus d'informations, nous avons dû faire l'hypothèse que les particules en suspension n'étaient pas plus grosses que les particules de sable et avaient un diamètre similaire à ces dernières. La taille des grains de sable étant de 400 à 200µm, nous cherchons dès lors un filtre capable de les retenir. Il faudrait pour ce faire qu'il possède des pores de l'ordre de 100-200µm. Suite à cette décision, nous avons contacté deux entreprises : *Merck group* et *Siva-unit*.

L'entreprise *Merck group* (2017) propose un système de filtres spongieux muni de filtres à usage unique. Ce modèle est régulièrement utilisé dans le secteur pharmaceutique pour des raisons de sécurité. Selon M. Butcher, responsable des ventes, *ROS*, n'étant pas confronté aux normes du secteur pharmaceutique, pourrait utiliser plusieurs fois le même filtre. Pour confirmer cette hypothèse il faudrait effectuer des tests à échelle laboratoire.

L'entreprise *Siva-unit* (2017) nous a remis un devis Annexe G - Devis Siva Unità titre d'indication pour un système de filtration tangentielle.

Le devis de *Siva-unit* inclus :

- un châssis ;
- une pompe d'alimentation centrifuge ;
- une boucle de circulation comportant un carter de membranes céramiques, une pompe de circulation centrifuge et l'instrumentation ;
- un circuit d'alimentation avec pré-filtre de sécurité ;
- un circuit de sortie du perméat avec vanne de régulation et instrumentation ;
- un circuit de sortie du rétentat ;
- une cuve de nettoyage (NEP) avec sa résistance chauffante, deux groupes de dosage et les accessoires ;
- Une armoire électrique de contrôle/commande/puissance avec IHM et automate.

Nous avons choisi la proposition de *Siva-unit*. Celle-ci nous semblait plus complète et réaliste. M. Grospelly, directeur technique, précise qu'un essai est indispensable pour évaluer la dimension du système de filtration tangentielle en adéquation avec nos besoins. M. Grospelly

a suggéré via e-mail de se baser, pour estimer un coût, sur l'hypothèse que leur système de filtration a une perméabilité de 100 L/h.m². Il faut donc 10m² pour traiter 1m³/h. Le seuil de filtration de ce filtre est de 0,14µm. Nous trouvons ce seuil de filtration trop fin et inadéquat à notre demande. De fait, ses pores étant trop petits, ils risqueraient de s'obstruer bloquant ainsi le passage de l'effluent via ses pores. Nous avons renvoyé une autre requête par e-mail. Le service *Siva-unit* (2017) ne nous a malheureusement pas répondu. Pour la construction de ce plan de production et du plan financier nous avons donc basé nos hypothèses sur leur première proposition même si celle-ci n'est pas la plus adéquate. La question du dimensionnement des filtres devra être étudiée en profondeur.

e. Solution osmotique

La solution osmotique est représentée, sur la **Figure 56** comme la solution de NaCl 300g/L. Le circuit beige symbolise le mouvement de l'eau extraite des effluents présents dans la membrane. L'eau présente dans la membrane va passer à travers les pores de celle-ci et rejoindre la solution osmotique. Cette solution de NaCl va donc se diluer au fur et à mesure du procédé de distillation membranaire. Ceci représente le problème majeur de notre processus. Le volume de la solution va donc augmenter, ce qui engendrera rapidement une difficulté de stockage. Dans un même temps, le volume d'eau augmentant, la concentration de la solution osmotique va diminuer. Cette dilution entraîne une diminution de l'efficacité de concentration de l'effluent de notre *set-up*. Il faut donc, d'une manière ou d'une autre, réguler ce volume et la concentration de la solution osmotique.

Plusieurs pistes de solutions sont possibles :

- la plus facile : évacuer la saumure excédentaire, et ajouter du NaCl à la solution osmotique pour la concentrer. Ceci signifie donc que nous rejeterions via l'évacuation de la solution dans un cours d'eau, des sels dans l'eau douce. Cette solution serait contraire aux valeurs de ROS, elle est donc à écarter ;
- la revente de la saumure. Marc Lacroix, chargé de cours à l'UCL et travaillant chez Solvay, nous informe qu'il y a une demande en saumure et que la tonne de saumure est évaluée à 6 euros. Toutefois, le transfert de saumure d'un procédé à un autre se fait très souvent en interne d'une entreprise et est, la plupart du temps déjà mis en place dans l'entreprise. Trouver un acheteur n'est donc pas simple. De plus, le prix de la tonne varie en fonction de la teneur en sel de la saumure (Lacroix, 2017). Cette solution ne semble donc pas réalisable ;

- l'installation d'un système de concentration de la solution osmotique, qui extrairait l'eau excédentaire. La solution osmotique conserverait dès lors sa concentration. Ceci nous éviterait d'ajouter du NaCl. Nous avons choisi d'appliquer cette solution temporairement, elle est en effet la seule réalisable en ligne avec notre stratégie.

Un système de concentration (représenté en orange sur la figure x) est ajouté au processus ROS. Nous sommes en recherche d'une option moins énergivore.

Pour créer cette solution osmotique, il faut prévoir 300 kg de NaCl, et une tonne d'eau déminéralisée. Cette solution sera changée annuellement lors de la maintenance et est comprise dans le contrat de service.

Le système de concentration doit extraire de la solution osmotique 18,3 tonnes d'eau par jour. En effet, 0,2112 kg d'eau/seconde arrive dans la solution osmotique via les parois membranaires. Cela correspond à 760,1 kg/h ou encore 18.242,39 kg d'eau/jour.

La valeur du transfert d'eau vers la solution osmotique, 0,2112kg/s, a été déterminée dans la méthode de calcul de la surface membranaire nécessaire.

Le fournisseur du système de concentration, *tmw* (2017), nous propose un équipement containérisé complet nommé ECOSTILL2000 (proposition présentée en annex X). Malgré notre requête : traiter un m³ d'eau par heure, *TMW* nous propose un système capable de traiter 2m³/jour. Ce système nous semble très coûteux et peu adapté à notre situation. Nous avons dès lors demandé des informations complémentaires qui ne nous ont jamais été transmises. Nous supposons donc que la technologie ECOSTILL2000 est la solution répondant à nos besoins. Nous devons éliminer quotidiennement 18,3 tonnes d'eau. 2m³ étant la quantité d'eau extraite par jour par une unité d'ECOSTILL 2000, nous aurons besoin de 10 unités d'ECOSTILL 2000. Nous émettons l'hypothèse que l'évaporation de l'eau se fait de façon continue.

La **Figure 58** illustre les données utilisées pour estimer la consommation électrique d'une unité d'ECOSTILL 2000. Nous posons donc l'hypothèse, que l'évolution de la dimension et de la puissance électrique est linéaire, ce qui nous permet de procéder à une estimation de la surface au sol et de la consommation électrique d'un ECOSTILL 2000.

La technologie

La technologie MHD est un processus unique qui réunit les caractéristiques suivantes :

- Evaporation à pression atmosphérique et à basse température, la solution étant constituée entièrement de pièces en plastique (PP, HDPE)
- Puissance moyenne entre 6kW (ECOSTILL™ 400) et 24 kW (ECOSTILL™ 1500)
- Consommation thermique entre 70 et 150 kWh/m³ d'effluent brut traité
- Production d'un distillat réutilisable et d'un concentrât prêt à être éliminé
- Dimensions de la machine : de 4 m² (ECOSTILL™ 400) à 30 m² (ECOSTILL™ 3800) et 2,5 m de haut.

Figure 58 Description de la technologie ECOSTILL (TMW, technologies, 2017)

Nous savons donc estimer qu'un ECOSTILL 2000 prendra 16,14 m² de surface, et consommera 32,25 kWh par m³ d'effluent traité.

f. Evacuation de l'eau extraite de l'effluent

Comme expliqué dans le point précédent l'eau arrivant dans la solution osmotique, en est extraite par le système de concentration ECOSTILL 2000 (par les 10 unités d'ECOSTILL 2000).

L'eau obtenue par cette technologie est une eau déminéralisée. Elle peut donc être réutilisée pour d'autres applications. À ce jour, nous prévoyons d'en faire les usages suivants :

- nettoyage quotidien des membranes (voir section "maintenance du système") ;
- éventuelle revente au client s'il le désire. Mais nous n'avons pas inclus ce paramètre dans notre plan financier. Nous rejetons l'excédent dans les égouts.

g. Analyse des cristaux

Trois fois par an, nous procéderons à une analyse des sels recyclés (deux types d'analyses comme expliqué dans le point 1.1), pour s'assurer du bon fonctionnement du procédé et de la qualité des cristaux obtenus. Pour ce faire, nous effectuerons un prélèvement d'échantillons, et les enverrons à un laboratoire extérieur, par exemple l'UCL qui propose ces services.

h. Récupération des cristaux

L'évacuation des cristaux obtenus par le processus *ROS* se fait tous les 19 jours. Le réservoir en inox fait 10m³, la vitesse de production des cristaux est estimée à 52,19g/L. Nous prenons donc la densité du sulfate de sodium anhydre en faisant l'hypothèse qu'elle est similaire à celle du sulfate de sodium décahydrate : 2,66 kg/dm³ (Garrett, 2001). Ce qui donne une production de volume de cristaux de 0,471m³/jour. Nous obtenons ainsi un réservoir remplis après 21,24 jours. Notre partenaire de transport dispose de camions dont la capacité de transport s'élève à 25 tonnes. Pour ce faire, nous prévoyons donc de passer tous les 19 jours échanger le réservoir remplis contre un autre vide. Ce qui équivaut à passer 19 fois par an.

Nous estimons le poids de cristaux produits par réservoir à 52,19kg x 24h x 19= 23,8T. Ce qui fait 475,97 tonnes de sels récupérées annuellement.

En ce qui concerne le surnageant, étant donné que le procédé est en continu, le volume ne variera pas. De plus, la concentration de l'effluent varie entre 4,5 w% et 5,5w%. Nous avons basé nos calculs sur une concentration moyenne de 5w%. À ce jour, nous posons l'hypothèse que le surnageant restant sera employé pour concentrer l'effluent lorsque sa concentration baisse, et qu'il n'en restera plus qu'une quantité négligeable dans le réservoir à la fin.

Enfin, le système du *monitoring* a été pris en compte dans le calcul de coûts. Nous avons fait l'hypothèse qu'il coûterait 10.000 euros, néanmoins nous n'avons pas plus de précision car ce point est encore en cours de discussion.

i. Mise en place du système

Pour installer le système sur le site industriel de notre client, nous supposons qu'il n'y a pas de limites d'espace, n'ayant pas pu obtenir ces informations.

Le volume total pris par la technologie est estimé à la somme des points suivants. L'espace pris par les tuyaux n'est pas pris en compte. Le **Tableau 32** résume la consommation électrique et l'espace occupé au sol et dans l'espace des différents éléments constituant le service *ROS*.

Les réservoirs choisis ont des volumes de 2 fois 5m³ et une fois 10 m³ Ces volumes ont été surdimensionnés pour bénéficier d'une marge de quelques heures en cas de problème, avant de devoir jeter l'effluent. Si cela arrive, il est prévu de rajouter le système de membranes de secours pour évacuer ce volume excédentaire d'effluent.

La dimension du système de filtrage ne nous a pas été communiquée.

Concernant le système de concentration (**Figure 59**), le fournisseur n'a pas donné les volumes de l'installation. Avec l'estimation de la surface réalisée précédemment, et en sachant que la hauteur est de 2,5m (tmw technologies, 2017), nous pouvons faire une estimation du volume d'un module ECOSTILL 2000 : $16,14\text{m}^2 \times 2,5\text{m} = 40,35\text{m}^3$. Nous avons besoin de 10 modules donc $40,35\text{m}^3$ fois 10, le système concentration occupera $403,5\text{m}^3$. Ceci semble peu réalisable, ce pourquoi nous estimons important pour la suite de l'élaboration du plan-pilote de travailler sur ce point-ci : continuer la discussion avec *TMW* et analyser les autres solutions de concentration possibles. L'eau ne sera pas stockée, mais une déviation sera possible pour la maintenance des membranes.



Figure 59 Image de synthèse d'un module ECOSTILL 2000 (Hellopro.fr, 2017)

Donc, le volume total, hors système de concentration s'élève à $27,27\text{m}^3$. Avec le système de concentration, nous arrivons à $427,3\text{m}^3$.

Concernant la surface occupée au sol, nous additionnons les trois éléments repris dans le tableau ci-dessous, ce qui donne une surface de $196,21\text{ m}^2$. À titre de comparaison, la concurrence offre des services requérant 36 m^2 de surface, pour traiter des débits de $30\text{m}^3/\text{h}$.

Tableau 32 Récapitulatif de la consommation électrique, de la surface et du volume occupés par les différents éléments du service ROS pour le projet pilote traitant $1\text{m}^3/\text{d}$ d'effluent par heure (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

	kWh consommé /unité	Nombres d'unités	TOTAL conso/ m^3 d'effluent traités de l'élément	Surface occupée au sol m^2	Volume occupé m^3
Pompes	0.55	2	1.1	-	-
Réservoirs				15	20
Contacteurs membranaires	-	-	-	120,15	7,27
Système de concentration	32,25	10	322,5	161,4	403,5
Système de filtration	10	1	10	Non reçu	Non reçu
Total			333,6	196,21	427,3

Dans le **Tableau 32** ci-dessus, la consommation d'électricité par heure et par m³ d'effluent traité est de 333,6 kWh. La concurrence la plus énergivore se situe entre 70 et 120 kWh/m³ d'effluent traité.

2.3. Échelle industrielle : débit de 20m³/h

Selon *Suez Environnement* (2017), le débit habituellement traité tourne autour de 20m³/h d'effluents. Nous allons donc procéder à un exercice d'intensification du projet-pilote vers ce débit de 20m³/h. Nous avons posé l'hypothèse que l'effluent à traiter aurait la même concentration que celui de *Solvay* (52,19g/L), mais avec un débit vingt fois supérieur.

Nous n'entrerons pas dans les détails, mais présenterons les divergences principales par rapport à l'échelle pilote, les coûts seront détaillés dans le chapitre 15 : Plan financier.

La quantité de surface membranaire nécessaire, est à multiplier par vingt, car les procédés membranaires s'intensifient linéairement (Ruiz Salmon et al., 2017). Il en est de même pour la quantité de système de concentration et d'accessoires nécessaires.

Il faut employer des pompes plus puissantes. Elles exigent une maintenance, régulée par le fournisseur de pompes, mais fonctionnent toujours de la même façon : immergées, en inox, à puissance faible (1,5kWh/pompe). Le modèle choisi est le modèle DGX200265 (information dans l'Annexe S).

La taille des réservoirs reste inchangée. De fait, le débit augmente, mais la capacité de traitement également.

La solution osmotique sera toujours de 1m³ à 300g/L. Nous faisons l'hypothèse que le système de concentration augmentera son efficacité en proportion du nombre de modules ECOSTILL 2000 ajoutés pour traiter ces 20m³.

Pour le système de filtration, nous posons l'hypothèse qu'il faudra 100 m² de la membrane proposée par *Siva-unit*.

L'analyse des cristaux, la maintenance et le nettoyage quotidien des membranes conservent la même organisation. Le système de secours des membranes sera vingt fois plus long (représentant toujours 10 pourcent de l'installation).

Tableau 33 Récapitulatif de la consommation électrique, de la surface et du volume occupés par les différents éléments du service ROS pour une échelle industrielle sachant traiter 20m³/d'effluent par heure (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

	kWh consommé /unité	Nombres d'unités	TOTAL conso/20m ³ d'effluent traités de l'élément	Surface occupée au sol m ²	Volume occupé m ³
Pompes	1,5	2	3	-	-
Réservoirs				15	20
Contacteurs membranaires	-	-	-	2403	145,3
Système de concentration	32,2545	200	6.450,9	3228	8070
Système de filtration	10	20	200	Non reçu	Non reçu
Total			6.653,9	5.646	8.235,3

Ces calculs nous indiquent qu'il faudrait prévoir une surface au sol libre, à proximité de la source de l'effluent de 5.646 m², que l'espace en trois dimensions requis est de 8.235,3 m³. Enfin, le système consommerait au total 6.653,9 kWh pour traiter un débit 20 m³/h d'effluent. L'évacuation des cristaux se fera plus régulièrement, à raison d'une fois par jour. De fait, la production journalière est estimée à 52,19kg/m³*20m³/h*24h=25,05 tonnes.

2.4. Monitoring du système

L'installation ROS sera également équipée d'un système de *monitoring* relié à un serveur. Ceci permettra au client de pouvoir contrôler la performance de ROS, d'avoir accès aux données concernant les quantités de sels recyclés par jour et par mois. Enfin, le système de *monitoring* permet au client d'être averti par une alarme en cas d'anomalie.

Dans une optique de contrôle du fonctionnement du processus ROS, le système de *monitoring* mesurera la quantité de sel produite par heure pour pouvoir déceler un éventuel problème et donner l'alerte si les quantités produites ne sont pas régulières ou dans les normes habituelles. Le *monitoring* se fera via une balance installée en dessous du réservoir où les sels cristallisés sont récupérés. La balance n'est pas comprise dans les coûts d'installation du système ROS.

Le nombre de pannes du système et leur durée, ainsi que les données sur la quantité de sel seront présentés sous forme de graphique dans l'espace personnel réservé au client sur le site www.recycleyourownsalts.com.

Grâce à un compte et un mot de passe, les clients auront accès à cet espace. Le calcul du retour sur investissement (réduction des taxes annuelles, réduction des coûts d'importation en sels et réduction de l'empreinte environnementale) sera également disponible.

2.5. Entretien du système

Une fois par an, *ROS* propose une maintenance complète de son service, afin de limiter l'apparition de problèmes techniques. Comme mentionné plus haut, la solution osmotique sera renouvelée et des prélèvements de cristaux et de la solution surnageante seront analysés dans les laboratoires de l'UCL pour vérifier la qualité des cristaux produits. Cette analyse se fera aussi en cas de modification de la nature de l'effluent, sous condition d'avoir été prévenu par le client de ce changement.

Sur base des informations livrées par le fournisseur de membranes concernant l'expérience de leurs clients, nous faisons l'hypothèse que les tuyaux et les membranes, nettoyés quotidiennement par le technicien présent sur l'installation, ont une durée de vie garantie de dix années. Passé ces dix années, l'état des membranes sera étudié, pour songer à un éventuel remplacement. Une procédure est à élaborer dans un travail futur quant à l'arrêt du service *ROS* durant cette étude et ce remplacement.

Les membranes ne constituent pas un danger au niveau environnemental, il faut simplement les jeter une fois usées (Ulbricht, 2017).

La pompe pour 1m³/h ne nécessite pas de maintenance, contrairement à celle pour 20m³/h. Les conditions de la maintenance sont à définir avec le fournisseur de pompes au moment de l'achat.

Le système de filtration nécessite l'emploi d'une résistance chauffante, utilisée une fois par semaine pour le nettoyage du filtre, dont la puissance est de 12 kW. Les données sur la durée de ce nettoyage n'ont pas été communiquées. Les membranes du système de filtration ont une durée de vie de cinq à dix ans. Le nettoyage du filtre est à charge des employés sur place.

Pour les membranes, un nettoyage est à prescrire, afin d'éliminer les cristaux formés dans les fibres, et ainsi d'éviter le blocage de la membrane. Pour ce faire, une fois par jour, pendant vingt minutes, un dixième de la ligne des membranes sera dévié pour être nettoyée à l'eau pure (venant du système de concentration de la solution osmotique, donc aucun coût pour obtenir cette eau). Il faudra donc répéter l'opération dix fois quotidiennement. Ainsi, toutes les membranes seront nettoyées une fois par jour. Il faudra un technicien responsable de cette

opération. La mise en place de ce système de sécurité/nettoyage est à étudier dans un travail ultérieur: 588 contacteurs membranaires, ce n'est pas facilement déplaçable. Un pré-montage devrait être réalisé, et installé sur une surface à roulettes, pour faciliter le déplacement.

Un technicien sur place (chez le client) aura été formé par les ingénieurs de *ROS*, afin de réagir en temps utile aux différents problèmes qui pourraient survenir. Il sera aussi responsable de la surveillance de l'installation en général, de l'accompagnement des ouvriers venant pour la maintenance et pour la récupération des sels.

Un service de maintenance est appellable 24h sur 24 en cas de problème technique majeur de l'installation et d'intervention nécessaire.

2.6. Sécurité du système

En regard de toutes les exigences décrites ci-dessous, il semble pertinent de s'octroyer les services d'un expert HSE (Health, Safety and Environment), afin de répondre aux exigences en matière de sécurité exigées par l'Etat. De fait, la réglementation en matière de sécurité et de bien-être au travail est un élément à ne pas négliger.

Le chapitre 13 : Plan juridique, reprend et développe les obligations du travailleur et de l'employé en matière de comportement au travail, et de l'environnement de travail. La sécurité des employés dans nos laboratoires et sur le lieu de travail y est également abordé.

L'instauration d'un système de sécurité est primordiale dans notre activité économique.

Concernant l'installation au sein des entreprises, en cas de défaillance incontrôlable, le réservoir recevant l'effluent filtré possède une connexion au système d'évacuation de l'industrie.

Le technicien travaillant sur place devra être équipé d'un bleu de travail, de chaussures, de lunettes et d'un casque de sécurité. Un système de protection auditive sera également nécessaire.

Pour le reste de la sécurité, l'expert HSE devra parcourir les conseils d'organismes tels que Securex, ou le CESI, afin d'établir un plan-pilote de production le plus sûr possible.

3. Conclusion et incidence sur *ROS*

Ce plan de production et plus particulièrement le projet prototype *Solvay*, nous a permis de prendre conscience de chaque étape et de chaque technologie supplémentaire nécessaires au

développement de notre idée de départ à l'échelle semi-industrielle. À notre plus grand regret, les contraintes liées à la caractérisation de l'effluent et aux valeurs de *ROS*, nous ont forcées à rajouter des éléments consommateurs d'énergie dans le processus *ROS*. La nouvelle application donnée à la membrane, qui permet de cristalliser les sels, est quant à elle, non énergivore comme expliquée au début de ce mémoire. Ce procédé requiert uniquement deux pompes qui ne consomment au total que 1,1 kWh par m³, ce qui est donc presque 15 fois moins énergivore que la concurrence la plus efficiente (*France évaporation*). Malheureusement, suite à l'analyse des effluents de *Solvay* et à l'endroit optimal pour installer notre processus (au plus proche de la source de l'effluent et donc avant qu'il ne soit mélangé avec d'autres effluents), nous sommes dans l'obligation d'installer un système de filtration précédant le corps du système *ROS*. D'autre part, pour ne pas rejeter un effluent salin revenant à déplacer le problème initial de nos clients, nous devons également insérer un concentrateur de la solution osmotique. Ces technologies supplémentaires, et plus spécifiquement le concentrateur, consomment énormément d'énergie. *ROS* consomme maintenant 324 kWh par m³ d'effluent traité. Notre objectif de départ n'est plus respecté. Avec cette consommation nous ne sommes plus compétitif. En effet, le concurrent le plus énergivore, qui s'avère être notre fournisseur de concentrateur également, consomme entre 70 à 120 kWh par m³. Le concentrateur représente 97 % de notre consommation d'énergie. Nous sommes donc à la recherche d'une alternative au système de concentration : un système de concentration plus efficace.

Chapitre 12 : Marketing opérationnel

Une fois le plan de production établi, un entrepreneur s'attarde au plan marketing. Il s'interroge sur la manière dont il va présenter son (ses) produit(s) et/ou ses service(s) sur le marché, ainsi que sur ses stratégies de commercialisation. Le présent chapitre explique que le positionnement est la ligne directrice des décisions prises en marketing. La stratégie de ROS se base sur une nouvelle version du marketing, la 2.0. Cette vision met le client au centre de l'attention et invite à l'utilisation des outils internet mis à disposition. Le modèle *decision journey of a B2B customer* mis en évidence par des agents de Mckinsey (Edelman & Singer, 2015), permet de mieux comprendre l'influence du type de client (dans notre cas des entreprises), sur les stratégies marketing. Finalement, cet outil permet d'adapter sa stratégie au monde industriel et aux attentes des futurs clients. Ensuite, en accord avec le positionnement central du client, ROS a choisi de développer sa stratégie de mix opérationnel à travers le modèle des 4C : Valeur client, Coût, Commodité et Communication (Kizizie Ukaba, 2017). Une stratégie marketing doit être mesurable. Pour ce faire, plusieurs *Key Performance Indicators* (KPIs) ont été retenus. Ceux-ci sont développés dans le point 4 et permettent de mieux comprendre les effets de la stratégie choisie. Pour clore le chapitre, la marque et ses aspects juridiques sont abordés en dernier lieu.

1. Le positionnement

“Le positionnement définit la manière dont notre service veut être perçu aux yeux des clients cibles” (Lambin & de Moerloose, 2012, p.422).

ROS souhaite se donner une image unique. L'objectif est d'acquérir un positionnement différencié et ancré dans l'esprit du monde extérieur. Cette stratégie permet de transformer la concurrence directe en de la concurrence indirecte, résultant dès lors à une part de marché rehaussée. ROS souhaite jouir de certaines de ses caractéristiques et de son image pour se démarquer, plus précisément, de ses services offerts en matière de symbiose industrielle et de l'importance accordée à la notion de partenariat et de confiance avec ses clients. Ainsi, nous pouvons affirmer que ROS a un positionnement distinct de ses concurrents. Contrairement à ces derniers, penchés sur une gestion globale d'un large échantillon de détritux, ROS se concentre sur un seul type de déchets : les sels, résultant ainsi en de la spécialisation. Grâce à ce choix stratégique, nous nous engageons à assurer un service optimal et de qualité.

Notre positionnement est clair : **ROS se positionne comme le partenaire des entreprises, leur permettant d'optimiser la gestion de leurs sels, que ceux-ci soient sous forme de déchet ou de matière première.** De par un positionnement différencié, aucune guerre de prix ne pourra voir le jour avec les entreprises *France évaporation*, *Veolia*, *TMW* et *Degrémont industry*. Outre son positionnement spécifique, ROS met l'aspect humain, le service sur-mesure, les besoins du client et pour finir, la qualité, au coeur de sa stratégie. Ce choix est le fruit de l'analyse qualitative mise en exergue précédemment, dans le chapitre 7 et fait en accord avec les FCR identifiés.

2. Consumer decision journey of a B2B customer

À l'heure actuelle, une multitude d'outils et d'information sont à disposition des clients influençant leurs habitudes, leurs décisions et comportements d'achat.

En vue de choisir les outils adéquats pour entrer en contact au moment optimal avec notre cible, de la séduire et pour finir, d'allouer efficacement notre budget marketing, il est recommandé de bien comprendre sa manière de penser. Plus précisément, d'identifier le chemin parcouru par l'acheteur et arriver au point de non-retour quant à sa décision d'achat. Pour ce faire, nous pouvons utiliser l'outil proposé par Lingqvist, Lun Plotkins & Stanley (2015) : *Consumer decision Journey of a B2B customer*.

L'explosion des outils de communication ainsi que l'évolution des structures d'entreprises ont influencées, voir modifiées tant les attentes que le comportement des cibles en *BtoB*. Leur *decision journey* devient en effet plus sociale en étant portée sur les technologies digitales, qui de par une réaction imminente, réduisent les écarts spatiaux et temporels. Pour finir, la *decision journey* des clients de type *Business* est axée sur la pluralité de l'offre.

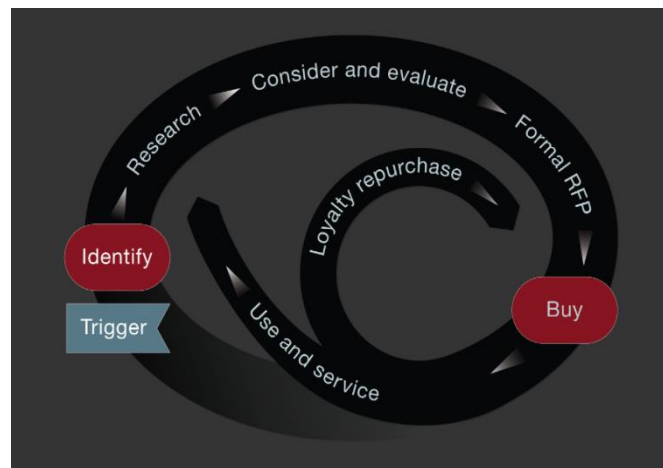


Figure 60 Decision journey (Lingqvist, Lun Plotkin & Stanley, 2015)

Toutes les étapes du parcours d'achat type d'un acheteur industriel (Figure 60) sont examinées ci-dessous. Ces dernières permettent de comprendre l'ensemble de ses attentes et ses besoins. L'essentiel pour capter l'attention de notre cible professionnelle est de rentrer en contact avec lui à plusieurs moments distincts (de son *consumer decision journey*) (Edelman & Singer, 2015). Les outils que ROS développe ou utilise pour atteindre l'acheteur potentiel à chaque étape, sont identifiés dans les sections suivantes. Quant aux moyens de communication, ils sont développés en profondeur dans la section 3.4 du présent chapitre.

2.1. Identification

Cette première étape consiste à identifier le moment où un acheteur potentiel repère des technologies de recyclage des eaux usées industrielles. Cette phase est le premier point de contact avec les clients potentiels. ROS doit réussir à capter l'attention de l'acheteur potentiel à ce moment précis et essayer de le sensibiliser. Pour ce faire, nous avons pour but de créer un site internet : www.recycleyourownsalts.com ainsi qu'une page LinkedIn. Notre équipe sera aussi présente lors de salons professionnels et participera à des conférences en relation avec la RSE. Enfin, ROS sera recommandé par des personnes externes, tels qu'un consultant en énergie.

2.2. Research

Une fois plusieurs fournisseurs identifiés, l'acheteur potentiel entame un premier processus d'investigation via internet ou en contactant ses paires. L'acheteur industriel fait des recherches précises sur ce qu'il souhaite acquérir. En effet, il amasse des ressources ainsi que des preuves

d'efficacité sur les services qui l'intéressent. Contrairement au consommateur classique, principalement préoccupé par la marque et par l'avis de son entourage, l'acheteur "professionnel" est beaucoup plus méticuleux. Il suit une longue procédure d'achat, considérée de plus standard. En général, celle-ci est imposée par la firme même (Lingqvist et al., 2015).

Outre les sites internet et les contacts, il y a également le *peer-to-peer network* à prendre en compte. Ce dernier influence de plus en plus la décision d'achat du client (Lingqvist et al., 2015).

Il est prouvé que le consommateur (dans une relation *BtoB*) entre en contact avec le service après-vente seulement lorsqu'il a déjà atteint un seuil de 70 % à 90% de sa décision d'achat, cela signifie qu'avant même d'avoir contacté directement la société, le futur acheteur a déjà validé 70% de sa décision d'achat. Les acheteurs évitent les responsables de vente jusqu'à ce qu'ils soient sûrs d'avoir récolté assez d'informations et d'avis professionnels de personnes extérieures pour les confronter directement (Well planned, 2015).

Les appels et les e-mails émis par les fournisseurs de services dans le but d'attirer l'attention du client sont à éviter. Ils ne font que renforcer l'*apriori* négatif perçu par un acheteur potentiel. Il est donc important de laisser à disposition du client des informations faciles d'accès, claires et utiles. Une stratégie marketing *Inbound* est préférable : pousser le client à venir vers nous au lieu d'aller le chercher.

Pour garantir la visibilité du site internet *ROS*, il convient de mettre une stratégie SEO (*Search Engine Optimization*) en place, c'est-à-dire, d'optimiser notre positionnement dans les moteurs de recherche. Pour ce faire, il faut comprendre comment les algorithmes de *Google* fonctionnent. Une fois maîtrisés, le résultat obtenu est que le site internet de *ROS* apparaîtra en premier lors de la recherche de mots clés tels que, recyclage, valorisation, sels, eaux usées, sulfate de sodium ou nitrate de potassium par les futurs clients (Clarke, 2017). Guarana (2014), précise qu'il est important de vérifier et renforcer son référencement mensuellement. Nous favorisons le SEO à la SEA (*Search Engine Advertising*) car cette stratégie a un impact, même si moins rapide, plus important sur le long terme. Le SEO coûte également moins cher. Trois principes guident les algorithmes de *Google* : la confiance du site, la force du site comparé aux concurrents et la pertinence contextuelle. Ces trois facteurs influencent les facteurs décisionnels pour l'ordre de présentation dans les moteurs de recherche. C'est donc sur base de ces derniers que le SEO se référence. Au-delà de ça, il y a d'autres facteurs décisionnels à manipuler pour renforcer son SEO (Clarke, 2017). Par exemple, l'utilisation de la démarche

Blacklink. Celle-ci consiste à obtenir le lien de notre site internet sur un maximum de sites internet en lien avec l'environnement et la gestion durable. Cette méthode permet d'augmenter le trafic sur le site *ROS* et de favoriser le classement dans les résultats *Google*. Elle est vue par *Google* comme une attestation de qualité du site. Si nous étendons notre stratégie, il est prévu de combiner les deux systèmes (SEO et SEA) en utilisant *Google Adwords*. Ce programme permet de diffuser des annonces directement liées aux mots clés encodés dans *Google* au moment fatidique de la recherche du client potentiel sur *Google*.

Selon l'agence *Guarana*, spécialiste en *inbound marketing* (2014), l'art de ces méthodes réside dans le choix des mots clés devant parfaitement correspondre à notre cible. Le site <https://fr.semrush.com> aide à identifier les mots clés habituellement utilisés. Si ceux-ci forment la combinaison gagnante, la cible est touchée au moment le plus propice.

Une vidéo *buzz* sur le projet prototype (*Solvay*) de *ROS* renvoyant au site internet est également prévue.

2.3. Consider and Evaluate

Dans cette troisième phase, le futur acheteur se concentre sur les fonctionnalités du service, sur la technologie propre, ainsi que sur les coûts supplémentaires engendrés par les coûts de transfert.

Le client *BtoB* souhaite augmenter son pouvoir et avoir accès à des informations en ligne en permanence. Ceci signifie qu'il apprécie les sites internet où l'interaction est possible, rendant alors l'information facilement accessible (Lingqvist et al., 2015).

Lors de notre analyse de la concurrence, nous avons pu remarquer que même si de nombreuses informations sont disponibles en matière de qualité des services, de description des technologies et de la consommation énergétique, il était compliqué d'obtenir les coûts. Ceci ne laisse aucune liberté de comparaison aux clients. Ayant testé les services clients de nos concurrents, nous pouvons conclure que ceux-ci ne sont pas joignables par mail ou par téléphone. L'information de prix n'est pas ouverte au grand public, elle demande un effort et des démarches compliquées. Pourtant, lors de l'analyse qualitative, il a été souligné que le gain économique était une variable clé de décision d'achat. Dès lors, il est primordial que le potentiel acheteur puisse avoir une idée générale quant à l'investissement nécessaire, aux coûts supplémentaires et au retour sur investissement.

Pour aider le potentiel client à évaluer ces critères, *ROS* offre plusieurs outils :

Les *business cases*

Ceux-ci expliquent les avantages de l'installation du procédé *ROS* dans une entreprise.

La satisfaction de l'entreprise témoin

Cette satisfaction est calculée en matière de qualité, de pureté des sels récupérés, de la qualité du service sur-mesure et enfin, de la bonne intégration du procédé *ROS* au sein d'un processus déjà existant.

La mise à disposition de l'information

Le service *ROS* sera également présent dans des magazines recensant les technologies liées au traitement et au recyclage de l'eau. Pour terminer, le site internet *ROS* est muni d'un onglet simulation permettant au futur client de calculer le coût moyen du service *ROS* pour son usine ainsi que ses gains économiques et environnementaux. Les données encodées par le client pour initier le processus de simulation sont certifiées confidentielles. Cet aspect est plus amplement développé dans le chapitre 13, consacré aux aspects juridiques.

2.4. *Formal RFP (Request For Proposal)*

Les acheteurs potentiels prennent l'habitude d'envoyer des demandes d'offre à différents fournisseurs. En général, celles-ci s'élèvent entre 3 à 6. Ce stratégie augmente l'intensité concurrentielle entre les fournisseurs et affaiblit leur positionnement (Lingqvist et al., 2015). Par ailleurs, les acheteurs professionnels s'attendent, lorsqu'ils souhaitent rentrer en contact avec un responsable de vente, de discuter avec une personne informée quant à leur dossier.

Afin de répondre aux attentes du futur client, dès que *ROS* reçoit une demande de service, un agent commercial (ingénieur) prend contact avec le client par téléphone. Suite à cet entretien ainsi qu'aux données du client récoltées, un agent commercial se rend sur place pour enfin le rencontrer. Le déplacement permet d'identifier les processus de production et de traitement des eaux déjà existants. À chaque interpellation, l'agent doit se renseigner au préalable sur l'entreprise et les employés susceptibles d'influencer la décision d'achat. L'équipe *ROS*, toujours à l'écoute du client, se veut être réactive aux demandes par site internet, par e-mail ou par téléphone. Cette rapidité lui donne un avantage sur ses concurrents et lui permet d'avoir une longueur d'avance pour conclure un contrat.

2.5. *Buy*

L'étape cruciale est l'acte d'achat. Un des problèmes majeurs en *BtoB* est la personne avec qui nous sommes en contact. En effet, le client visé n'est souvent pas le décideur mais simplement le facilitateur de décision. Systématiquement, il doit obtenir l'accord d'achat auprès de son superviseur. Dans certains cas, la décision doit être approuvée par une multitude d'acteurs (Well planned, 2015). Notre service doit donc répondre aux exigences des différentes personnes dotées d'intérêts et de motivations divergents.

Pour comprendre si le service *ROS* est intégrable dans le processus d'évacuation des eaux usées de l'acheteur, plusieurs informations doivent être connues. Malheureusement, celles-ci sont détenues par des acteurs différents de l'entreprise, tels que : le responsable des besoins en matières premières, le responsable des taxes, le chargé de la RSE, l'ingénieur en charge de la gestion du site de production et la personne chargée des décisions d'achats.

Les bénéfices pour chaque partie doivent être clairement énoncés dans le contrat. Monsieur Lacroix (2017), spécialiste du secteur industriel chimique, nous précise que le responsable de HSE (Hygiène Sécurité Environnement) est la personne, dans chaque entreprise, la plus concernée pour notre service.

Nous avons pu constater lors des entretiens avec nos clients potentiels que la confidentialité est un facteur *sine qua non* de leur engagement. Dès lors, avant tout échange d'information, *ROS* s'engage à garder toutes les informations secrètes en signant un contrat de confidentialité. De plus amples informations sont disponibles dans le chapitre consacré aux aspects juridiques. Après quelques négociations concernant le service de symbiose industrielle et de la maintenance, la signature des deux parties sur le contrat d'entreprise et le contrat de service scelle enfin l'acte de vente du service.

2.6. *Loyalty Repurchase & Use and service*

La fidélisation d'un consommateur est essentielle, d'autant plus lorsque des coûts de transfert voient le jour, de par un changement de technologie de recyclage. Sachant cela, l'équipe *ROS* a pour objectif d'entretenir une relation solide avec ses clients. Dans ce but, les services d'après-vente, de maintenance, de symbiose industrielle et de R&D, procurés une fois la vente et l'adaptation de la technologie closes, permettront de construire une relation durable. La durabilité de la relation est capitale. Elle permet d'une part, que le client renouvelle son contrat tous les dix ans. Et, d'autre part, qu'il recommande les bienfaits de *ROS* auprès de ses clients,

partenaires et contacts. Nos futurs clients seront également invités à partager les avantages de la technologie *ROS* sur leur propre site internet, sur les réseaux sociaux, par le bouche à oreille ou encore, lors de conférences axées sur leurs stratégies en matière de développement durable. Mentionner la connexion entre leur entreprise et le service *ROS* ne peut être que positif pour leur image et leur RSE. Les clients ont aussi la possibilité de partager leurs avis, remarques et recommandations d'amélioration via une enquête annuelle.

L'équipe *ROS* est joignable pour quelconques questions via e-mail, téléphone ou l'espace personnel sur notre site internet.

3. Les quatre C : le marketing mix

Le marketing mix de *ROS* est décrit à travers les quatre C : valeur Client - Coût et politique de prix - Commodités - Communication.

3.1. Valeur Client

Le consommateur n'est pas en quête d'un produit, il recherche des solutions à son problème.

3.1.1. Besoins du client *ROS*

Les problèmes auxquels nos clients visés font face sont : le durcissement des législations en matière de rejet de déchets dans la nature et de pollution, le prix de l'unité UCP (Unité de Charge Polluante) en hausse, le CO₂ en constante augmentation, l'avènement de la RSE, la raréfaction des matières premières, les difficultés à gérer les déchets et les ressources, et pour terminer, l'éco-responsabilité.

Le client ciblé est en quête d'un moyen complémentaire de traitement de ses eaux usées industrielles, plus précisément, d'un recyclage des sels. Le client visé saisi également l'opportunité de valoriser ses propres sels, c'est-à-dire, de les réutiliser en tant que matière première. Il peut également les commercialiser sur le marché belge. Enfin, les usines demandeuses de sels, ont l'opportunité d'en acquérir localement.

Grâce à l'analyse qualitative, nous avons découvert quels critères sont indispensables aux yeux du marché cible. Ces derniers comprennent :

- l'avantage économique du procédé, le retour sur investissement (discuté dans le point 3.2.5) ;
- la pureté et la qualité des cristaux obtenus ;

- une faible consommation énergétique (critère que malheureusement, nous ne respectons plus étant donné l'énergie requise par les technologies supplémentaires nécessaires au bon fonctionnement et au respect des valeurs de *ROS*, voir chapitre 11 : Plan de production) ;
- l'obtention des sels anhydres (sans molécules d'eau autour du sel) ;
- le diagnostic individuel des eaux usées ;
- la flexibilité des endroits d'installation de la technologie au sein d'un processus de recyclage déjà existant ;
- la résistance des membranes aux acides ;
- l'offre d'un système complet de valorisation des sels (filtration nécessaire et pompes électriques adaptées).

Chaque client potentiel contacté s'avérait être intrigué par notre idée d'entreprise et ce pour cinq raisons : la nouvelle application donnée à la membrane, l'amélioration de l'image d'entreprise, la gestion des déchets, la transformation de ceux-ci en de nouvelles ressources et pour finir, la possibilité de diminuer les taxes annuelles.

3.1.2. Services de *ROS*

L'entreprise *ROS* propose un procédé de valorisation des sels des effluents industriels. À cela s'ajoute un service de maintenance et de R&D, ainsi qu'un service de symbiose industrielle. Ce dernier permet aux industriels de commercialiser ou d'acquérir des sels belges, extraits et cristallisés des eaux usées industrielles locales. Le service *ROS* se commercialise sous forme de deux contrats : un contrat d'entreprise et un contrat annuel de services doté de clauses adaptées à chaque client.

Le premier contrat donne accès à la vente de la technologie, le service d'adaptation de la membrane et l'installation du processus. Après une demande d'achat formelle, l'équipe *ROS* analyse la composition des effluents du client, son processus de production et son système de traitement des eaux usées déjà instauré. Suite à ces premières investigations, *ROS* détermine si le procédé *ROS* convient au client. Ensuite, la quantité de sel utilisée annuellement par l'usine est également examinée. À cela s'ajoute une étude de la forme des cristaux requis, en d'autres mots, si les sels doivent être anhydres ou décahydratés (le premier type, est un sel pur, c'est-à-dire, sans molécules d'eau et le deuxième type, est un sel entouré de molécules d'eau), ou encore autres formes hydratées selon la nature du sel. Après cette enquête, la surface membranaire nécessaire pour traiter le flux des effluents, ainsi que le reste du matériel est

évalué, commandé et réceptionné dans l'entrepôt de ROS. Notre entreprise, est ensuite chargée de la livraison, de l'installation et du démarrage.

Le processus d'adaptation des membranes s'opère alors avec notre équipe d'ingénieurs. Le chapitre sur les ressources humaines (Chapitre 14) met en exergue de plus amples explications. Une fois les membranes prêtes et adaptées correctement, elles sont transportées chez le client. Une équipe (issue d'une autre entreprise) d'ingénieurs-mécaniciens installe le procédé sur le site de production du client. Cette même équipe forme les ouvriers locaux en vue de les habituer aux processus (de pouvoir le surveiller et le nettoyer) et de les préparer à pouvoir intervenir en cas de problème mineur. Les employés de l'entreprise cliente seront ensuite chargés de la surveillance générale et du nettoyage quotidien des membranes.

Le client profite donc d'un service sur-mesure qui augmente l'optimalité du processus. Le contrat d'entreprise est payé une seule fois lorsque le processus est installé et fonctionnel.

Le deuxième contrat, contrat de service avec clauses, comprend le service de maintenance et la R&D, ainsi que le service de symbiose industrielle.

L'équipe ROS s'engage à contrôler les performances de l'installation ainsi qu'à mettre les données à disposition du client. Un espace personnel à chaque client sera donc réservé sur le site internet. Celui-ci leur permettra d'évaluer leurs statistiques mensuelles quant aux sels récupérés, utilisés et vendus. Par ailleurs, ce site internet permet de connaître leurs gains en taxes ainsi que la diminution de leurs externalités négatives sur l'environnement. Ces informations pourront ensuite être communiquées au grand public, améliorant ainsi leur image. Un service de maintenance est joignable 24h sur 24 en cas de problème technique. Une révision et un nettoyage annuels sont également prévus pour anticiper tout problème technique. Tous les 5 ans, une recherche sur l'optimisation du processus est prévue. Ce dernier service permet aux clients d'éviter toute responsabilité supplémentaire (excepté la surveillance générale et le nettoyage quotidien à l'eau pure) engrangée par l'implémentation de la technologie ROS, de profiter d'un processus efficace et optimal, de pouvoir contrôler les résultats facilement et pour finir, d'assurer la qualité des sels obtenus.

L'équipe ROS s'occupe également de commercialiser les sels qu'une usine valorise et dont elle souhaite se débarrasser. Grâce à nous, ces sels vont être une source de revenu, plutôt qu'une charge financière (taxes). Le service proposé comprend la promotion, le conditionnement, le transport et la vente de ces sels, le tout à des prix compétitifs. Le conditionnement et le transport sont pris en charge par une entreprise de transport que nous sous-traitons. Concrètement, des

camions viennent chercher des sels recyclés (plus au moins 25 tonnes de sels par camion) et s'occupent ensuite de les livrer chez les divers acheteurs. Cette même entreprise de transport se charge de la distribution en fonction des commandes. Notre entreprise transmet les commandes, c'est-à-dire, les quantités achetées par entreprise. Nous communiquons également les adresses exactes des diverses usines ainsi que les heures de rendez-vous convenues.

Dans un souci d'écologie, *ROS* s'engage à réduire les trajets des camions, et donc d'éviter des émissions de CO₂ inutiles. Pour ce faire, nous nous engageons à trouver un acheteur de sels à proximité d'un vendeur de sels. Opérer dans des zonings industriels semble être la stratégie la plus pertinente.

La fréquence du transport des sels diffère d'une entreprise à une autre. Celle-ci dépendra de la concentration des effluents, du nombre de sels cristallisés, du réservoir choisi en fonction de la place disponible sur le site industriel du client ainsi que de la quantité qu'une firme souhaite garder pour sa propre consommation. Par exemple, pour le projet prototype, il est prévu de passer tous les 19 jours et d'échanger le réservoir rempli contre un autre vide. Ce qui équivaut à passer 19 fois par an.

Les avantages de la symbiose industrielle sont très nombreux. Premièrement, le client ne se fait pas imposer sur ses effluents. Deuxièmement, il les valorise en de nouvelles matières premières. Troisièmement, les usines s'inscrivent dans une économie locale et collaborative, permettant à d'autres acteurs de ne pas commander des sels de Russie ou de Chine et donc de réduire leurs coûts d'importation et empreinte environnementale ainsi que d'améliorer leur image. Cinquièmement, la symbiose industrielle répond au besoin d'arrêter l'extraction des ressources naturelles en voie d'extinction.

En réalité, une économie locale et collaborative permet, à la fois aux usines vendeuses de sels recyclés qu'aux usines acheteuses de sels recyclés, d'acquérir une meilleure image. L'usine vendeuse de sels, bénéficie également d'une source de revenu supplémentaire (le bénéfice de la vente des sels est réparti comme suit : 50% du profit pour l'usine en question, 50% du profit pour *ROS*). En outre, si les usines en question ont besoin de sels autres que ceux présents dans leurs effluents, elles peuvent s'en procurer auprès d'autres usines. Il est à préciser que les sels non revendus, et donc utilisés par le client même sont « gratuits pour le client ». *ROS* ne prend donc aucune marge dessus.

C'est ce service de symbiose industrielle qui démarque *ROS* de la concurrence. Il justifie également notre service complet autour d'un seul type de déchet : le sel.

3.2. Coûts et politique de prix

Le client n'est pas intéressé par le prix d'achat de la technologie mais plutôt par les coûts totaux. Il est donc nécessaire de prendre en compte tous les coûts, même ceux indépendants du procédé ROS, tels que les coûts de transfert.

Les coûts varient d'une entreprise à l'autre, rendant une évaluation globale des dépenses compliquée. Comme l'adaptation de la technologie dépendra de chaque entreprise, le prix sera différent à chaque fois. En effet, certaines entreprises ont un débit des eaux usées élevé, tandis que d'autres un débit plus faible. Par ailleurs, la concentration des sels varie selon le type d'industrie. Dans un cas, la composition des effluents peut être complexe, dans un autre, elle peut être simple. Tout ceci amène à une variation des coûts. Par manque d'informations concrètes reçues de la part des clients potentiels, nous n'avons pu évaluer les coûts pour divers types d'eau usée. Seule l'entreprise *Solvay* a eu la générosité de nous communiquer les données génériques du marché. C'est donc sur base de ces informations fournies que nous avons décidé d'évaluer le plan financier. Dans ce chapitre nous avons évalué les coûts pour deux débits : $1\text{m}^3/\text{h}$ et $20\text{m}^3/\text{h}$.

Dans l'optique d'obtenir une évaluation des coûts totaux pour le client, nous allons d'abord expliquer la politique de prix de ROS, pour ensuite survoler les autres coûts générés par l'acquisition du procédé.

La détermination du prix doit respecter une cohérence interne et externe. Pour assigner un prix de vente à la technologie ROS et à ses services, il convient de prendre en compte les coûts d'investissement, la contrainte de rentabilité (qui ne pourra malheureusement pas être respectée étant donné la non-maturité du marché des membranes, voir chapitre 15), la sensibilité des clients aux prix et pour finir, les prix des services concurrents (Lambin & de Moerloose, 2012). Nous savons déjà que nous sommes plus chers que la concurrence à cause des investissements conséquents pour les membranes. C'est d'ailleurs pour cela que dans le chapitre 10 nous avons décidé d'adopter une stratégie de sophistication avec surprix.

Comme stipulé dans le chapitre précédent consacré au plan de production, nous avons pour objectif de lancer deux types de procédés ROS. Un premier appelé *prototype Solvay* : il s'agit d'un procédé ROS traitant un débit d'eau usée industrielle de $1\text{m}^3/\text{h}$. Un deuxième, toujours basé sur les données de *Solvay*, mais étant adapté à un débit de $20\text{m}^3/\text{h}$. Bien que nous ayons conscience qu'un tel procédé varie d'une industrie à l'autre, nous avons décidé de nous baser sur ces deux cas pour être capable de créer une hypothèse de prix.

À travers la politique de prix et l'étude des coûts, nous tenterons d'expliquer la structure de ceux-ci pour un client type. Comme précisé précédemment, des business cases seront mis à disposition sur notre site internet donnant ainsi une estimation de prix pour des clients potentiels. Bien que les coûts d'installation finaux puissent varier d'un type d'eau usée à un autre, la structure des coûts variables et fixes reste la même. En effet, hormis la surface membranaire nécessaire et les divergences des services nécessaires, les coûts sont identiques.

Ainsi, nous poserons deux hypothèses de prix selon les informations fournies par *Solvay*. Un premier, pour le prototype traitant $1\text{m}^3/\text{h}$. Un deuxième, pour un procédé à échelle industrielle (un débit de $20\text{m}^3/\text{h}$). Les deux hypothèses de prix sont réalisées sur base de données identiques fournies, à savoir, la concentration des sels, la composition des effluents ainsi que les types de sels à cristalliser. Grâce à ces deux estimations de prix, un client potentiel se rendant sur notre site internet peut avoir une idée de prix entre une fourchette de $1\text{m}^3/\text{h}$ et $20\text{m}^3/\text{h}$ à traiter.

Chacun des coûts fixes et variables est plus amplement développé dans le plan financier. La suite du présent chapitre permet d'avoir une vue d'ensemble de la stratégie de prix choisie.

Pour rappel, le service *ROS* se commercialise sous forme de deux contrats : un contrat d'entreprise et un contrat annuel de services doté de clauses adaptées à chaque client. Le premier contrat stipule que la technologie, son adaptation et son installation doivent être payés endéans un mois, une fois celle-ci installée et fonctionnelle dans l'usine du client. Le deuxième, d'une durée de 10 ans (excepté pour le cas *Solvay* 1m^3), établit le prix annuel du service de maintenance, de R&D et de la symbiose industrielle. Ce contrat démarre une fois le processus *ROS* fonctionnel.

Notre but ultime est d'atteindre une capacité de traitement d'un débit de $20\text{m}^3/\text{h}$. Ce volume a été choisi sur base de l'analyse qualitative.

Les explications suivantes sont donc basées sur la technologie *ROS* pour ce débit précis et sur les données transmises par *Solvay*.

3.2.1. Analyse des coûts

Pour chaque client, nous calculons le prix des deux contrats, celui d'entreprise (vente et installation de la technologie) et celui de services (maintenance, R&D et service de symbiose industrielle). Le premier est à payer une unique fois, tandis que le dernier est à payer annuellement.

La méthodologie pour chaque contrat est la suivante :

- Calculer le prix plancher. Celui-ci est composé des matières premières, des salaires directs et des frais marketing directs, tout ceci constitue les coûts directs (Lambin & de Moerloose, 2012).
- Ensuite, calculer le prix de revient complet (prix technique), il comprend le prix plancher et les frais fixes divisés par la quantité de clients (Lambin & de Moerloose, 2012)
- Finalement, le prix imposé au client, communément appelé prix de vente, équivaut au prix technique couplé d'une marge de 10 %. Ce taux est choisi selon la stratégie de sophistication avec surprise.

Par exemple, pour les clients de l'année 2020, période où nous faisons l'hypothèse que six clients seront dotés d'un procédé de 20 m³/h, la politique se présente comme suit :

Pour le contrat d'entreprise (la première année) :

- Les coûts directs s'élèvent **232.127.191 €**. Les membranes représentent 79 % des coûts directs (183.836.160€).
- Le prix technique n'est pas pris en compte dans le prix de la vente de la technologie, les frais fixes seront uniquement intégrés au contrat de service avec clauses qui est réglé annuellement durant dix ans.
- Le client doit donc investir 255.339.910 € pour acquérir et installer le system ROS dans son usine.

Pour le contrat annuel de services :

- Les coûts directs s'élèvent à 162.013 €
- Prix technique correspond à 189.910 € (162. 013 + 251. 072/9).
- Ainsi, le client doit payer une somme annuelle de 208.901€ en guise d'entretien de son système ROS.

3.2.2. Prix sous l'angle de la demande

D'un point de vue général, la demande *BtoB* est généralement inélastique, c'est-à-dire, que les fluctuations de prix affectent moins les décisions que les clients *C* dans une relation en *BtoC*. ROS vise particulièrement les gros acteurs du monde de l'industrie chimique, dotés des moyens financiers suffisants pour investir dans des stratégies liées à l'environnement. Néanmoins, le retour sur investissement étant l'un des critères principaux de décision d'achats, il convient de s'assurer que les gains économiques, environnementaux et en matière d'image soient justifiés.

3.2.3. Stratégie de prix sur-mesure

Il est important de préciser que le procédé *ROS* et ses services, tout comme celui des autres concurrents, est fait sur-mesure pour chaque client, justifiant un prix élevé. Ce dernier varie de client en client et dépend de nombreuses variables telles que : le débit des effluents, la concentration de ceux-ci, le processus de production et de traitement des effluents déjà mis en place et le nombre de sorties de l'effluent à traiter présentes sur le site. Le prix doit également être en lien avec notre positionnement : un service complet et de qualité de gestion des sels.

3.2.4. Prix sous l'angle de la concurrence

Le marché du recyclage des sels n'étant pas saturé, il n'est pas nécessaire d'entamer une guerre en matière de parts de marché. Comme stipulé précédemment, les prix des concurrents ne sont pas disponibles au grand public. Ce n'est qu'une estimation de la part de *France évaporation* et de *Degrémont industry* que nous avons réussi à obtenir : pour un débit de 30m³/h à 50m³/h, l'entreprise charge 10 millions d'euros, étalé sur 10 ans. Nous ne savons pas si ce prix concerne uniquement la location de la technologie ou s'il englobe les services d'installation et de maintenance.

Ayant au minimum un coût 18 fois plus élevé que celui de la concurrence, nous devons conclure que d'une part, notre procédé n'est pas compétitif en termes de prix et d'autre part, qu'il n'est pas possible de respecter ce qu'on appelle la limite du prix plafond. Cette dernière implique qu'un nouvel entrant sur un marché doit adopter un prix plus petit que celui déjà présent sur le marché (Lambin & de Moerloose, 2012). Avec la marge que *ROS* s'octroie (10%), le prix du contrat d'entreprise de *ROS* est de 245.339.310 euros plus élevé que le prix des concurrents (222.127.191 € sans marge).

3.2.5. Coûts internes supportés par le client

Les coûts supplémentaires à charge des clients sont relativement restreints.

Espace occupé

Il y a une perte en termes de place sur le site industriel. Pour l'instant et suivant les données présentées dans le chapitre plan de production, le volume minimum requis pour un processus *ROS* de 20 m³/h se situe aux alentours de 8.235.3m³. Précisons que ce volume comprend uniquement les membranes, le concentrateur et les réserves. En effet, les espaces occupés par le système de filtration et les membranes ainsi que les matériaux complémentaires aux membranes, correspondant à une surface de 5.646m² ne sont pas pris en considération. Dès

lors, nous nous situons bien loin de l'espace occupé par les technologies de nos concurrents, qui, pour rappel, se trouve aux alentours de 36m² au sol.

Un employé supplémentaire et système de gestion des ressources

La synchronisation du système de gestion des ressources, des fournisseurs et des sels cristallisés est à considérer. Parallèlement, il y a le recrutement d'un employé supplémentaire. Ce dernier est chargé de la surveillance du processus de recyclage des sels ainsi que du nettoyage régulier du filtre et des membranes (hebdomadaire pour le filtre et quotidien pour les membranes).

Modification du traitement des eaux

Le troisième élément à analyser est la modification éventuelle du processus de traitement des eaux déjà existant.

Au bout de 10 ans d'utilisation, les membranes achetées sont à remplacer. Il faut alors s'en débarrasser. Ceci constitue une quatrième charge. À notre avantage, les membranes utilisées sont formées de polymères qui sont recyclables (Duesberg, 2017). Dès lors, il est possible de recréer une nouvelle membrane à partir des anciennes. Il convient cependant de préciser que le type de polymère diffère selon l'intérieur de la membrane et de l'extérieur. Nous souhaitons explorer cette piste pour créer un éventuel partenariat avec une entreprise de recyclage des polymères thermoplastiques. Cette hypothèse n'est pas encore validée.

Pour terminer, l'électricité nécessaire au fonctionnement du processus *ROS* est un dernier coût supplémentaire à charge des clients. Ayant besoin de 6.653,9kWh d'électricité pour traiter 20m³ d'effluent par heure et sachant que le prix standard par kWh, TVA comprise est de 0,238 euros (Commission Wallonne Pour l'Energie (CWaPE), 2017), c'est un coût de 1.584 euros d'électricité par heure qui est à prendre en compte pour permettre au processus de tourner à plein régime (6653,9 X 0,238 euros). Étant donné que nous supposons que le système de production de nos clients fonctionne 24h sur 24h, le montant dépensé quotidiennement s'élève à 38.016 euros.

Cette consommation exorbitante est due, comme expliqué dans le chapitre plan de production, aux concentrateurs de la solution osmotique (ECOSTILL). Nous avons été obligées de rajouter cette étape au processus *ROS* pour être en cohérence avec notre mission, qui est de réduire le rejet de déchets dans la nature. Nous réalisons que ce n'est pas la solution optimale et sommes dès lors à la recherche d'une piste alternative.

Il s'avère néanmoins que le recours à des concentrateurs est la seule solution pour le moment. Ceux-ci représentent 97 % de la consommation d'électricité nécessaire tandis que le filtre pour capter les particules de sables présentes dans les effluents de *Solvay* représente environ 3% de l'électricité totale. Ce qui confirme bien notre hypothèse de départ : **notre technologie membranaire au coeur du processus de recyclage ne consomme presque rien**. Seul 3 kWh sont consommés par les pompes pour traiter un débit de 20m³/h. Malheureusement d'un point de vue technique, des technologies supplémentaires et énergivores doivent être ajoutées.

En conclusion, nous pouvons comparer l'énergie nécessaire pour le processus *ROS* avec celle de la concurrence. Le processus *ROS*, comme dessiné pour le projet prototype, utilise 324 kWh par m³ d'effluent traité, or sachant que la concurrence la plus énergivore consomme 70 à 120 kWh par m³ (*TMW*), nous devons conclure que nous **ne sommes pas compétitifs**.

3.2.6. Retour sur investissement du client potentiel

Voici le tableau récapitulatif des coûts supportés par notre client chaque année pour implémenter le processus *ROS* en vue de traiter un débit de 20 m³/h ainsi que les gains générés par celui-ci. Le coût initial, autrement dit, le contrat d'entreprise, n'est pas pris en compte, car celui-ci n'est pas une dépense annuelle. Ce contrat d'entreprise s'élève à 255.339.910 €, il doit être payé la première année.

Malheureusement, nos calculs ne sont pas précis car certains gains ne sont pas mesurables économiquement. Nous faisons ici référence à l'amélioration de l'image et de la RSE, au coût de la synchronisation du système de gestion des ressources du client ainsi qu'à la place occupée sur le site. Par ailleurs, les informations sur les taxes étant confidentielles, nous ne pouvons évaluer les gains économiques acquis sur les taxes, une fois l'assainissement des eaux effectuées par notre procédé *ROS*.

Coûts supportés par le client annuellement	€	Gains perçus par le client	€
Contrat annuel de service	208.901€	Gain annuel sur vente des sels ou utilisation de ceux-ci en interne	5.100.237, 5 €
Électricité nécessaire annuellement	13.875.840 €	Réduction des taxes	?
Salaire annuel d'un employé ouvrier	19.500€	Amélioration de l'image	?
Place occupée sur le site de l'usine	?	RSE	?
Synchronisation du système de gestion des ressources	?		

Modification éventuel du processus de traitement des effluents existant	?		
TOTAL	14. 104.241 €		5.100.237, 5 €

Pour obtenir le salaire annuel de l'employeur nous avons calculé un salaire brut de 1.500 euros avec un 13^{ème} mois compté. Concernant le montant annuel dépensé pour l'électricité, nous avons multiplié la consommation journalière de 38.016 euros par 365.

À travers ce calcul, nous pouvons affirmer que le service *ROS* ne respecte **pas** le critère principal de décision d'achat des clients, à savoir l'éventuel retour sur investissement.

Au minimum, les gains annuels sur les taxes et l'image devraient s'élever à 9.004.003,5 euros par an (différence entre les coûts et les gains annuels : 14.104.241 € - 5.100.237, 5 €) en vue de compenser les coûts annuels du service. Précisons que ceci ne viendrait que rembourser les charges annuelles (que nous avons su calculer) sans couvrir l'investissement initial élevé à 255.339.910 euros (le contrat d'entreprise). Pour pouvoir compenser ce coût et atteindre un retour sur investissement, il faudrait que les gains annuels s'élèvent à 34.537.994,5 euros ((255.339.910 € / 10) + 9.004.004). Ceci signifie donc, que le procédé *ROS* devrait permettre une économie annuelle de 29.437.757 euros par an pour être rentable. Nous ne disposons pas des données concernant le gain économique généré par la réduction des taxes et de l'amélioration de l'image mais il nous paraît peu probable que celui-ci s'élève chaque année à 29.437.757 euros. *ROS* ne remplit donc pas un critère essentiel aux yeux du client : le retour sur investissement.

3.3. Commodité

Comme cité dans *le consumer journey*, lorsque le client souhaite entrer en contact avec un membre de *ROS*, il s'attend à pouvoir le contacter facilement et à avoir affaire à un service professionnel et de qualité. En tenant compte de cela, *ROS* a choisi d'opter pour une distribution directe.

Ce choix implique que le service *ROS* est uniquement accessible, dans un premier temps, en passant au siège social de *ROS* en Région wallonne. Durant les deux premières années d'activités, ce siège se situera dans l'ancien bureau d'architecture de M. Havenne. À partir de l'année 2019, nous louerons un entrepôt constituant le nouveau siège social et lieu de référence. Ceci implique qu'il n'y a aucun intermédiaire prenant le titre de propriété entre le client final et *ROS* (Lambin & de Moerloose, 2012).

Ce choix de distribution directe se justifie par 8 autres facteurs : la concentration des clients (2 clients par an pour l'année 2019, puis 6 clients par an à partir de 2020), la décision d'achat du procédé *ROS* par un client potentiel (le coût de contact est donc facilement amorti), le nombre de membranes nécessaire pour un client estimé élevé, le service sur-mesure et en phase de lancement, la valeur du service élevée (le consommateur souhaite avoir un contact directe), le besoin de *ROS* d'avoir un contrôle sévère sur chaque service et finalement, l'engagement de *ROS* à fournir un service complet (Kervyn, 2014).

Le client peut facilement entrer en contact avec l'équipe *ROS* via le site internet, par mail ou par voie téléphonique. Il n'y a pas de magasin *ROS*. Lorsque l'intérêt du client pour notre entreprise est sérieux et que des premières données ont été fournies, un agent se déplace jusqu'au client. Il peut bien évidemment, s'il le souhaite, se rendre dans les bureaux de *ROS*.

3.4. Communication

Le client *BtoB* n'est pas intéressé par la promotion du produit, mais par l'obtention des informations tangibles sur celui-ci. Il souhaite également se sentir écouté. Il est essentiel de construire une relation bilatérale en vue de faire de notre clientèle un partenaire permettant une amélioration de notre produit.

ROS, opérant en *BtotB*, développe une stratégie de communication double : informer directement les entreprises potentiellement intéressées via des agents commerciaux ainsi que toucher leur cible indirectement via un site internet informatif et une page LinkedIn.

Le mélange entre les moyens de communication traditionnels et les outils digitaux est important, plus particulièrement dans le cas du *BtoB* (Schuiling, 2015). En accord avec le chapitre sur l'analyse externe de l'environnement, *ROS* souhaite également mener une campagne de déstabilisation des consommateurs finaux des entreprises clientes.

Finalement, *ROS* a également établi des partenariats avec des fédérations, des entreprises de consultance en énergie et des organisations considérées comme des ambassadrices de notre entreprise. Le but ultime est que ces partenaires recommandent le service *ROS*.

3.4.1. Communication directe.

L'entreprise *ROS* souhaite toucher sa cible de plusieurs manières différentes. La stratégie s'organise comme suit :

Les salons professionnels

En participant à des salons professionnels liés au développement durable des entreprises ou encore, au traitement des eaux usées industrielles. Nous avons repéré 81 salons en Europe spécialisés en matière de gestion et de traitement des eaux (Eventseye, 2017). ROS a sélectionné les salons professionnels où sa présence serait la plus pertinente. Dans un premier temps, au Benelux, les salons visés sont : Aquatech amsterdam, il s'agit d'un salon portant sur les technologies d'optimisation et de gestion de l'eau (Eventseye, 2017). Dans un deuxième temps en Europe. Les salons auxquels nous avons pensé sont : World efficiency, Ifat, Pollutec et Waste meetings. Le premier présente des solutions pour préserver les ressources (Reed Expositions France, 2017). Le deuxième est axé sur le traitement de l'eau et des déchets (IFAT, 2017). Le salon Pollutec rassemble les technologies avec un gain environnemental et économique (Eventseye, 2017) et finalement, le dernier s'articule autour de la gestion des déchets d'une manière plus générale.

Les conférences

ROS souhaite donner des conférences conjointement avec ses clients sur la gestion de la RSE et sur la diminution des externalités négatives.

Nos points de contacts

Nous sommes joignables et réactifs rapidement par e-mail information@ROS.com ou par téléphone. Nos équipes (commerciaux et ingénieurs spécialisés) se rendent également sur place pour proposer un devis.

3.4.2. Communication indirecte

Le site www.recycleyourownsalts.com est le moyen le plus facile pour un acheteur potentiel de rechercher des informations utiles sur les services et la société ROS. C'est également un interface qui facilite la communication entre les clients et nos équipes. Le site internet est intuitif, il est construit de manière à pouvoir retrouver l'information ciblée par le chercheur le plus rapidement possible. Concrètement, 7 onglets sont accessibles. Ils se présentent comme suit :

- 1) Donne accès à la description des services, l'histoire de l'entreprise, son équipe ainsi que ses valeurs, sa vision et sa mission. Une vidéo est également mise à disposition, expliquant clairement les trois services de ROS.
- 2) Présente des business cases. C'est-à-dire, des exemples d'entreprises clientes où le procédé ROS a été installé. Ces entreprises témoignent de ses bienfaits.

- 3) Explique des divers dangers environnementaux liés aux sels. Cette même page du site internet explique le rôle qu'ont les sels dans les taxes annuelles sur les effluents industriels. Pour finir, une comparaison en matière de prix et de qualité entre des sels recyclés et des sels importés de Chine ou de Russie est transmise.
- 4) Ici, le futur client peut, en encodant certaines données, évaluer les coûts du procédé de ROS, ses services ainsi que ses potentiels gains économiques et environnementaux en cas d'achat.
- 5) Les membranes. Plus précisément, cette page du site internet partage les avancements sur l'optimisation des membranes, leurs caractéristiques (taille, poids, résistance aux acides et énergie requise par mètre cube d'eau) ainsi que la R&D de nos équipes de scientifiques sur l'application de la membrane.
- 6) La commercialisation des sels, c'est-à-dire, que les entreprises souhaitant revendre leurs sels, obtenus grâce au processus de cristallisation ROS, peuvent facilement les mettre en vente. Quant aux entreprises à la quête de sels recyclés, elles peuvent mettre des annonces stipulant qu'elles cherchent un type de sel pour une certaine quantité. Ainsi, naît le principe de matching entre deux usines.
- 7) Contact. Un septième et dernier permet d'envoyer un message à notre entreprise. Cette page présente notre adresse e-mail, un numéro de téléphone, avec les heures de disponibilité ainsi que la localisation exacte de notre siège social. Le chapitre consacré aux aspects juridiques explique que dans un premier temps, le siège social se situera à Mont-Saint-Guibert, dans l'ancien bureau d'architecture de M Havenne. Au bout de deux ans, nous souhaitons déménager vers un entrepôt.

Grâce à un compte et un mot de passe, les clients ont accès à un espace personnel. Sur ce dernier, ils ont accès à diverses informations, telles que des statistiques sur leurs sels recyclés, leurs ventes et/ou achats de sels auprès d'autres usines belges, la taille et la qualité des cristaux obtenus une fois cristallisés et pour finir, leur retour sur investissement (réduction des taxes annuelles, réduction des coûts d'importation en sels et réduction de l'empreinte environnementale). Parallèlement, ce compte permet d'avoir accès en permanence au *monitoring* de leur système. Finalement, c'est aussi un moyen de joindre directement l'équipe ROS en cas de question.

D'un point de vue plus technique, la disponibilité du nom de domaine de notre site internet a été vérifiée via le site <https://domize.com>. La *webdesigneuse* Royez (2017) nous a également conseillé de réserver plusieurs noms de domaine. En effet, les entreprises françaises et

francophones seront, par exemple, plus facilement accessibles si nous possédons des noms de domaine .fr, .be. Bien évidemment, les noms de domaine supplémentaires seront redirigés vers le .com (Royez, 2017).

Selon Well Plannned (2017), spécialiste en vente *BtoB* et en marketing, LinkedIn est le réseau social le plus adapté à la vente 2.0. Le taux de conversion s'élève à 2,74% contre 1% pour Twitter et Facebook. ROS souhaite donc créer une page LinkedIn. Nous utilisons ce réseau social pour de nombreux usages : la promotion du service, le développement de l'image de marque, la création d'une communauté, l'identification des nouvelles tendances du secteur visé et enfin, le partage d'information. Nous utiliserons LinkedIn également pour viser plus spécifiquement toutes les personnes responsables de HSE (responsable chargé de l'Hygiène, la Sécurité et l'Environnement) dans les entreprises cibles. Nous avons choisi d'être actifs uniquement sur un réseau social. Cela nous permet de pouvoir gérer le compte de manière efficiente. Selon Schuiling (2015), être présent sur divers réseaux sociaux peut se traduire en de la négligence et ainsi affaiblir la force de vente.

Nous sommes conscientes de l'intérêt porté par des futurs clients à des informations extérieures. Le client potentiel souhaite pouvoir vérifier si les données communiquées sont véridiques ou non. Dans cette optique ROS va essayer de se faire référencer dans des magazines professionnels spécialisés dans les technologies de recyclage, de traitement des eaux et de stratégie durable. Pour ce faire, l'entreprise ROS est prête à subir des tests nécessaires, des interrogatoires ou encore, à référencer ses clients pour que les experts puissent se faire une opinion. Par exemple, ROS souhaiterait apparaître dans la revue *L'eau, L'industrie et Les nuisances*. Connue et spécialisée dans le domaine de l'eau, cette revue propose chaque mois une information de qualité sur les nouvelles tendances, découvertes et technologies du moment (Editions Johanet, 2017).

3.4.3. Campagne de déstabilisation

ROS souhaite mener une campagne de déstabilisation auprès des consommateurs finaux, de façon à les conscientiser sur l'impact des sels importés de Russie ou de Chine. Une vidéo choc sera partagée sur notre page LinkedIn. Cette vidéo expliquera la durée de vie limitée des ressources naturelles restantes, la quantité de CO₂ émise lors du transport en bateau ainsi que d'autres externalités négatives sur l'environnement. Le but de cette campagne est de sensibiliser la cible de notre clientèle, c'est-à-dire, les clients de nos clients, les poussant alors

à faire pression pour qu'ils cessent d'importer des sels de pays lointains. Cette initiative a aussi pour intention de lever le tabou du recyclage cultivé dans les entreprises (Lacroix, 2017).

3.4.4. Partenariats

La construction de partenariats avec des acteurs actifs dans différents domaines est très importante pour ROS. Nous souhaitons en effet établir des relations de confiance avec les fédérations des secteurs ciblés tels que, ESNCIA et SESIA, avec les entreprises de consultance spécialisées en développement durable telles que, *Ecores* et *BSR* et pour finir, avec nos clients. Toutes ces parties prenantes seront alors considérées comme des “ambassadeurs” des avantages du procédé ROS. Les divers partenariats représentent un avantage pour les deux parties :

D'un côté ROS est recommandé par ses partenaires en étant, notamment, référencé sur leur site (*backlink*). De l'autre, les entreprises de consultance ainsi que les diverses fédérations pourront proposer des pistes de solutions concrètes à leurs membres, permettant de les aider à respecter les normes européennes tout en améliorant leur performance.

Grâce aux partenariats, les clients ROS pourront prouver leur engagement envers la planète ainsi que mettre leur responsabilité sociétale en pratique.

ROS souhaite également améliorer son image en incluant un pionnier entrepreneur du développement durable reconnu parmi ces paires dans ces partenaires. Il serait l'icône représentant la vision de ROS et un repère pour nos futurs clients.

3.5. Tableau récapitulatif

Le **Tableau 34** suivant résume les 4C du positionnement de la cible et de la stratégie de différenciation.

Tableau 34 Résumé des informations (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

Cible	Usines de production du secteur chimique
Positionnement	Optimisation de la gestion des sels
Différenciation	Service complet de qualité axé sur les besoins du client et la gestion du sel

Service	<u>Contrat d'entreprise</u> Vente de la technologie, service d'adaptation de la membrane et d'installation du processus <u>Contrat de services</u> Service de maintenance et R&D Service de symbiose industrielle
Communication	Directe (agents commerciaux, salon, conférences, téléphone, e-mails) et indirecte (www.recycleyourownsalts.com , page LinkedIn, magazines professionnels, partenaires)
Coût	Un contrat d'entreprise à payer une fois la technologie fonctionnelle et un contrat de services à payer annuellement
Commodités	Distribution directe (Website, téléphone, mail)

4. Les indicateurs de performance : les KPIs

Aujourd'hui, toute décision prise dans une entreprise doit être justifiée et contrôlée. Il est important de pouvoir prouver le retour sur investissement des choix opérés par *ROS* vis-à-vis des actionnaires. Les KPIs sont des outils de mesure qui permettent de calculer la performance de la stratégie marketing, une fois mise en place. À chaque étape du *BtoB consumer journey*, il est nécessaire de choisir au moins un index de performance par moyen de communication ainsi que de fixer un objectif précis (Schuiling, 2015). Grâce à ces indicateurs, nous pourrions évaluer si l'angle de stratégie adopté est efficace ou non. Si les résultats obtenus ne remplissent pas les objectifs fixés, nous pouvons modifier et rediriger la stratégie marketing. Tous les mois, le responsable marketing est chargé de vérifier si les objectifs ont été atteints. Si ce n'est pas le cas, il a l'obligation de prendre les décisions nécessaires pour que ces objectifs soient atteints le mois d'après. Le responsable marketing s'engage alors à créer du contenu et à s'attarder sur le SEO et sur la SEA.

Voici les KPIs correspondants aux étapes types du futur client *ROS* et aux moyens de communications choisis :

Étape d'identification

1. Site internet : nombre de visiteurs uniques par mois.
2. LinkedIn : nombre de visites de la page.
3. Présence sur les salons professionnels et participation aux conférences.

4. Partenaires (consultances et fédérations) : nombre de visiteurs sur le site web envoyés par backlink

Étape de recherche

1. Moteur de recherches : nombre de personne ayant recherché ROS sur un moteur de recherche.
2. Site internet : nombre total de visite.
3. Vidéo buzz : nombre de vues sur You tube et de partages sur LinkedIn.

Étape de la considération et de l'évaluation :

1. Site internet : nombre moyen de visites par individu et temps moyen passé sur le site par celui-ci.
2. Simulateur de coûts sur le site web : nombre de personne ayant demandé une simulation de devis : % de visiteurs uniques ayant demandé une simulation de coûts.

Étape de demande formelle :

1. Site internet : taux de conversion en demandes (% des visiteurs du site et soumettant une demande concrète via le site web).
2. E-mails : taux de conversion en demandes (% des entreprises ayant entamé un échange courriel et soumettant une demande concrète via e-mail).
3. Téléphone : taux de conversion en demandes (% des entreprises ayant appelé et soumettant une demande concrète via téléphone).

Étape d'achat

1. Déplacement d'un ingénieur commercial : taux de conversion en contrat (% des entreprises ayant bénéficié d'une visite à domicile).
2. Contrat : nombre de temps moyen nécessaire entre la visite d'un ingénieur commercial et la signature du contrat.
3. Négociation : temps moyen nécessaire à la négociation du contrat.
4. Site internet : taux de conversion en ventes scellées (% de visiteurs uniques du site ayant signé un contrat de service avec ROS).

Étape après-vente et fidélité : Sentiment positif sur la marque ?

1. Partenaires : % de partage par nos clients sur LinkedIn, nombre de contrats signés, nombre de référencés par un partenaire, % des clients ayant référencé notre site internet sur le leur.
2. Enquête de satisfaction : % de clients satisfaits.

3. LinkedIn : taux d'engagement (en fonction du nombre de "j'aime", nombre de commentaires, de partages, du nombre de *followers* et du nombre de clics).

Les objectifs de chacun de ces KPIs seront fixés après notre phase *scale up*.

5. La marque

La marque *ROS* résulte d'un ensemble de signes distinctifs utilisés par l'entreprise pour identifier ses services (Papin, 2015). Celle-ci est essentielle et nécessaire pour le client et représente donc une ressource intangible primordiale pour l'entreprise. Elle a pour fonction de distinguer le service *ROS* de ceux proposés par la concurrence. La marque est un gage de qualité et de sécurité. Elle permet aux clients tout comme aux autres entreprises, d'associer directement celle-ci avec les attributs proposés par *ROS*.

C'est également un moyen de fidéliser la clientèle et de protéger le service d'une éventuelle imitation. Pour le client *BtoB* en particulier, la marque est synonyme de traçabilité et d'attestation de performance commerciale, de production et d'innovation (Lambin & de Moerloose, 2012). Un fournisseur de service avec une marque forte et reconnue diminue le risque éventuel perçu par le client, qualifiant ainsi le fournisseur de d'entreprise fiable.

5.1. Le nom de marque

Un nom de marque ne peut être descriptif, mais distinctif. En d'autres mots, notre marque ne pourrait pas s'appeler *Recycle your own salts* car elle décrirait ce qu'on offre. Par ailleurs, une marque doit être unique, peu importe le secteur d'activité visé.

ROS est un signe distinctif et trouve ses racines dans la phrase : *Recover your Own Salt*. Étant conscientes de l'impossibilité, dû à son caractère descriptif, d'utiliser cette phrase comme marque, nous avons choisis le raccourci *ROS*. Sa prononciation courte, facile et unilingue constitue un atout essentiel. Ces caractéristiques assurent une mémorisation rapide et est à la portée de tout individu indépendamment de la langue qu'il pratique couramment.

5.2. Le slogan

ROS se veut être le partenaire des entreprises qui, grâce à la gestion optimale de leurs sels, les transforme en acteurs positifs pour la planète. Ayant pour stratégie de s'étendre au niveau européen, nous avons choisi un slogan anglophone : "***the dynamic partner, which transforms the enterprises into positive actors***". En effet, la langue principale utilisée dans le monde reste

l'anglais. Ce slogan met en exergue la multitude de bénéfices offerts par ROS à ses clients. Il met également l'accent sur une relation au-delà des préjugés classiques fournisseur-client.

5.3. Le logo

Pour l'instant, le logo ROS n'est qu'un prototype. Nous souhaitons faire appel à une aide extérieure pour construire un logo qui représente parfaitement l'identité de ROS, peut-être un étudiant en infographie pour éviter des coûts supplémentaires. Néanmoins, ciblant les clients *BtoB*, il nous semble primordial de rester sur un style simple et épuré.



6. Les aspects juridiques liés au marketing

De plus amples informations relatives aux aspects juridiques de la société ROS sont présentés dans le chapitre suivant. Ici, seuls les aspects liés au marketing sont retenus.

Concrètement, pour pouvoir utiliser notre marque, nous devons dans un premier temps enregistrer les signes associés à celle-ci dans les catégories de service choisies. En concordance avec les désirs d'expansion de la société ROS, nous avons décidé de déposer une marque communautaire. L'enregistrement de la marque individuelle dans ce registre alloue une protection dans tous les États membres de l'Union européenne (SPF Economie, P.M.E. Classes moyennes et Energie, 2013). Pour que la demande soit validée, la marque doit faire l'objet d'un usage sérieux: *“La Cour de Justice de l'Union européenne a ainsi considéré ([Arrêt C-149/11](#)), qu'une marque communautaire fait l'objet d'un «usage sérieux», lorsqu'elle est utilisée conformément à sa fonction essentielle et en vue de maintenir ou de créer des parts de marché dans la Communauté européenne pour les produits ou les services désignés par ladite marque”* (SPF Economie, P.M.E. Classes moyennes et Energie, 2013). Sous un régime communautaire, la protection juridique est similaire dans tous les États membres. Un régime légal spécifique

est imputé à ceux-ci, ce qui engendre également un impôt unique à payer pour l'existence de la marque. L'équipe *ROS* a également choisi de procéder à un dépôt communautaire pour la simplicité du processus. Ce dernier, permet d'épargner du temps et d'éviter de payer un impôt différent dans chaque pays où la demande de brevet a été appliquée.

Techniquement parlant, nous devons introduire une demande de marque auprès de l'Office de l'Union européenne pour la Propriété Intellectuelle (EUIPO). Il est possible de déposer une demande électronique, moins coûteuse que par voie classique, via le site de l'Office (<https://euipo.europa.eu>). Le formulaire de demande en ligne couvre trois points essentiels :

- la propriété d'une marque (qui est le titulaire de celle-ci: demande en tant qu'entreprise, ROS SA) ;
- ses devoirs ;
- la présentation claire de la marque (une représentation de celle-ci et la liste des services qu'on souhaiterait couvrir) ;
- les services couverts (EUIPO, 2017). Lors de la description des services couverts par la marque, il est vivement conseillé d'utiliser les termes de la classification de Nice pour ne pas ralentir la procédure. Il est important de penser à l'évolution de la stratégie et d'inclure tous les services que nous souhaiterions développer. En effet il n'est plus possible de modifier la demande de marque et de catégorie par après.

Avant d'introduire la demande de dépôt de la marque *ROS*, une recherche doit être menée pour clarifier la non-existence de cette marque dans les zones sélectionnées. La disponibilité de la marque *ROS* a été vérifiée grâce à deux bases de données différentes : eSearch et TMview (EUIPO, 2017). eSearch permet de vérifier si une demande ou un enregistrement a déjà été fait pour *ROS* au niveau communautaire. Tandis que TMview effectue l'analyse au niveau national. Il est important d'être sûr qu'aucune demande similaire n'est en cours. Contrairement au nom commercial, la marque est considérée comme propriété d'une entreprise une fois que celle-ci est déposée (Papin, 2015).

Ensuite, il faut déterminer à quelles catégories de classification de Nice le service *ROS* appartient. Pour déterminer quelles catégories et quelles procédures sont les plus adaptées à notre demande spécifique, *ROS* consultera un expert en dépôt de marque. Cette intervention nous semble nécessaire. En effet, une demande de dépôt de marque peut-être facilement refusée, et dans ce cas, le coût de la demande n'est pas remboursé. A priori nous souhaiterions

apparaître dans les catégories suivantes : la classe 40 (Recyclage et traitement des déchets) et la classe 42 (Services scientifiques et technologiques).

Le graphique (Figure 61) ci-dessous représente les étapes entre la réception de la demande et la publication de marque enregistrée :

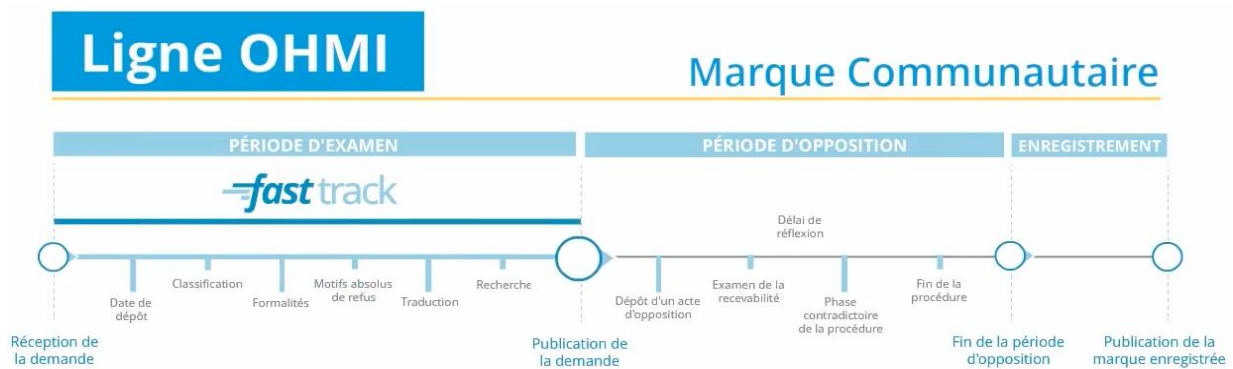


Figure 61 Étapes de publication de marques enregistrées (EUIPO, 2017, Procédure Fast track, para. 2)

Une marque de l'UE est valable durant dix ans et peut être renouvelée indéfiniment à la fin de validité de celle-ci (EUIPO, 2017).

Chapitre 13 : Aspects juridiques

Dans le présent chapitre, nous nous focalisons sur les aspects juridiques jugés pertinents pour la rédaction du plan d'affaires de *ROS*. Ne disposant pas de profil juridique au sein de l'équipe, les éléments retenus sont le résultat des connaissances acquises par Charlotte Dubray durant son bachelier à l'ICHEC, plus particulièrement grâce au cours intitulé "*droit des sociétés*" enseigné par Maître Patrick Saerens. Les éléments repris ont été confrontés aux informations fournies par Maître Yves De Cordt dans le cadre d'un cours consacré aux "*diverses formes juridiques des entreprises*" à l'UCL. Les aspects juridiques sur lesquels nous avons décidé de nous pencher sont relativement restreints.

Les éléments traités sont les suivants : le brevet d'invention, le statut en tant que *Spin-off*, le choix de notre structure juridique, soit la Société Anonyme, les caractéristiques y afférant, les contrats liés à notre activité d'entreprise, et pour finir l'importance des normes de sécurité au travail.

1. Brevet d'invention ou Secret de fabrication

Lorsque Claire Clérin rencontre Monsieur Palate (2017), conseiller en brevet et membre de l'ADRE, elle apprend que malheureusement, *ROS* ne peut faire l'objet d'un dépôt de brevet. En effet, ni la membrane, ni le service de symbiose industrielle ne peuvent être brevetés.

Palate (2017), nous apprend que tout d'abord, seul les inventions techniques peuvent l'être. Ensuite, il met en évidence les trois conditions requises au dépôt d'un brevet :

- La première condition est qu'il doit y avoir une application industrielle à l'invention technique.
- La deuxième condition est qu'il doit y avoir de la nouveauté par rapport à l'art antérieur (publications et brevets antérieurs à la date de demande de brevet).
- La troisième condition est qu'il doit y avoir de l'inventivité. Palate (2017), relève la subtilité de cette condition. De fait, une invention peut être nouvelle, sans pour autant être inventive si la nouveauté apportée par un chercheur est en réalité évidente aux yeux de n'importe quel autre chercheur.

Malheureusement, *ROS* ne peut faire l'objet d'un dépôt de brevet. Lorsque Claire Clérin présente la technique, Monsieur Palate (2017), explique que bien qu'il y ait une application

industrielle et que Claire Clérin apporte de la nouveauté par son travail sur l'application de la technique à la cristallisation de sels encore non-étudiés dans l'art antérieur, il n'y a rien d'inventif. En effet, n'importe quel scientifique aurait pu penser à cristalliser d'autres sels que ceux trouvés dans la littérature. Par ailleurs, tous les scientifiques vont très rapidement comprendre le procédé employé, rien que par la lecture des quelques articles publiés par Patricia Luis Alconero et ses collègues.

Contrairement aux dires de Dallemagne (2017), un service de symbiose industrielle ne peut faire l'objet d'un dépôt de brevet. Il s'agit en effet d'un modèle économique et non pas d'une invention technique. Il y a néanmoins la possibilité d'appliquer un droit d'auteur en cas de publication d'un manifeste sur le service de symbiose industrielle.

Monsieur Palate (2017), explique que si le professeur Patricia Luis Alconero n'avait pas publié d'articles sur la technique employée, il aurait peut-être été possible de déposer un brevet.

2. La *Spin-off*

« *Étant donné qu'il n'y a rien à breveter dans votre projet d'entreprise, l'UCL ne va très probablement pas vouloir créer une Spin-off* », explique Palate (2017).

Par ailleurs, il suppose que, vu l'état d'avancement du procédé (encore au stade de laboratoire, pas de dispositif à l'échelle industrielle vendable), il n'y a encore rien à commercialiser sur le marché. Enfin, notre analyse technique et financière mise en exergue dans les chapitres 8 et 15, stipule que près de 6.000 membranes sont requises pour cristalliser 1 m³ d'eau. Sachant qu'une membrane coûte 1.575 euros, l'investissement initial s'élève à environ 9 millions d'euros pour recycler un effluent possédant un débit de seulement un m³ d'eau par heure. En effet, pour un coût similaire mais étalé sur dix ans, la concurrence est capable de recycler en seulement une heure, 30 à 50 m³ d'eau. Il y a donc très peu de chance que l'UCL soit même intéressée de créer une *Spin-off* pour une entreprise telle que la nôtre, vu ses faibles chances d'être viable techniquement et financièrement.

Il est vrai que lorsque nous avons rencontré des membres de la *Sopartec* au mois de mars, ces derniers portaient peu d'intérêt pour notre projet d'entreprise. La seule information concrète qui nous a été fournie est que toutes les inventions qui sont le fruit de recherche en laboratoire à l'UCL sont partiellement propriété de cette université.

Ainsi, nous concluons qu'actuellement, que le projet d'entreprise *ROS* ne peut faire l'objet d'une *Spin-off* de par son caractère non viable et non brevetable.

3. Choix de la structure juridique

Ce sous-chapitre met en évidence notre choix pour un régime de société plutôt que pour un régime de commerçant. Par ailleurs, il précise notre éventuel choix d'octroyer une personnalité juridique à ROS. Est également précisé notre choix de forme juridique.

3.1. Régime de commerçant ou régime de société

Comment choisir entre un régime de commerçant et un régime de société commerciale ? Saerens (2013), pose cette question et stipule que, d'un côté il y a une personne physique, le commerçant, et de l'autre, une personne morale, c'est-à-dire une structure purement fictive, la société commerciale.

La plupart des entrepreneurs optent pour la création d'une personne morale, c'est-à-dire, la constitution d'une société et ce, pour trois raisons (Saerens, 2013) :

- L'apport de capitaux ;
- Des raisons fiscales. En tant que société, on est sujet à l'ISOC (impôt des sociétés), alors qu'en tant que particulier, on est sujet à l'IPP (impôt des personnes physiques), qui va très rapidement être supérieur à l'ISOC ;
- La limitation ou la dilution de la responsabilité.

Une société commerciale ne peut voir le jour sans apports de capitaux, au contraire d'une ASBL qui ne requiert pas de capital de départ. Le capital de départ peut prendre trois formes différentes : l'apport en espèces, en nature et en industrie (De Cordt, 2015).

Les apports financiers et économiques sont les apports en espèces, en numéraire, ou autrement dit, en cash. Ces apports viennent des fondateurs et des actionnaires de ROS. L'argent est déposé sur un compte en banque, qui va constituer la preuve que la société dispose d'un capital. Cet argent déposé représente l'importance que chaque personne a dans la société et différencie ainsi un actionnaire majoritaire d'un actionnaire minoritaire (Saerens, 2013). Le compte en banque doit être ouvert au nom d'une société en formation, c'est-à-dire, une société qui n'existe pas encore. Sur base de la visite des entrepreneurs à la banque, une attestation est fournie : elle constitue la preuve de la formation du compte en banque avec un certain capital y déposé. C'est cette attestation qui démontre au notaire qu'il y a déjà des fonds propres à disposition de la société (Saerens, 2013).

Les apports en nature sont des apports de biens meubles, immeubles ou incorporels (marque, brevet). Les apports en nature peuvent être quantifiés dans la capitalisation de l'entreprise. C'est là qu'interviennent les réviseurs d'entreprises. Eux seuls sont disposés à valider un apport en nature en lui attribuant une certaine valeur. Le rapport du réviseur est également demandé par le notaire lors de l'acte de constitution de l'entreprise (Saerens, 2013).

L'apport en industrie est l'apport en force de travail. Néanmoins, ces apports en industrie ne sont pas valables pour toutes les entreprises. Ils sont interdits aux SA, SCRL, SPRL, SCA et aux SCE (Saerens, 2013).

La plupart des entrepreneurs optent aussi pour une personne morale plutôt que pour une personne physique pour des raisons fiscales. Les personnes physiques sont soumises à l'IPP. Il s'agit d'un impôt progressif, c'est-à-dire par tranches d'impôts. Plus une personne ou un commerçant gagne de l'argent, plus il est taxé. Les sociétés sont soumises à l'ISOC. Il s'agit d'un impôt proportionnel et linéaire, ce qui signifie qu'il ne change pas, peu importe le montant gagné. Toutes les entreprises sont soumises au même taux. Si une entreprise gagne peu d'argent elle a tout intérêt de passer à une personne physique. Si une entreprise gagne beaucoup d'argent, il lui est plus favorable d'être soumise à l'ISOC (Saerens, 2013). L'ISOC est plus faible que l'impôt progressif IPP. *“Les taux ISOC sont définis par l'article 215 cir/92. Le taux de l'impôt des sociétés est fixé à 33 p.c. Lorsque le revenu imposable n'excède pas 322.500 EUR, l'impôt est toutefois fixé comme suit : 1° sur la tranche de 0 à 25.000 EUR : 24,25 p.c.; 2° sur la tranche de 25.000 EUR à 90.000 EUR : 31 p.c.; 3° sur la tranche de 90.000 EUR à 322.500 EUR : 34,5 p.c.”* (beCompta, 2015, para.2). La dernière tranche de l'IPP quant à elle, peut aller jusqu'à un taux de 50 p.c. de taxation (Saerens, 2013).

Pour finir, les entrepreneurs optent pour une personne morale plutôt que pour une personne physique pour des raisons de limitation de la responsabilité. Une personne physique, autrement dit généralement un commerçant, reste redevable de ses dettes vis-à-vis de ses fournisseurs même lorsqu'il n'opère plus son activité commerciale et qu'il aura refait fortune par après (Saerens, 2013). La seule possibilité pour éviter cette déduction à l'infini, en cas de mauvaises affaires, est d'obtenir de la part du curateur *“l'excusabilité”*, définie par la loi sur la faillite. *“L'excusabilité”* stipule que le commerçant peut demander au juge que sa faillite soit justifiable et avoir ses dettes effacées (Saerens, 2013). Par contre, dans le cas des sociétés, si elles ont été correctement constituées dès le début, les gérants ou administrateurs ne sont pas redevables vis-à-vis des fournisseurs (sauf cas de faillite frauduleuse) lorsque la faillite a été prononcée. Les fournisseurs ne pourront recouvrer leur créance que dans la mesure de l'actif disponible au

terme des opérations de liquidation de la faillite, en fonction du type de créance (privilégiée ou non) et au prorata de celles-ci. L'entreprise est alors simplement radiée du Registre du Commerce. Si les fondateurs n'ont pas obtenu de jugement pénal, ils peuvent reconstituer une nouvelle société par après (Saerens, 2013).

3.2. Personnalité juridique

En plus d'opter pour une personne morale (une société), nous avons décidé, pour ROS, de choisir une société dotée d'une personnalité juridique.

Il convient en effet de préciser qu'il existe à cet égard deux types de sociétés : les sociétés dépourvues d'une personnalité juridique et les sociétés dotées d'une personnalité juridique (Actualité du droit belge, s.d.).

“En vertu de son article 2, § 1^{er}, le Code des sociétés prévoit que « la société de droit commun, la société momentanée et la société interne ne bénéficient pas de la personnalité juridique »¹. L'absence de personnalité empêche la séparation patrimoniale entre les fondateurs et la société. À priori, la société n'ayant pas de patrimoine propre, elle n'apparaît pas comme une entité distincte des associés, capable d'évoluer de manière indépendante. Cependant, ces sociétés étant simplement constituées par une convention entre les fondateurs², elles sont soumises au droit commun des contrats tel que prévu par le Code civil. Ainsi et contrairement aux entités dotées de la personnalité, ces sociétés existent dès la conclusion du contrat sans que les fondateurs ne doivent en déposer les statuts au greffe du tribunal de commerce.” (Actualité du droit belge, s.d., para.1).

*“L'effet principal de l'acquisition de la personnalité juridique consiste en l'attribution d'un **patrimoine propre** à la société. Dès le dépôt des statuts au greffe du tribunal, la société existe par elle-même et dispose de ses biens conformément à son objet”* (Actualité du droit belge, s.d., para.1).

Dans le cas de la constitution de ROS, nous souhaitons lui attribuer un patrimoine propre. Nous optons ainsi pour une société dotée d'une personnalité juridique.

Les sociétés dotées d'une personnalité juridique sont le plus fréquemment soumises à un régime de responsabilité limitée. *“En effet, il existe une certaine corrélation entre les principes de personnalité juridique et de responsabilité limitée”* (Actualité du droit belge, s.d., para.2). Cependant, dans certains cas, bien que les sociétés soient dotées d'une personnalité juridique, elles sont parfois dotées d'une responsabilité illimitée des associés.

Ainsi, l'ensemble des sociétés dotées d'une personnalité juridique sont les SNC, SCS, SPRL, SCRL, SA, GIE, SCA et SE. Elles ont une responsabilité limitée ou illimitée en fonction de leur forme juridique. Pour rappel, les entreprises sans personnalité juridique sont quant à elles les sociétés momentanées, les sociétés de droit commun et les sociétés internes (Saerens, 2013).

3.3. Choix de la forme juridique

Nous avons choisi d'opter pour une société dotée d'une personnalité juridique avec une responsabilité limitée. Pour des besoins en capitaux élevés (mis en évidence dans le chapitre 15 consacré au plan financier), nous choisissons la forme juridique de Société Anonyme.

4. La Société Anonyme (SA) pour ROS

Lorsque plusieurs entrepreneurs décident de s'associer pour exercer une activité et optent pour le régime d'une société, plusieurs conditions sont nécessaires. Parmi celles-ci, il y a le choix de la forme sociale (Actualité du droit belge, s.d.). Dans notre cas, c'est la SA qui a été retenue.

La Société Anonyme est une société de capitaux plutôt qu'une société de personnes (De Cordt, 2015). Les actionnaires n'ont d'intérêt que pour l'argent qu'ils apportent. La SA est un avantage considérable pour les actionnaires, en principe, il s'agit d'investisseurs. En effet, ces derniers peuvent facilement acheter ou vendre leurs actions (De Cordt, 2015). Mis en évidence dans le plan financier (chapitre 15), les investissements de départ requis pour le lancement de ROS sont conséquents. Dès lors, nous souhaitons opter pour une forme juridique qui facilite les investissements. Par ailleurs, le mode de fonctionnement des Sociétés Anonymes est, en général, connu par les actionnaires, ce qui leur donne un sentiment de sécurité (Saerens, 2013).

La SA peut être définie comme une société dotée d'une personnalité juridique, qui limite la responsabilité des actionnaires à leurs apports et enfin, qui représente le droit des actionnaires par des titres (Saerens, 2013). Cela étant, qu'en est-il de son fonctionnement ?

Sont mis en exergue dans le point suivant : les éléments requis à la constitution d'une société, le fonctionnement d'une SA, le pouvoir des actionnaires, les différents titres d'une SA, le contrôle des comptes et enfin, la responsabilité des fondateurs de la SA.

4.1. Les éléments requis à la constitution d'une SA

Une société est constituée par un contrat au terme duquel plusieurs personnes mettent un ou plusieurs élément(s) en commun, pour exercer une activité dans le but de générer aux associés

un bénéfice patrimonial direct ou indirect (Saerens, 2013). Les éléments requis à la constitution d'une entreprise sont notamment : un contrat, un acte authentique, un plan financier, des apports, une dénomination, un objet social et enfin, un siège social.

4.1.1. Un contrat

Saerens (2013), explique qu'en principe, une société est un contrat. Ceci signifie que deux ou plusieurs personnes vont signer des statuts.

Le contrat de société est sous forme statutaire. Cela signifie que les parties doivent se rendre chez un notaire en vue de faire établir leur relation à travers un acte statutaire. Ce dernier doit ensuite être publié au Moniteur belge (Saerens, 2013).

4.1.2. Un acte authentique

La constitution d'une SA se fait donc par acte authentique, c'est-à-dire, devant un notaire. Elle nécessite un capital minimum de 61.500 €. Ce capital peut être apporté en espèce ou en nature. La constitution d'une SA nécessite au minimum deux associés (De Cordt, 2015). Dans notre cas, cette question est déjà réglée étant donné que nous sommes au minimum trois.

4.1.3. Un plan financier

Le jour de la constitution de la société, un plan financier doit être remis au notaire. Il est obligatoire de fournir l'évaluation de la société sur les deux premières années d'activité. Il est demandé aux fondateurs d'évaluer le chiffre d'affaire annuel ainsi que les coûts fixes et variables liés à l'activité de l'entreprise. L'objectif est d'obliger les fondateurs d'une entreprise de réfléchir à la rentabilité de la société (De Cordt, 2015). Il est bon de noter que sans un plan financier, un acte authentique ne peut être rédigé par le notaire. Par ailleurs, le plan financier joue un rôle important en cas de faillite. Le plan financier du projet d'entreprise *ROS* est présenté au chapitre 15 de ce plan d'affaires.

Saerens (2013), explique en effet qu'en cas de faillite endéans les trois premières années d'activité, le curateur analyse le plan financier rédigé par les fondateurs et vérifie si ces derniers n'ont pas été trop optimistes, c'est-à-dire, si le capital proposé était raisonnable en regard du plan financier. Dans le cas d'une faillite au-delà des trois premières années d'activité, le curateur n'interviendra pas car il sera estimé que la faillite ne ressort pas de la constitution de la société.

4.1.4. Des apports

Comme expliqué précédemment, une société commerciale ne peut être créée sans apports. Dans le cas d'une SA, seuls les apports en espèces et en nature sont autorisés. Les apports en espèces doivent être déposés sur un compte en banque (au nom de la société en formation). L'attestation fournie par la banque est également demandée par le notaire le jour de la constitution. Les apports en nature, doivent, quant à eux, être évalués par un réviseur d'entreprise (Saerens, 2013).

4.1.5. Une dénomination sociale et un nom commercial

Lorsque l'on publie les statuts au Moniteur belge, il faut y identifier la dénomination sociale. Cette dernière doit être unique, peu importe le type de secteur d'activité. Dans notre cas c'est « *ROS SA* ».

À côté de la dénomination sociale, il y a également le nom commercial. Celui-ci est le nom utilisé pour se faire connaître sur le marché. Dans notre cas, c'est *ROS*. Celui-ci peut être le même qu'une autre société, à condition qu'il n'opère pas dans le même secteur d'activité et dans une zone géographique identique (Saerens, 2013). Dans notre cas, il s'agit du secteur du recyclage des eaux usées et en Belgique.

Pour vérifier si une dénomination sociale est déjà prise en Belgique, il faut se renseigner auprès du Moniteur belge. Au 11 mai 2017, aucune entreprise active dans le secteur du recyclage des eaux usées dont la dénomination sociale est « *ROS SA* » n'a été trouvée.

La question de la marque a déjà été posée dans le chapitre 12 consacré au marketing.

4.1.6. Un objet social

L'objet social d'une société est son activité. L'objet social d'une société peut être très étendu, mais est tout de même limité par les statuts de l'entreprise. C'est-à-dire qu'une société ne peut pas faire des activités qui ne sont pas explicitement prévues dans les statuts de l'entreprise. Par exemple, dans les statuts de *ROS*, il est indiqué que cette société commercialise des contacteurs membranaires à des fins de cristallisation des sels issus des eaux usées industrielles. Dès lors, nous ne pouvons pas commencer une activité commerciale autre que celle-là, telle que la vente des produits confectionnés par nos clients par exemple (Saerens, 2013).

Un changement d'objet social est néanmoins possible mais requiert le passage devant un notaire et nécessite l'avis des actionnaires.

4.1.7. Un siège social

En Belgique, les sociétés peuvent choisir la localisation de leur siège social, en région bruxelloise, wallonne ou flamande. Néanmoins, sont liés à chaque région les politiques fiscales, les aides et les subsides.

Notre société souhaitant bénéficier des diverses aides régionales de la région wallonne (mises en évidence dans l'analyse Pestel, dans le chapitre consacré à l'analyse qualitative et enfin, dans le plan financier), nous souhaitons que le siège social soit en Wallonie. À court terme, le siège social sera à Mont-Saint-Guibert, plus particulièrement au domicile de Blanche Havenne. Son père étant le fondateur d'un bureau d'architecture et bientôt retraité nous laissera l'opportunité de jouir des infrastructures déjà présentes.

4.2. Le fonctionnement d'une SA

Une Société Anonyme dispose de deux organes : l'organe décisionnel, autrement dit, le conseil d'administration, et l'organe législatif, c'est-à-dire, l'assemblée générale.

4.2.1. Le conseil d'administration

Les personnes qui siègent au conseil d'administration sont les administrateurs. Ces derniers peuvent être à la fois administrateurs et actionnaires, ce qui est une réalité dans la plupart des cas. C'est leur qualité de gestionnaire d'entreprise qui leur permet d'être un administrateur au conseil d'administration (Saerens, 2013).

La prise de décision au sein d'un conseil d'administration d'une SA est collégiale. La plupart du temps, le conseil d'administration statue par consensus, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de vote (Saerens, 2013).

Dans une Société Anonyme, le conseil d'administration doit être composé au moins de trois personnes. Sur le plan juridique, une société peut être dotée du nombre d'administrateurs qu'elle souhaite. Néanmoins, dans la réalité, il faut prévoir un nombre d'administrateurs maximum dans les statuts. Ce chiffre doit tenir compte du fait que les administrateurs sont des salariés de l'entreprise et que leur salaire représente un coût conséquent (Saerens, 2013).

En principe, un conseil d'administration se compose d'un président du conseil d'administration (CA), des administrateurs et enfin, d'un administrateur-délégué. Le CA se réunit une fois par semaine. À la fin de chaque année, le conseil d'administration présente pour approbation les comptes annuels aux actionnaires (Saerens, 2013).

Le chapitre suivant (chapitre 14) est consacré à la gestion des ressources humaines. Ce dernier expose en détail les rôles d'une Société Anonyme en matière de gestion d'entreprise. Sont ainsi mis en exergue les responsabilités des actionnaires, du conseil d'administration, du président, de l'administrateur délégué, du directeur général et enfin, du comité de direction.

4.2.2. L'assemblée générale

À côté du conseil d'administration qui est l'organe de gestion, il y a l'assemblée générale (AG), c'est-à-dire l'ensemble des actionnaires qui se réunissent périodiquement.

Les actionnaires ont le pouvoir de nommer et de révoquer les administrateurs en plus de voter les comptes annuels. Par ailleurs, les actionnaires peuvent voter un changement d'objet social ainsi qu'une réduction ou une augmentation de capital (De Cordt, 2015). Dans une SA il faut au minimum deux actionnaires (Saerens, 2013).

En règle générale, ce ne sont que les détenteurs d'actions, autrement dit les actionnaires, qui peuvent siéger à l'assemblée générale. Néanmoins, dans le cas d'une Société Anonyme, c'est plus complexe. Des personnes détenant des titres ou des obligations (des obligataires) ont également le droit d'assister à l'AG.

ROS a l'obligation d'organiser au minimum deux assemblées générales, une en avril et une en mai. Les comptes doivent être déposés au mois de juin à la Banque Nationale de Belgique. Normalement, il n'est pas nécessaire d'organiser d'autres assemblées générales endéans l'année suivante. Néanmoins, il est possible que nous soyons dans l'obligation d'organiser des assemblées générales extraordinaires (AGE) ou des assemblées générales spéciales (AGS). Ces assemblées sont organisées dans le but de communiquer une nouvelle importante aux actionnaires, telle une fusion (Saerens, 2013).

4.2.3. L'administrateur délégué

Dans le cas de la Belgique, l'administrateur-délégué est chargé de la gestion journalière d'une entreprise. Son rôle peut être appuyé par un directeur général. L'administrateur délégué assiste au conseil d'administration où il rapporte les affaires quotidiennes de la société. Il est salarié et occupe le plus haut poste au sein de l'entreprise. Parallèlement, l'administrateur-délégué est le porte-parole de l'entreprise (Saerens, 2013).

Concrètement, l'administrateur-délégué est chargé de mettre en place les décisions prises par le conseil d'administration. En contrepartie, il a droit à un salaire, ainsi qu'à des indemnités en

cas de départ. Il a l'avantage de n'avoir aucune responsabilité envers les actionnaires (Saerens, 2013).

Le chapitre 14 consacré à la gestion des ressources humaines, développe plus amplement la fonction de l'administrateur délégué.

4.3. Le pouvoir des actionnaires

Les actionnaires d'une SA bénéficient de plusieurs droits. Tout d'abord, ils peuvent participer à une assemblée générale. Lors de celle-ci, les actionnaires ont un droit de vote qui sera élevé ou faible en fonction du nombre d'actions détenues. Dans une SA, nous sommes dans "*l'intuitu pecuniae*". Plus un actionnaire détient des actions, plus il a du pouvoir de décision (Saerens, 2013).

Ensuite, les actionnaires ont le droit de poser des questions à l'assemblée générale. C'est le conseil d'administration qui doit y répondre, et non pas l'administrateur-délégué (Saerens, 2013).

Un troisième pouvoir dont jouissent les actionnaires est le droit aux dividendes. Si la société fait des bénéfices, les actionnaires y ont droit. Le droit aux dividendes n'est pas automatique. En droit belge, il est impossible de garantir des dividendes au moment de l'acquisition des actions. Par ailleurs, même en cas de bénéfice, les sociétés ne sont pas dans l'obligation de distribuer un dividende. C'est le conseil d'administration qui propose une éventuelle (non) distribution des dividendes à l'assemblée générale. Il revient ensuite à cette dernière de voter en faveur ou en défaveur des choix du conseil d'administration.

À partir du moment où ROS affiche un résultat net positif plutôt que négatif, il est possible que des dividendes soient distribués. Néanmoins, durant les premières années d'activité, il est possible que, même en cas de réalisation de bénéfices, ROS ne distribue aucun dividende, vu les coûts en investissements initiaux élevés. Dans ce cas, nous avons l'obligation de d'abord constituer une réserve légale, ensuite, une réserve statutaire. Il est également possible de constituer une réserve extraordinaire lorsque des pertes pour l'année suivante sont anticipées (Saerens, 2013).

Un quatrième pouvoir détenu par les actionnaires est le droit à la révocation et à la nomination des administrateurs. C'est un droit suprême dont jouissent les actionnaires. Il s'agit du droit de la révocation "*ad nutum*", c'est-à-dire, de la révocation immédiate d'un administrateur sans aucune justification (Saerens, 2013).

Pour terminer, le dernier pouvoir des actionnaires est le droit à la décharge. Il s'agit du moment où les actionnaires donnent leur éventuel accord en matière de politique de gestion au conseil d'administration. En votant le "*quitus*", les actionnaires déchargent les administrateurs des actes passés, et donc des erreurs commises. Il n'est alors plus possible de les attaquer en justice (Saerens, 2013).

4.4. Les différents titres d'une SA

Dans une Société Anonyme, il existe divers titres, tels que : des actions sans droit de vote, des actions bonus, la part des fondateurs, des *stock-options*, des obligations avec warrant (garantie) et enfin, des actions de jouissance (Saerens, 2013).

Les actions sans droit de vote sont des actions émises par la société pour donner envie aux gens de s'intéresser à ses activités commerciales mais sans venir voter aux assemblées générales. L'avantage pour ces actionnaires est qu'un dividende supplémentaire leur est distribué, à condition que l'entreprise soit en bénéfice et décide de distribuer des dividendes. Dans le cas d'une non distribution de dividendes pendant trois années consécutives, les détenteurs d'actions sans droit de vote récupèrent leur droit de vote (Saerens, 2013). L'émission de ce type d'action est limitée à un tiers des actions totales. Il est tout de même exigé qu'il y ait un minimum de personnes votant aux assemblées générales (Saerens, 2013).

Au cas où nous décidons d'émettre ce genre d'actions, les directives citées ci-dessus sont à prendre en considération.

Les actions bonus sont des cadeaux octroyés aux actionnaires dans le but de les fidéliser (Saerens, 2013). Une fois que nous aurons des revenus suffisamment importants, ce type d'actions sera un bon outil de fidélisation de nos actionnaires.

Les fondateurs d'une entreprise (dans le cas de ROS, Claire Clérin, Charlotte Dubray, Blanche Havenne, Patricia Luis Alconero et Israel Ruiz Salmon) prennent un maximum de risques dans la création d'une société. Afin de compenser ces risques, les fondateurs reçoivent, en plus de leurs actions, des parts bénéficiaires. Il s'agit d'une prime de risque. L'importance des parts bénéficiaires est fixée dans les statuts de la société (De Cordt, 2015).

Les *stock-options* sont un bon moyen de fidéliser les collaborateurs. L'idée est de leur proposer d'acheter des actions à un prix intéressant à un certain moment donné (De Cordt, 2015). À long terme, une fois des bénéfices réalisés, des *stock-options* seront éventuellement proposés aux employés de ROS.

Les obligations avec *warrant* (garantie) constituent un bon moyen de fidéliser les obligataires. Ici, nous avons la possibilité de créer des obligations avec un avantage financier en plus, le *warrant*. Le *warrant* indique qu'il est possible de remplacer une obligation par une action. L'idée est de fidéliser le créancier, c'est-à-dire, l'obligataire, en le faisant devenir un actionnaire (Saerens, 2013). Les obligations avec *warrant* sont également une possibilité à envisager dans le futur. C'est un bon moyen d'augmenter le nombre d'actionnaires en contrepartie d'une réduction du nombre de créanciers, c'est-à-dire, de dettes à rembourser obligatoirement en cas de faillite.

Le dernier titre d'une Société Anonyme est l'action de jouissance. Ici les détenteurs des actions de jouissance n'ont pas droit à une distribution de dividendes mais bien droit de vote à l'assemblée générale. En d'autres mots, il s'agit de leur donner le droit d'agir en tant qu'actionnaire, sans pour autant percevoir de l'argent (Saerens, 2013). Les actions de jouissance sont une option éventuelle pour le comité d'accompagnement de ROS. Le comité d'accompagnement est plus amplement expliqué dans le chapitre consacré à la gestion des ressources humaines.

4.5. Le contrôle des comptes

Dans une SA, le contrôle des comptes se fait par un commissaire-réviseur. Attention, cette personne n'est pas à confondre avec un expert-comptable. En vue de vérifier l'exactitude des comptes annuels, les Sociétés Anonymes font appel à des sociétés spécialisées en révisiorat, telles que les entreprises *Deloitte*, *PWC*, *KPMG*, etc.

L'idée est que les actionnaires peuvent être grugés, c'est-à-dire, qu'étant donné qu'ils n'ont pas accès aux comptes, ils ne connaissent pas toujours la réalité de la situation financière de la société. Dès lors, un contrôle doit se faire par un regard extérieur, le commissaire-réviseur. Ce dernier est inscrit à l'IRE (Institut des Réviseurs d'Entreprise). Ce commissaire-réviseur est désigné pour une période de trois années consécutives par l'AG.

Trois cas de figure sont possibles:

- Les comptes sont bien tenus et le commissaire-réviseur n'a rien à commenter.
- Le commissaire-réviseur estime qu'il n'a pas eu accès à toutes les informations requises pour l'évaluation des comptes et estime qu'il n'a pas eu toutes ses réponses. Dans ce cas-là, il émet ses réserves. Il stipule alors que les comptes ne sont pas bien tenus.

- Le commissaire-réviseur rend un rapport négatif. Dans ce dernier cas, il est estimé que les comptes sont mal tenus et que l'assemblée générale ne peut pas les voter. Dès lors, l'AG est reportée à trois semaines, permettant une modification des comptes. Si l'avis du commissaire-réviseur n'est pas pris en compte, et que l'entreprise vote tout de même les comptes, le commissaire-réviseur est dans l'obligation de le signaler au parquet (Saerens, 2013).

Un élément favorable pour *ROS* est qu'en Belgique, un commissaire-réviseur n'est pas obligatoire tant qu'il n'y a pas 1.000 employés actifs. Un réviseur coûte extrêmement cher pour une petite Société Anonyme. Elle n'a pas toujours les moyens d'en solliciter un. Dans ce cas, il est possible de faire appel à un commissaire non-réviseur, qui est un actionnaire de la société. Néanmoins, il s'agit d'une hypocrisie totale (Saerens, 2013).

4.6. La responsabilité des fondateurs d'une SA

Mis en évidence par De Cordt (2015), en cas de faillite prématurée de la SA endéans les trois premières années d'activité et de sous-capitalisation de la société, la responsabilité des fondateurs peut être engagée par le juge.

5. Les contrats

Dans le cadre du projet d'entreprise *ROS*, 5 types de contrats sont retenus. Il est évident que l'avis d'un avocat spécialisé en droit des sociétés doit être sollicité pour une vérification et des éventuelles modifications.

Les contrats auxquels nous pensons sont : des contrats de confidentialité, des contrats d'entreprise avec nos fournisseurs et clients, des contrats de travail avec nos employés, des contrats de services avec clauses avec nos clients et enfin, des contrats de sous-traitance pour l'installation et la maintenance du produit *ROS* ainsi que pour le transport des sels recyclés entre deux usines.

5.1. Le contrat de confidentialité

Un premier contrat doit être établi entre la société *ROS* et les clients potentiels : le contrat de confidentialité. Avant qu'un devis ne soit envoyé, des données précises sur les eaux usées industrielles sont nécessaires. Sachant que ces informations ne peuvent être révélées au grand public et que les clients tiennent à une confidentialité totale, un contrat est signé, stipulant que la composition des eaux usées des clients reste secrète.

Une mention “*informations confidentielles*” apparaîtra sur le site internet lorsque des usines intéressées ajouterons les chiffres et données relatives à leurs eaux usées.

5.2. Le contrat d'entreprise

Le contrat d'entreprise visé par l'article 1787 du Code civil, est relatif à la fourniture des contracteurs membranaires, des tuyaux, des pompes et des récipients pour notre technique de valorisation des sels issus des eaux usées industrielles. Sachant que nous fournissons des matériaux à des clients et que, dès lors nous constituons leur fournisseur, un contrat d'entreprise avec notre clientèle voit également le jour. Ainsi, cette section explique tant nos obligations en tant que vendeur et droits en tant qu'acheteur.

Concrètement, il s'agit d'un contrat par lequel un fournisseur (*Liqui-cel*, pour le moment et nous) s'engage à effectuer un travail matériel ou intellectuel au profit de son cocontractant. En contrepartie, le cocontractant s'engage à lui payer un prix. Dans la plupart des cas, ce prix est de l'argent (Cruquenaire et al., 2014). Nos fournisseurs de biens matériels requis pour la mise en place de notre technique *ROS* s'engagent à réaliser un travail (la confection des matériaux) et à nous le remettre, ce qui signifie qu'ils sont également responsables du transport. En contrepartie, nous nous engageons à leur fournir une certaine somme d'argent. Ces mêmes obligations et droits s'appliquent pour nous et pour nos clients.

Un contrat d'entreprise donne naissance à des obligations pour le fournisseur et le client. Le fournisseur est tout d'abord tenu par une obligation de résultat, ensuite de travailler dans un délai précis et pour finir, de livrer ses produits. Le client, lui, est tenu de payer le prix convenu au fournisseur, de collaborer au sens large et enfin, de réceptionner le travail effectué (Cruquenaire et al., 2014).

Nous souhaitons instaurer une clause de confidentialité avec nos fournisseurs. Cette clause leur interdit de divulguer le contenu de nos contrats établis. Par ailleurs, nous aimerions y insérer également une clause de livraison. Ainsi, quoi qu'il arrive, les fournisseurs sont tenus de livrer les produits commandés à temps, sans quoi, il y aura des indemnités de retard à leur charge. En effet, nous ne pouvons pas nous permettre que des matériaux nécessaires à la confection de notre technique *ROS* arrivent en retard, en particulier lorsque nous travaillons à flux tendu.

5.3. Le contrat de leasing

Un contrat de leasing sur 5 ans sera signé avec l'entreprise pilote. Au bout de cette période, elle pourra devenir propriétaire de la technologie *ROS*. Au bout de 5 ans, le prix de vente s'élève au prix de vente diminué des coûts d'amortissement sur 5 années.

5.4. Le contrat de travail

Nous avons pour objectif de recruter du personnel. D'une part, des ingénieurs civils, et d'autre part, des personnes formées en gestion, en marketing, en gestion des ressources humaines, etc. Le rôle de chacun est développé dans le chapitre 14 consacré aux ressources humaines.

Le contrat de travail est un contrat par lequel un employé s'engage à fournir un travail sous l'autorité d'un employeur. En contrepartie, une rémunération lui est octroyée (art. 2 et 3 de la loi du 3 juillet 1978 relative aux contrats de travail). Dans ce type de contrat, trois éléments essentiels requièrent une attention particulière : le travail, la rémunération et le lien de subordination entre l'employé et l'employeur.

Les employés et l'employeur ont chacun des obligations. Les obligations des employés sont les suivantes :

- effectuer un travail avec soin, suivre les consignes données par l'employeur, restituer les matériaux et matières premières en bon état ;
- ne pas divulguer des secrets de fabrication ;
- ne pas se livrer à un acte de concurrence déloyale ;
- ne pas poser des actes qui sont susceptibles de nuire à sa sécurité ou à celle d'un tiers (Art. 17 de la loi du 3 juillet 1978 relative aux contrats de travail).

Ensuite, les obligations des employeurs sont les suivantes :

- employer les travailleurs selon les modalités de travail ;
- veiller à ce que le travail s'accomplisse dans un environnement sécurisé pour les travailleurs ;
- payer les rémunérations en temps et en heure, donner le temps nécessaire aux employés pour effectuer leur devoir et exécuter leurs obligations, accueillir les nouveaux travailleurs ;
- conserver les effets personnels des travailleurs (Art. 20 de la loi du 3 juillet 1978 relative aux contrats de travail).

Pour éviter que des informations ne soient divulguées et qu'elles arrivent à la connaissance de nos concurrents, nous souhaitons instaurer des clauses dans les contrats de travail. Tout d'abord, une clause de confidentialité. Ensuite, une clause de non-concurrence.

Le chapitre 14 consacré aux ressources humaines met en évidence que nous souhaitons recruter des ingénieurs pour les aspects techniques de ROS. Néanmoins, il est très probable que des ouvriers soient également recrutés. Ces derniers accompagneront les ingénieurs civils dans les tâches de : manutention, de production en interne, de l'assemblage, de confection de produit fini, d'adaptation du produit ROS à chaque type d'eau usée etc. Dans ce cas, un avocat doit être consulté pour voir si des contrats de travail adaptés aux ouvriers et à leur rôle spécifique sont requis.

5.5. Le contrat de services, les clauses et les garanties

Un contrat de services sera créé sur mesure pour chaque client. En ce sens qu'un contrat de services propose des clauses de maintenance, de recherche et développement et de transports de sels recyclés achetés ou vendus à une usine voisine.

Ces clauses doivent être négociées avec les clients sur base de leurs besoins.

En plus du premier contrat signé, donc d'un contrat de confidentialité, les données mentionnées dans les contrats de services sont assurées confidentielles. Pour ce faire, une clause spécifique dite "*clause confidentielle*" est stipulée dans chaque contrat garantissant qu'une information relative aux déchets des usines ne peut être divulguée par l'entreprise ROS ou ses employés.

Parallèlement aux clauses, les contrats de service incluent également des garanties sur le fonctionnement des membranes (contacteurs membranaires) et sur la production optimale de sels de bonne qualité (homogénéité et bonne taille). Ces garanties assurent également aux clients qu'une certaine quantité de sels va être cristallisés et que dans le cas contraire, un dédommagement leur sera donné.

5.6. Le contrat de sous-traitance

Un contrat de sous-traitance est "*une opération par laquelle une entreprise (le donneur d'ordre) confie à une autre entreprise (le sous-traitant) la tâche de réaliser pour elle une partie des **actes de production et de services** dont elle demeure responsable*" (Captain contrat, 2017, para.1).

Deux contrats de sous-traitance seront établis.

Un premier contrat est établi avec une entreprise spécialisée dans l'installation et la maintenance des technologies telles que la nôtre. Le chapitre suivant, consacré aux ressources humaines, met en évidence des informations plus concrètes sur les rôles de ces premiers sous-traitants.

Un deuxième contrat est prévu pour notre service de symbiose industrielle. Plus particulièrement, pour le service de transport des sels recyclés d'une usine belge à une autre. Nous souhaitons également solliciter une entreprise de transport.

Juridiquement, des contrats de sous-traitance avec ces deux types d'entreprises doivent être établis.

6. La réglementation en matière de sécurité et de bien-être au travail

En regard de toutes les exigences décrites ci-dessous, il semble pertinent de s'octroyer les services d'un expert HSE (Health, safety and environment), afin de répondre aux exigences en matière de sécurité exigées par l'Etat tant au niveau du système ROS chez nos clients, que dans nos laboratoire. De fait, la réglementation en matière de sécurité et bien-être au travail est un élément à ne pas négliger.

Selon le site internet du Service Public Federal Emploi (2017), un travailleur est dans l'obligation, je cite :

“ d'exécuter son travail avec soin, probité et conscience, au temps, au lieu et dans les conditions convenues ; d'agir conformément aux ordres et aux instructions qui lui sont donnés par l'employeur, ses mandataires ou ses préposés, en vue de l'exécution du contrat ; (.....) de s'abstenir de tout ce qui peut nuire soit à sa propre sécurité, soit à celle de ses collègues, de l'employeur ou de tiers ; de restituer en bon état à l'employeur les instruments de travail et les matières premières qui lui sont confiés. ”

L'employeur, pour sa part est obligé de, je cite :
“faire travailler son travailleur dans les conditions, au temps et au lieu convenus, notamment en mettant en principe à sa disposition l'aide, les instruments et les matières nécessaires à l'accomplissement du travail; veiller à ce que le travail s'accomplisse dans des conditions convenables au point de vue de la sécurité et de la santé du travailleur et que les premiers secours soient assurés en cas d'accident ; (.....) donner au travailleur le temps nécessaire pour remplir les devoirs de son culte, ainsi que les obligations civiques résultant de la loi ; consacrer

l'attention et les soins nécessaires à l'accueil des travailleurs et, en particulier, des jeunes travailleurs ; apporter les soins à la conservation des instruments de travail appartenant au travailleur et des effets personnels que celui-ci doit mettre en dépôt. Il n'a en aucun cas le droit de retenir ces instruments de travail ou ces effets. ”

Malgré ces obligations, les risques d'accidents de travail sont toujours bel et bien présents: En 2015, pas moins de 66 milliards d'heures d'exposition aux risques ont été comptabilisées et 532 accidents avec au moins un jour d'incapacité de travail sont survenus rien que dans le secteur chimique (Fonds des accidents de travail, 2016).

L'instauration d'un système de sécurité dans le système de sécurité est donc primordiale dans notre activité économique.

Au sein des différents risques répertoriés dans la brochure du Service Public Fédéral Emploi, Travail et Concertation sociale, le chercheur dans notre laboratoire est principalement exposé aux risques pour la santé, blessures et électrocution. (Direction générale Humanisation du travail, 2006). Les risques pour la santé, seront plus ou moins importants en fonction du sel étudié en laboratoire. Ils consistent en un contact accidentel avec la substance lors d'un déplacement, ou lorsqu'une fuite se produit. Les risques d'électrocution sont centrés sur la manipulation des appareils électriques, nombreux en laboratoire. Enfin, les blessures sont souvent la cause des débris de verre, ou lorsque de la verrerie se casse (Direction générale Humanisation du travail, 2006).

Pour le laboratoire de notre section R&D, le Service Public Fédéral Emploi, Travail et Concertation sociale décrit en 2006 dans sa brochure les différentes mesures à prendre en matière de sécurité en laboratoire. De manière générale, pour éviter un maximum de risques, il est préconisé d'informer et de former de façon permanente à la sécurité. Lors d'un engagement de personnel, d'une nouvelle tâche, ou d'une modification du milieu de travail, il est conseillé d'insister sur la sécurité. Chaque procédure réalisable au sein de l'entreprise doit être documentée de façon complète. Tous les produits chimiques présents doivent être répertoriés, et posséder leur fiche de sécurité. Sinon, ils sont considérés comme potentiellement dangereux (Direction générale Humanisation du travail, 2006).

Chapitre 14 : Administration et gestion des ressources humaines

Une fois les aspects juridiques développés, il convient de s'attarder aux questions administratives et de gestion des ressources humaines. Dans ce 14^{ème} chapitre, les points suivants sont traités : le type de management adapté, à savoir le management collaboratif, sa mise en place, les fondateurs de la société, la gestion quotidienne, les rôles assignés à chacun, les talents supplémentaires requis, la question des conseillers externes, la politique de recrutement des employés, les sous-traitants, les salaires et les cotisations et pour finir, les assurances à souscrire.

1. Politique de management au sein de ROS

Pour Manceau et Morand (2014), l'innovation d'une entreprise passe non seulement par une invention technologique mais également par de l'innovation en matière de marketing et de gestion des ressources humaines.

Altman (2016), explique qu'une organisation est un groupe de personnes travaillant ensemble et dont le but est de créer de la valeur. Dès lors, cette valeur créée dépend de divers facteurs, tels que la direction de l'entreprise, le type de *leadership* mis en place, l'engagement des employés, ainsi que leur interaction.

Il est essentiel de s'attarder sur la gestion du personnel en vue de garantir une haute création de valeur, explique Altman (2016). En effet, Ehnert (2016), précise que les ressources humaines sont des ressources très particulières, en ce sens qu'elles sont uniques. Les êtres humains ont des besoins et des désirs. Ils sont en quête d'action et d'interaction avec le monde extérieur.

Les ressources humaines sont stratégiquement critiques à une bonne gestion d'une entreprise, de par leur capital humain, à savoir, la capacité d'apprentissage, les connaissances, les compétences. Il convient dès lors de les identifier et de les exploiter à bon escient explique Ehnert (2016). C'est là qu'une bonne stratégie intervient.

L'histoire est marquée par des entreprises essayant en vain de trouver la méthode la plus optimale d'organiser son personnel en vue d'en tirer un maximum de profit. Néanmoins, nul ne semble appliquer la formule magique. Altman (2016), déclare que bien que des stratégies de gestion du personnel aient fonctionnées pendant de nombreuses années, elles ont rapidement changé au fil du temps, car confrontées au besoin d'adaptation.

Pendant de nombreuses années, la méthode prônée fut celle de la hiérarchie. Il s'agit d'une méthode de travail où, parmi un ensemble d'employés, un salarié se retrouve au-dessus des autres. Aux hiérarchies sont assimilées les ordres et le contrôle. Il s'agit d'un type d'organisation où une personne supervise les autres. Cette même personne est quant à elle supervisée par une autre personne, et ainsi de suite explique Altman (2016). Un des avantages des hiérarchies est qu'il s'agit d'une structure facile à comprendre. Par ailleurs, elle procure un poste et un emploi clair à chacun. Parmi les désavantages des hiérarchies, ce même auteur compte néanmoins, la redondance et l'utilisation inefficace des ressources. Pour terminer, de nombreux conflits et pertes de temps et d'efficacité font surface, de par des structures hiérarchiques implantées dans chacun des départements.

Durant les années 70, un nouveau modèle d'organisation voit le jour, le *Matrix Management*. En plus de s'adresser au superviseur du département, les employés travaillent en équipes et ont plus de responsabilités (Altman, 2016).

Depuis 15 ans, les réseaux sociaux ont bouleversé la vie et les méthodes de travail des personnes, impactant les stratégies de gestion du personnel. On ne parle plus de hiérarchie mais d'une série de connections *peer-to-peer* établies entre et par les individus mêmes, plutôt que par l'autorité. Ces réseaux sociaux mettent en exergue la démocratisation de la communication et de la collaboration, bientôt requis au sein des stratégies de gestion du personnel. En effet, tôt au tard, les entreprises réalisent que les méthodes anciennes ne fonctionnent plus et qu'il est grand temps de s'adapter (Altman, 2016).

Aujourd'hui, les acteurs performants sur le marché ne sont plus des entreprises hiérarchiques, mais plutôt des entreprises où les collègues travaillent ensemble via des "*réseaux d'équipes*", impliquant dès lors, une remise en question totale des emplois, des rôles, du *leadership*, des objectifs fixés ainsi que des moyens employés pour partager l'information, fournir des *feedbacks* et mesurer le succès (Altman, 2016).

2. Le management collaboratif

Le système de la gestion du personnel que nous souhaitons implanter au sein de *ROS* est un management horizontal, plus précisément, le management collaboratif. Cette méthode de management repose sur l'implication de tous et ce, à chaque niveau lors de l'élaboration d'un projet (Faure, 2011). Par ailleurs, le management collaboratif semble adéquat pour le maintien d'une cohérence entre nos valeurs, notre mission et notre vision, ainsi que vis-à-vis de nos

choix stratégiques mentionnés au chapitre consacré à la stratégie. Nous souhaitons recruter des personnes dont les valeurs de vie sont en accord avec celles de ROS, à savoir, avoir un impact positif sur la planète. Par ailleurs, nous voulons que les employés communiquent constamment entre eux.

Vivant actuellement l'émergence de la 3^{ème} révolution industrielle, concrétisée par un travail collaboratif, virtuel et à distance, nous pensons qu'il est intéressant d'exploiter les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) transformant les modes d'organisation du travail et des métiers eux-mêmes (Silva et Ben Ali, 2010). En effet, nombreuses sont les entreprises qui adoptent des pratiques basées sur des outils tels que : le Web.2.0, les outils sociaux et les outils collaboratifs, permettant de développer de nouveaux usages relationnels et hiérarchiques. En effet, nous assistons à l'émergence d'un nouveau phénomène qui concerne l'utilisation de nouveaux outils de communication sans contraintes spatiales, laissant ainsi les relations interpersonnelles à distance prendre le dessus (Silva et Ben Ali, 2010). De plus en plus d'outils émergent tels que : les smartphones ou autrement dit " les micro-ordinateurs", les applications mobiles, etc.

C'est ainsi qu'une nouvelle forme d'organisation du travail voit le jour, le management collaboratif. Elle se caractérise par 3 concepts : l'ubiquité, le collaboratif et la virtualité (Silva et Ben Ali, 2010). La mise en place d'une organisation basée sur ces 3 principes devrait générer tant des gains de productivité que de l'optimisation des déplacements. Ces déplacements qui n'apportent aucune valeur ajoutée et qui, au contraire, génèrent du stress, de la fatigue et de la surconsommation de fossiles. L'utilisation de l'image (caméra) accroît la facilité communicationnelle dans les relations interpersonnelles car, *"comme le dit le proverbe, une image vaut mille mots"* (Silva et Ben Ali, 2010, p.351).

"L'ubiquité est la capacité d'être présent en plusieurs lieux simultanément. Cette mobilité est générée par l'utilisation des technologies mobiles tels que le téléphone portable, l'ordinateur portable... dont l'usage est variable" (Silva et Ben Ali, 2010, p.351). Les collaborateurs mobiles, tels que les commerciaux, les consultants et les techniciens de maintenance ainsi que les managers "nomades" sont directement concernés par des outils mobiles. Les technologies mobiles permettent d'exercer une activité professionnelle n'importe quand et n'importe où (Silva et Ben Ali, 2010).

"Le travail collaboratif se définit comme l'utilisation de ressources informatiques, dans le contexte d'un projet réalisé par les membres d'un groupe de travail reliés en réseau" (Silva et

Ben Ali, 2010, p.351). Les entreprises instaurent des modes de collaboration tels que les vidéoconférences, les communications visuelles et sonores à distance et les conférences *web*. Le travail virtuel permet de répondre au besoin d'adaptation et de réaction à un environnement complexe. Dans notre cas il s'agirait de répondre à un problème technique lors de l'installation de ROS dans une usine. Le fait de travailler en collaboration offre plusieurs avantages. Tout d'abord, le travail à distance. Ensuite, une réduction du nombre de déplacement de managers. Finalement, la dématérialisation de fichiers et des données ainsi que le partage des connaissances en ligne et en temps réel. Par ailleurs, le travail collaboratif permet de développer une certaine autonomie des équipes d'une façon individuelle ou collective. Pour un travail collaboratif 4 dimensions sont exigées : la communication de base, le travail partagé, l'accès au savoir et finalement, la gestion des tâches (Silva et Ben Ali, 2010).

3. La mise en place et le développement du management collaboratif

Le management collaboratif induit une décentralisation de la fonction GRH (Gestion des Ressources Humaines). En effet, cette dernière devient au-delà de sa fonction administrative traditionnelle, une activité clé en matière d'organisation. L'objectif en tant que gestionnaire des ressources humaines est d'être l'accompagnateur des salariés dans l'évolution de leurs compétences en vue de les préparer à l'utilisation de nouvelles technologies. Parallèlement, la GRH doit concilier la création de valeur et la responsabilité sociale (Silva et Ben Ali, 2010).

La GRH de ROS s'engage à muter les relations qu'ont les différents acteurs, dont les employés, avec : le temps, l'espace, autrui, le savoir et l'autorité. Pour ce faire, nous souhaitons que la GRH organise sa gestion du personnel autour du salarié même, autrement dit, de "*self-service*", de "*self-management*" (Silva et Ben Ali, 2010).

Seront mis à disposition de nos employés des informations propres à leur fonction ainsi que des informations générales relatives à notre entreprise. De même que des ressources en lignes seront accessibles en vue de renforcer leur efficacité sur des actes de gestion (prise de commande, demande de congés payés, demandes de formation, ...) ainsi que sur des actes d'administration. Nous vivons dans "*une ère où l'intelligence collective peut être l'un des atouts du travail collaboratif dont l'un des objectifs est d'améliorer la performance*" (Silva et Ben Ali, 2010, p.360). Nous souhaitons, que la dynamique de travail ancrée au sein de ROS ne vienne plus de l'autorité des fondateurs, mais plutôt d'eux-mêmes. Plus particulièrement, de

leur : personnalité, charisme, capacité de faire adhérer les employés à des idées et capacité de les faire travailler ensemble.

D'une manière générale, qu'il y ait peu ou beaucoup de salariés chez ROS, et donc, que nous parlions à court ou à long terme, nous souhaitons développer l'autonomie tant à échelle individuelle dans les équipes qu'à l'échelle des groupes de travail. Notre souhait est non seulement de travailler en collaboration, mais également d'atteindre l'objectif de prise d'initiative et de créativité. Pour ce faire, les managers de ROS ont comme mission de développer les compétences individuelles tout en construisant des compétences collectives pour mieux collaborer. Le tout, soutenu par la GRH.

En vue de garantir une bonne ambiance au travail, nous souhaitons organiser des événements trimestriels. Notre objectif est de créer de véritables liens, ainsi qu'un esprit d'équipe au sein des équipes mêmes et entre celles-ci.

Les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication constitueront les moyens pour y arriver. Il convient cependant de prêter une certaine attention aux conséquences qu'ont la dématérialisation massive et continue des informations, sans quoi, il y a un risque de diluer le lien relationnel entre les personnes (Silva et Ben Ali, 2010). En effet, il est important que nous accordions une certaine attention au travail virtuel n'impliquant aucun contact humain, d'où la mise en place des événements trimestriels.

En conclusion, nous souhaitons que notre futur département RH (Ressources Humaines) ait, *“un rôle dans l'étalonnage entre la virtualité et la dématérialisation”* et développe un lien social en vue de maintenir ou renforcer le lien relationnel entre les membres d'une équipe (Silva et Ben Ali, 2010, p.352). Pour ce faire, il est primordial d'instaurer des liens d'appartenance. Les outils sociaux peuvent nous aider à créer ces liens. Notre site internet, notre intranet, nos réseaux sociaux et d'autres outils technologiques devront, en plus d'être cohérents et faciles d'utilisation, être dotés d'une dimension collaborative. Pour ce faire, nous ferons appel à des experts externes, des informaticiens.

4. Les fondateurs de ROS

Les fondateurs de ROS sont le Professeur Patricia Luis Alconero, le Docteur Israel Ruiz Salmon ainsi que Claire Clérin, Charlotte Dubray et Blanche Havenne.

5. La gestion quotidienne de ROS

En Belgique, l'ensemble des actionnaires d'une société anonyme se réunit lors des assemblées générales (ordinaires ou extraordinaires). Ils y nomment les administrateurs de la société qui constituent le conseil d'administration. Les administrateurs agissent seuls ou conjointement. Les administrateurs peuvent également être des actionnaires de l'entreprise, en particulier dans le cas des PME. Ils sont soit dotés d'un statut en tant que personne physique, soit en tant que personne morale (Paulus de Châtelet, 2012).

Selon l'article 518 du Code des sociétés, les administrateurs d'une Société Anonyme, sont révocables *ad nutum*. Ceci signifie, qu'ils peuvent être révoqués du jour au lendemain par l'assemblée générale des actionnaires sans qu'un préavis ou une indemnité ne leur soit octroyée (Saerens, 2013). En son sein, le conseil d'administration nomme un président et un administrateur délégué.

Le président préside les réunions du conseil d'administration. En général, il s'agit du représentant de l'actionnaire majoritaire. Il peut être doté d'une double voix et ainsi faire basculer certaines décisions du conseil d'administration.

L'administrateur délégué est en charge de la gestion courante de la société. Il fait également partie du conseil d'administration et participe aux réunions lors desquelles il reporte la gestion journalière de la société. Cet administrateur délégué peut s'appuyer sur un directeur général qui constitue, avec différents directeurs, le comité de direction. En plus d'exécuter les décisions du conseil d'administration, l'administrateur délégué représente la voix de l'entreprise, il est souvent le porte-parole lors de déclarations publiques (Saerens, 2013). Il occupe le plus haut rang dans la direction. Parallèlement, il bénéficie d'une plus grande stabilité étant donné qu'il n'est pas soumis à la règle de révocation *ad nutum* des autres administrateurs. En ce sens que, sauf stipulation contraire dans les statuts, si l'administrateur délégué est également un administrateur, "*sa révocation en cette qualité n'entraînera pas automatiquement sa révocation comme administrateur délégué et celle-ci pourra être soumise à un préavis ou à une indemnité de fin de mandat*" (Paulus du Châtelet, 2012, para.5).

Quant au comité de direction, il est en charge de la gestion courante de la société. Ce dernier traite les questions d'exploitation, de finance, de recherche et développement, des ressources humaines et de marketing (Saerens, 2013).

6. Les rôles assignés

Concrètement, la structure se présente comme la **Figure 62** :

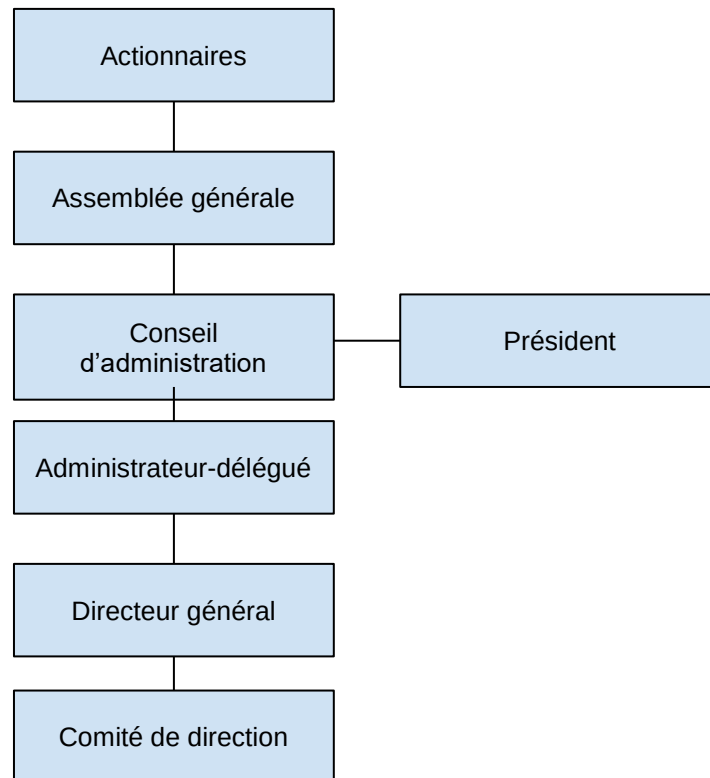


Figure 62 Structure d'une Société Anonyme (Saerens, 2013)

Les actionnaires sont composés : des fondateurs, des trois F (famille, amis et fous), d'un ou de plusieurs *Business Angels* et parfois d'un *Venture Capitalist*. Les recherches de Claire Clérin mettent en évidence dans le chapitre 8, qu'à défaut de membranes suffisamment développées, l'entreprise *ROS* ne peut voir le jour. Ainsi, aucun actionnaire n'a été sollicité.

À titre d'information, la suite du présent chapitre met en exergue les informations requises pour l'éventuelle constitution de la société *ROS*.

L'assemblée générale (AG) est composée des actionnaires. Ces derniers se réunissent, sauf dans le cas de situations extraordinaires, une à deux fois par an. L'AG désigne l'ensemble des administrateurs.

Le conseil d'administration (CA) est composé des actionnaires majoritaires de la société. Dans certains cas, le CA est également composé des représentants d'un ou plusieurs actionnaire(s)

majoritaire(s). C'est par exemple le cas, lorsqu'une société (maison mère) détient beaucoup de parts dans une autre société (filiale). Les administrateurs du conseil sont élus par l'assemblée générale sur base de leurs compétences et du nombre de leurs actions détenues. Les fondateurs peuvent également être élus même s'ils détiennent peu d'actions. Ils sont dans ce cas, nommés sur base de leurs connaissances managériales, ce qui est régulièrement le cas pour le PME.

Expliqué précédemment, le président est dans la plupart des cas, le représentant de l'actionnaire majoritaire. Son rôle est de présider les réunions du conseil d'administration. N'ayant à ce jour aucun actionnaire, un nom ou une institution précis ne peuvent être communiqués pour assurer ce rôle.

L'administrateur délégué et le directeur général sont chargés de la gestion journalière de l'entreprise. Charlotte Dubray, de par ses connaissances managériales et linguistiques est nommée administrateur délégué. Blanche Havenne, par ses capacités en tant que gestionnaire et de *leadership* confirmées est nommée directeur général.

Le comité de direction est, dans un premier temps, composé des 5 fondateurs. Devront reporter au directeur général :

- La CTO (*Chief Technical Officer*), à savoir Patricia Luis Alconero. À l'origine du projet, elle détient les connaissances nécessaires pour être responsable de la recherche et du développement.
- Le COO (*Chief Operating Officer*). Ce rôle est assuré par Israel Ruiz Salmon. Il est chargé des opérations quotidiennes. Il garantit le bon fonctionnement, la qualité et la continuité de la membrane ROS.
- Le CSO (*Chief Sales Officers*). Accompagné par un ingénieur civil, Claire Clérin est chargé des ventes et de l'adaptation de la technique ROS à chaque type d'eau usée industrielle.
- La responsable en marketing Blanche Havenne. Parallèlement à son rôle de directeur général, elle est également chargée de la stratégie marketing et vente.
- La responsable en ressources humaines Charlotte Dubray. Outre son rôle en tant qu'administrateur délégué, elle est chargée de la gestion des ressources humaines.

7. Les talents supplémentaires requis au sein de l'entreprise

Un premier ingénieur civil doit impérativement être recruté pour aider Claire Clérin quant à l'adaptation de la technique *ROS* à chaque usine. À court terme, cette équipe est chargée des recherches, du développement d'un prototype à échelle semi-industriel et enfin, d'installer le procédé *ROS* chez un premier client.

Ce premier ingénieur civil visé est le fondateur de l'entreprise *Manetco*, Monsieur Tanguy Van Regemorte. Cet entrepreneur confirmé et ingénieur civil spécialisé en chimie est le candidat idéal de par son intérêt pour le projet *ROS* et aide déjà octroyée à Claire. M. Van Regemorter est recruté dans l'année 2017.

8. Le comité d'accompagnement

Convaincues que l'expérience ainsi que les relations sont essentielles au bon fonctionnement d'une entreprise, nous souhaitons doter *ROS* d'un comité d'accompagnement. Ainsi, des ingénieurs, des avocats et des gestionnaires d'entreprises expérimentés partageront leurs conseils stratégiques en vue d'assurer le bon déroulement de l'activité commerciale.

9. Les conseillers externes

Riquet et Kahn (2004), expliquent qu'un tas de conseillers proposent leurs services à des entrepreneurs en vue de les aider dans certaines tâches administratives, leur permettant ainsi d'être en accord avec les lois.

Pour la protection des fondateurs de l'entreprise *ROS*, de ses employés et de ses partenaires, nous avons l'intention de recourir aux experts tels qu'un : fiscaliste, comptable, expert-comptable, réviseur d'entreprise, avocat, notaire et consultant. Nous avons également l'intention de faire appel, la première année à un expert HSE pour nous aider à construire un plan de production le plus sûr possible pour le client et respectant les normes de sécurité (parcourir les conseils d'organismes publics tels Securex, ou le CeSi).

Étant une future PME. et dotée de peu de moyens financiers, nous ne souhaitons pas recruter à plein-temps ces experts durant les premières années d'activité. Une fois que nous aurons les fonds financiers nécessaires, un avocat rejoindra l'entreprise *ROS* à plein temps.

10. Le recrutement des employés

Au fil des années, nous avons l'espoir d'engager des employés qualifiés dans divers domaines. L'objectif sera de soutenir chaque domaine d'activité de l'entreprise. Pour ce faire, nous engagerons des ingénieurs civils avec des connaissances profondes en chimie pour : épaulées Blanche et Charlotte lors du processus de ventes ainsi que pour l'adaptation de notre technique à chaque type d'eau usée industrielle. Pour ce faire, c'est le réseau social LinkedIn qui sera utilisé, de par son coût d'exploitation inexistant et de sa facilité d'utilisation. Parallèlement, nous souhaitons recourir à des sites internet annonceurs d'emplois, tels que Cadreemploi, Regionsjob, etc. À plus long terme, à condition d'avoir les ressources financières, nous envisageons de recourir à des chasseurs de têtes. L'objectif est que ROS soit dotée d'une bonne équipe pluridisciplinaire et compétente. La ligne du temps suivante (Figure 63) met en évidence les années de recrutement.

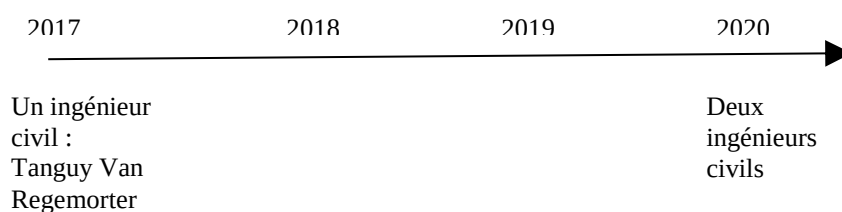


Figure 63 Recrutement des futurs employés (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

La mission, la vision et les valeurs de notre entreprise seront clairement et régulièrement communiquées au sein de l'entreprise, notamment à travers notre intranet et les réseaux sociaux. Dès aujourd'hui, nous attachons de l'importance aux profils des candidats. Outre leurs compétences, connaissances et expériences professionnelles, nous souhaitons travailler avec des personnes dont les perspectives et valeurs de vie sont en accord avec celles de ROS, à savoir, avoir un impact positif sur la planète et aider les entreprises à améliorer leur comportement environnemental.

Outre notre responsabilité envers l'environnement, mise en pratique à travers notre activité commerciale, nous attachons de l'importance au bien-être de nos employés. Pour ce faire, des formations et des sessions d'évaluation seront régulièrement proposées. Évidemment, une première formation sera offerte aux ingénieurs civils qui rejoindront notre entreprise en vue de leur apprendre : le fonctionnement du procédé ROS, le rôle crucial des contacteurs membranaires et comment adapter le système à chaque type d'eau usée industrielle. Sur base

de grilles d'évaluation précises nous serons également disposées à féliciter et récompenser tous nos employés ou encore, les orienter vers d'autres méthodes de travail, si nécessaire. Une formation à la sécurité dans les laboratoires et lors de l'adaptation des membranes sera également fournie à tout employé ROS.

11. Les sous-traitants

“Le "sous-traitant" est un entrepreneur qui, sous la direction d'un entrepreneur principal, s'engage envers ce dernier à réaliser un travail en sous-oeuvre” (Braudo et Baumann, 2017, para.4).

Stipulé dans le chapitre précédent consacré aux aspects juridiques, deux contrats de sous-traitance doivent voir le jour :

Le premier sous-traitant auquel nous ferons recours est une entreprise spécialisée dans l'installation et la maintenance de la technique ROS. Durant les premières années, nos équipes d'ingénieurs civils et ouvriers accompagneront cette entreprise en vue de les former à notre système. Tous ensemble, ils seront chargés de l'installation et de la maintenance de la technique ROS chez les clients. Ainsi, l'entreprise à qui nous faisons recours pour la sous-traitance a le temps de se familiariser avec notre produit. A la fin de cette formation, ils seront capables de régler tout problème pouvant survenir dans l'installation. Les clients peuvent les appeler 24h/24h en cas de problème technique sévère.

Un deuxième sous-traitant est sollicité pour le service de symbiose industrielle, plus particulièrement le service du transport des sels. Certes, nous sommes chargées du marketing et de la commercialisation des sels cristallisés localement ainsi que de la mise en relation entre deux usines belges, néanmoins, nous avons pour objectif de recourir à une entreprise de transport indépendante. Celle-ci sera chargée de récolter les sels cristallisés dans une usine et de les déposer dans une autre usine.

12. Les salaires et les cotisations

Les salaires et cotisations sociales des directeurs et employés sont repris dans le plan financier de ce mémoire.

Dans un premier temps, les salaires octroyés aux fondateurs et employés seront moyens. Opérant dans une petite start-up, nous faisons l'hypothèse que durant les premières années d'activité, nous n'aurons pas des entrées d'argent suffisamment élevées pour offrir des hauts

salaires. En contrepartie, nous nous engageons à offrir de l'expérience, de larges possibilités d'apprentissage, tant par l'encouragement de prise d'initiative que par de la tolérance vis-à-vis des erreurs commises par nos employés. Pour finir, nous avons pour vocation d'offrir un lieu de travail agréable, où les valeurs humaines et environnementales occupent une place prépondérante dans les activités quotidiennes. À plus long terme, si les moyens financiers nous le permettent, nous opteront pour une hausse des salaires.

13. Les assurances

Riquet et Kahn (2004), posent la question suivante : *“Risques et protection : comment les gérer ?”*. Les assurances sont une première garantie de protection. *“Un contrat d'assurance est conclu entre un assuré et un assureur qui s'engage envers celui-ci à l'indemniser des pertes ou dommages qu'il éprouverait par suite de certains événements. Bien évidemment, pour être couvert, l'assuré doit payer une prime d'assurance”* (Riquet et Kahn, 2004, p.222).

Toute personne portant un intérêt à la conservation d'un bien en raison d'un droit de propriété, d'un droit réel ou d'une responsabilité envers des tiers devrait recourir à des assurances (Riquet et Kahn, 2004). Un entrepreneur a tout intérêt à assurer des éléments tels que : des objets susceptibles de dommages, des créances, etc. Dans notre cas, il s'agirait par exemple, d'assurer les contacteurs membranaires, les bâtiments de notre bureau, les éventuelles voitures de société, etc., ainsi que d'assurer les créances non payées par les clients.

Mis en évidence par Riquet et Kahn, (2004), les techniques d'assurances sont en perpétuelle mutation permettant ainsi d'assurer un nombre croissant de choses. Régulièrement, il convient de discuter avec son assureur et revoir ses contrats d'assurance. La loi sur les contrats d'assurance distingue deux types d'assurances : les assurances de dommages et les assurances de personnes.

Les assurances de dommages sont celles où la prestation d'assurance dépend d'un événement incertain générant un dommage au patrimoine d'une personne. Ce type d'assurance regroupe les assurances de choses et les assurances de responsabilité (Riquet et Kahn, 2004).

Les assurances de personnes sont celles *“où la prestation dépend d'un événement incertain qui affecte la vie, l'intégrité physique ou la situation familiale d'une personne”* (Riquet et Kahn, 2004, p.223). L'exemple type est l'assurance vie ou l'assurance décès.

Au-delà de ces deux premières catégories d'assurances à contracter en tant que personne dans le cadre privé, il y a également des assurances plus adaptées aux activités des entreprises.

Souscrites au niveau professionnel, celles-ci varient en fonction de l'activité. Il convient d'en discuter avec les compagnies d'assurances afin de déterminer les besoins de couvertures de risques. Par exemple, il semble pertinent de recourir à des assurances telles que : assurance-incendie, responsabilité civile, assurance contre les accidents de travail, assurance des véhicules à usage professionnel, assurance-décès, assurance revenu garanti, assurance-groupe, assurance-vie, assurance solde restant dû, protection juridique, assurance protection juridique fiscale, assurance sociale en cas de faillite, etc. (Riquet et Kahn, 2004).

Chapitre 15 : Plan financier

Le plan financier constitue l'ultime étape d'un plan d'affaires. Il vient appuyer la décision finale d'un entrepreneur lorsqu'il se pose la question suivante : *Mon idée est-elle rentable ?*

Un plan financier invite à une réflexion sur : les coûts fixes et variables qu'impliquent une activité commerciale, plus précisément, les capitaux de départ, les sources de revenus, le calcul du prix de revient, l'estimation de la marge bénéficiaire et enfin, la réalisation d'un compte de résultat, d'un bilan et d'un tableau de trésorerie. En dernier lieu, un plan financier offre à un entrepreneur trop impulsif la possibilité de se rendre compte que son projet est irréaliste.

Un plan financier vient soutenir un projet d'entreprise. Il est requis lors de la constitution d'une société (lorsqu'il y a une responsabilité limitée), ainsi que lors de demandes de prêts auprès d'une banque. Enfin, un investisseur est avant tout intéressé de savoir si le projet est viable financièrement. Parallèlement, un bon plan financier permet de limiter la responsabilité d'un fondateur et de se protéger vis-à-vis du curateur en cas de faillite.

1. Objectifs à court, moyen et long terme

La technique de valorisation des sels ROS nécessitant une adaptation et un test à échelle industrielle, un projet prototype est convenu avec l'entreprise *Solvay* durant la première année d'activité. Ensuite, vient une période de plusieurs mois consécutifs de recherche, de développement et d'innovation du processus pour qu'au final, la commercialisation de ROS soit enfin possible au grand public. En effet, les paramètres de la technologie ROS étant très complexes, une période de recherche, d'adaptation et de tests est nécessaire avant l'introduction du procédé ROS sur le marché.

1.1. Lignes du temps

Les lignes du temps suivantes mettent en évidence les étapes en matière d'administration, de comptabilité et enfin, de gestion des ressources humaines du projet ROS.

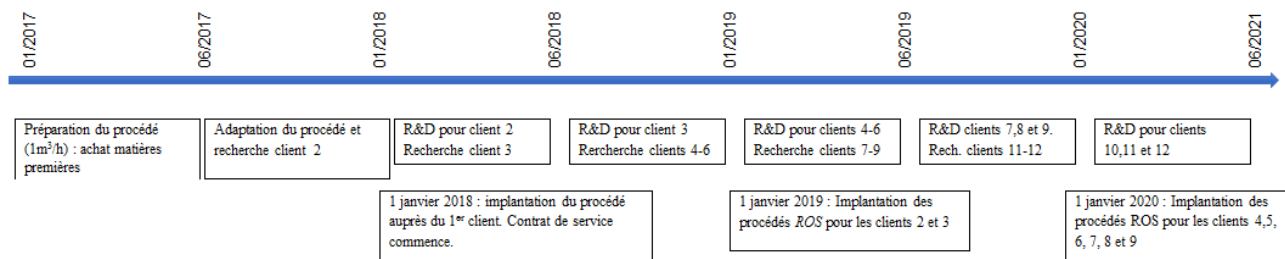
Elles (**Figure 64**) aident à comprendre les liens entre les aspects administratifs, financiers et de vente.

Ligne du temps 1 : les aspects administratifs

2017

Acte de constitution
Dépôt dénomination sociale
Dépôt marque

Ligne du temps 2 : les étapes en matière de finances



Ligne du temps 3 : La gestion des ressources humaines en fonction des ventes

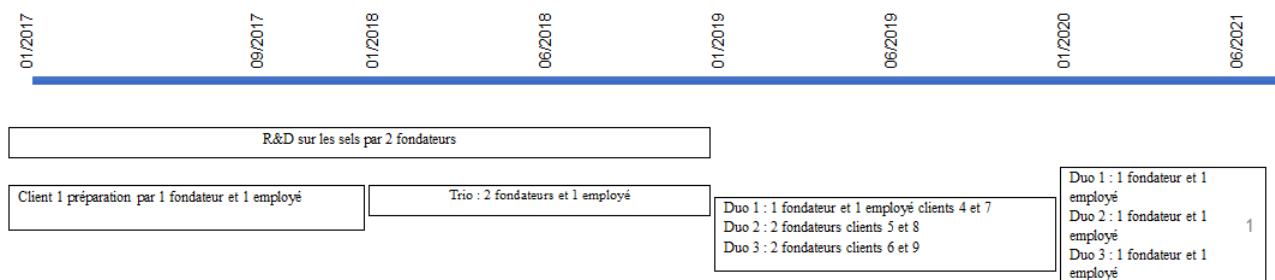


Figure 64 Lignes du temps de l'évolution de l'entreprise ROS (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

L'acte de constitution se fait auprès du notaire. Pour une Société Anonyme, le coût s'élève à 61.500 euros. Les frais de notaire s'élèvent à 1.000 euros.

La demande de dépôt de la marque communautaire est introduite auprès de l'Office de l'Union européenne pour la Propriété Intellectuelle (EUIPO). La taxe de dépôt s'élève à 900 euros. La taxe doit être payée tous les dix ans pour renouveler la demande.

Le dépôt de la dénomination sociale au Moniteur belge est chargé à 218,41 euros.

En parallèle au développement du projet *Solvay*, une équipe R&D s'occupe d'analyser le comportement de nouveaux sels pendant une période de deux ans (de janvier 2017 à janvier 2019). Au total, vingt sels seront étudiés.

La préparation du projet prototype pour *Solvay*, de septembre à décembre 2017, permet d'analyser les effluents ainsi que d'adapter le processus ROS à l'échelle industrielle.

Stipulé dans le chapitre consacré à la stratégie, un contrat spécifique est convenu pour tester notre technologie à l'échelle semi-industrielle. Nous posons l'hypothèse que ce contrat est

établi avec l'entreprise *Solvay*. L'adaptation de *ROS* auprès de cette entreprise chimique se fait pour un débit de $1\text{m}^3/\text{h}$. Monsieur Horbez (2017), responsable du département « Recherches et Initiative à *Solvay* », nous a fourni les données d'un flux normalisé. Selon lui, le débit des effluents de plusieurs entreprises devrait être similaire. **C'est ainsi que nous avons choisi de nous concentrer sur ce volume pour les deux prochaines années.**

Ce ne sera qu'en 2019 que l'adaptation du procédé, dont la capacité de traitement est élevée à un débit de $20\text{m}^3/\text{h}$, verra le jour. Ce second volume se base sur l'analyse concurrentielle. Ces entreprises commercialisant des technologies capables de traiter un débit allant de $1\text{m}^3/\text{h}$ à $50\text{m}^3/\text{h}$, nous avons décidé d'adapter le procédé *ROS* à un débit de $20\text{m}^3/\text{h}$. Cette décision trouve également son origine dans l'analyse qualitative. Lorsque nous interrogeons un responsable de *Degrémont industry*, il nous informe que les débits moyens à traiter se situent entre $1\text{m}^3/\text{h}$ et $30\text{m}^3/\text{h}$.

Les coûts d'investissement initiaux que nous avons estimés pour le lancement de notre activité ainsi que les deux premières années d'activité (projet scale-up auprès de *Solvay* et R&D) s'élèvent à **476.913.984** euros. Le point 2 présente les coûts fixes et variables pour les prochaines années à venir.

En janvier 2018, la technologie *ROS* est installée chez *Solvay* et fonctionne. Les sels des eaux usées industrielles sont alors cristallisés. Ainsi, la vente des premiers sels *ROS* peut commencer. Il en est de même pour leur contrat de service, c'est-à-dire pour la maintenance et la R&D. Claire Clérin et Israel Ruiz Salmon continuent la R&D. En parallèle, Charlotte Dubray et Blanche Havenne gèrent la vente et la gestion quotidienne tout en recherchant de nouveaux clients avec l'aide d'un des ingénieurs de l'entreprise. Par ailleurs, le professeur Patricia Luis Alconero et Tanguy Van Regemorter développent les autres projets clients tout en optimisant parallèlement le procédé chez *Solvay*. Ils étudient l'extension du traitement des effluents de $1\text{m}^3/\text{h}$ à $20\text{m}^3/\text{h}$. Aidé par Monsieur Ruiz Salmon, ce trio développe, durant l'année 2018 la technologie pour deux clients. Six mois de recherche et d'analyse des effluents sont consacrés à chaque client. En janvier 2019, les deux processus sont installés et fonctionnels chez les clients.

En considérant les membranes de secours, nous avons estimés que pour un débit de $20\text{m}^3/\text{h}$, **129.280** membranes sont requises générant un investissement initial de **232.025.488** euros. Notons que ce montant ne compte que le matériel et les matières premières nécessaires. Par ailleurs, il est bon de préciser que ce procédé doit être remplacé tous les 10 ans.

Nous faisons l'hypothèse qu'en janvier 2019, nous serons capables de traiter un débit de 20m³/h. A partir de janvier 2020, s6 technologies seront implantées annuellement. Ce qui signifie qu'en 2019, Monsieur Ruiz Salmon, Claire Clérin, le professeur Luiz Alconero, Monsieur Van Regemorter, Blanche Havenne et Charlotte Dubray travaillent par duo sur chaque projet pendant une période de 6 mois. En janvier 2020 nous faisons l'hypothèse que tous ces processus sont fonctionnels et installés chez chaque client respectif. En janvier 2020 deux employés sont embauchés pour laisser Charlotte Dubray et Blanche Havenne se concentrer sur la gestion des ventes, des clients et des tâches quotidiennes.

2. Les coûts fixes et variables

Evaluer les coûts fixes et variables permettent d'anticiper un budget prévisionnel nécessaire au bon fonctionnement d'une activité. Il existe deux types de dépenses. Les dépenses fixes, qui comme leur nom l'indique, comprennent les charges qui ne varient pas en fonction de l'intensité d'une activité : loyer, prime d'assurance, salaire des fondateurs, etc. Quant aux dépenses variables, celles-ci varient en fonction du volume des ventes ou du niveau de production. Parmi ces coûts variables, on cite : les coûts des matières premières.

2.1. Les coûts fixes

Sont repris ci-dessous l'ensemble des coûts fixes évalués annuellement. Certains sont uniques, d'autres récurrents. Un premier sous point explique chacun des coûts identifiés. Un deuxième les résume dans un tableau récapitulatif. Dans ce tableau, une croix précise la ou les année(s) où ces coûts sont à la charge de ROS. Ces coûts sont détaillés par après.

2.1.1. Justification des coûts fixes annuels

Les coûts fixes comprennent : les frais administratifs, les loyers, la recherche et le développement ainsi que la sollicitation d'un laboratoire externe, les frais liés au bureau, les salaires et cotisations patronales, la création d'un site internet, les frais en marketing et en communication, les frais liés aux ressources humaines, les autres charges d'exploitation et pour finir, les assurances.

Les frais administratifs sont les coûts afférants à l'acte de constitution, au notaire ainsi qu'au dépôt de la dénomination sociale. Ces chiffres ont été expliqués en début de ce chapitre.

Le dépôt de marque est évalué à 900 euros (850 € de taxe de dépôt via une demande internet couplé à 50 euros supplémentaires pour l'inscription dans une deuxième classe Nice) (EUIPO, 2017). Il sera réglé endéans le mois qui suit l'introduction de la demande de marque.

Un avocat doit être sollicité en vue de rédiger un exemple type des contrats de services avec clauses et des contrats d'entreprises. Stipulé dans les aspects juridiques, le contrat de services comprend des clauses pour : la maintenance, la R&D et le transport des sels en cas de symbiose industrielle. Pour finir, un comptable est nécessaire pour les déclarations annuelles ISOC et TVA. Cette charge est évaluée à 500 euros (Saerens, 2013).

Lors des deux premières années d'activité, le siège social se situera dans l'ancien bureau d'architecture de Monsieur Havenne. Dès lors, aucun loyer ne devra être payé. Parallèlement, un laboratoire sera loué pour que l'équipe des scientifiques puisse faire les recherches, du développement et des analyses des effluents. Selon Immoweb (2017), le prix moyen y afférent est évalué à 6.000 euros. En 2019, nous aurons un nouveau siège social. Nous quitterons le domicile de Blanche Havenne et le laboratoire en vue de transférer toutes nos opérations vers un entrepôt, dont le loyer est estimé à 24.000 euros (Immoweb, 2017). Nous faisons l'hypothèse que ce dernier n'augmentera pas au cours des années suivantes.

Une fois installés dans le laboratoire, les scientifiques auront besoin de matériaux. Ne bénéficiant pas du statut de *Spin-off*, nous n'avons plus accès aux biens mis à disposition par l'UCL. Pour l'acquisition de matériaux généraux et ceux liés aux normes de sécurité, les coûts sont estimés à 7.030 euros (Le laborantin, 2017). 14.297 euros sont également dépensés la première année, pour les fournitures nécessaires à l'étude des sels (membranes, pompes, accessoires, matières premières, étuve).

Les besoins des matériels et des matières premières ont été calculés sur base de ceux utilisés lors des expériences déjà réalisées par Claire Clérin sur le sel Na_2SO_4 .

Pour pouvoir étudier les sels, nous avons besoin de recourir à un laboratoire extérieur. Par sel il convient d'effectuer 3 analyses DRX au rayon laser, évalué à 95 euros par analyse. Il convient également d'effectuer 6 analyses de teneur en chlorure. Celles-ci coûtent 70€/h. Deux heures sont nécessaires pour prendre 6 mesures. Les coûts afférents au laboratoire externe s'élèvent à 425€ par sel (285€+140€). Etudiant 10 sels par an, 4.250 € seront dédiés à la recherche via un laboratoire externe.

Au bout de deux ans nous déménagerons dans un entrepôt. Les matériaux utilisés en laboratoire seront gardés et simplement déplacés dans le nouveau siège d'exploitation. Néanmoins,

d'autres matériaux seront requis, par exemple, des matériaux de bureaux (ordinateurs, imprimantes, bureaux, chaises, étagères, etc.) ainsi que des matériaux requis pour l'assemblage de la technologie *ROS* adaptée à un débit de 20m³/h. Les coûts totaux sont estimés à 30.000 euros. Ce prix se justifie principalement par l'achat des matériaux électroniques.

Les salaires comprennent les salaires bruts, les cotisations patronales ainsi qu'un 13^{ème} mois.

Les charges salariales se justifient comme suit (**Tableau 35**) :

Tableau 35 Salaires bruts et cotisations patronales totaux (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

Statut	Nom bre	Salaire brut mensuel/ personne (€)	Cotisations patronales mensuelle/personne (32,44%) (€)	Mois	Charges salariales annuelles (€)	Années de recrutement
Fondateurs	5	5.000	1.672	13	433.680	2017
Employé (T.Van Regemorter)	1	4.200	1.362	13	72.306	2017
Futurs employés	2	4.200	1.362	13	144.612	2020

La création d'un site internet et de l'intranet doit être le fruit d'une entreprise spécialisée plutôt que celui d'un *freelance*. En effet, nous souhaitons créer un site internet style "*Portail web*" comprenant divers modules, un espace pour les membres et plus de 200 pages. Le prix estimé pour ce type de portail *web* varie entre 10.000 et 100.000 euros (Lafabriquedunet, 2015). Nous avons évalué le design de notre site à 30.000 euros. Une maintenance annuelle est obligatoire. Elle est évaluée à 2.400 euros. Parallèlement, il convient de payer l'hébergement www.recycleyourownsalt.com ainsi que les noms de domaine que nous avons réservés : www.recycleyourownsalt.com, www.recycleyourownsalt.be, www.recycleyourownsalt.be. Ce coût est évalué à 60 euros (OVH, 2017).

Les frais de marketing et de communication comprennent un compte LinkedIn, la présence de *ROS* aux salons ainsi que *Google Adword*. Le tarif d'un compte LinkedIn Business s'élève à 44,34 euros/mois (LinkedIn, 2017). Le budget annuel pour participer à des salons liés au développement durable coûte aux alentours de 3.500 euros (Waste Meetings, 2017). *ROS* souhaiterait, après la réussite du projet *scale up*, participer à deux salons par an. Un budget de 8.000 euros est alors prévu à partir de l'année 2019. Concernant les dépenses pour la promotion du service via *Google Adword* après l'année 2019, *ROS* souhaite dépenser 2.000 euros annuellement.

Les frais liés aux ressources humaines ne comprennent pas les charges sociales. La formation du personnel, plus particulièrement des premiers employés diplômés en ingénierie civile est faite par Claire Clérin et Israel Ruiz Salmon. Dès lors, elles ne coûtent rien en espèces mais bien en temps. Il est néanmoins important de se tenir au courant de l'évolution du marché, des techniques et des technologies. À partir de 2021, un budget sera réservé pour offrir des formations pertinentes aux membres de ROS. En 2019, un montant de 1.000 euros est consacré à la recherche de nouveaux employés. En effet en 2020, ROS souhaite recruter deux nouveaux ingénieurs. En ce qui concerne les *team buildings*, à partir de 2020, 500 euros seront dépensés annuellement pour faire une activité *team building* avec l'équipe (Koezio, 2017).

Les autres charges d'exploitation incluent les coûts de transport (achat voiture, essence, assurance et provision d'achat pour une nouvelle voiture) ainsi que les coûts en gaz, en eau et en électricité. En ce qui concerne les coûts de transport, dans un premier temps, nous rachetons la voiture de Blanche Havenne. Celle-ci est évaluée à 2.000 euros. Nous estimons l'assurance annuelle de cette dernière à 300 euros. L'essence est évaluée à 200 euros par mois, soit un coût total annuel de 2.400 euros. Sachant que la voiture de Blanche Havenne ne tiendra pas éternellement, nous prévoyons une provision de 1.500 euros par an. Ensuite, viennent les frais de téléphonie estimés à 1.440 euros. Ceux-ci sont basés sur les factures réelles d'un abonnement du bureau d'architecture de Monsieur Havenne (2017). Les frais d'électricité de son bureau sont estimés à 1.800 euros. Nous estimons que nos frais d'électricité, gaz et eau relatifs au laboratoire et aux besoins quotidiens seront de 1.800 euros. En effet, la consommation annuelle électrique engendrée par la R&D est très faible, de l'ordre de 17,5 € (73,36 kWh x 0,238 €/kWh = 17,5 €). Pour terminer, ces coûts seront multipliés une fois que notre équipe sera installée dans l'entrepôt pour alors atteindre un prix de 4.500 euros.

Finalement, les assurances s'élèvent à 10.000 euros. Mentionné dans le chapitre consacré aux aspects administratifs et de gestion des ressources humaines, dans le cas d'une activité professionnelle, il convient de souscrire diverses assurances telles que : assurance-incendie, responsabilité civile, assurance contre les accidents de travail, assurance des véhicules à usage professionnel, assurance-décès, assurance revenu garanti, assurance-groupe, assurance-vie, assurance solde restant dû, protection juridique, assurance protection juridique fiscale, assurance sociale en cas de faillite. (Riquet et Kahn, 2004). Ayant envoyé un e-mail à la personne chargée des assurances pour les laboratoires de l'UCL, mais n'ayant pas obtenu de réponse, nous n'avons pu prévoir de montant précis. Nous avons opté pour une estimation annuelle, celle-ci s'élève à 10.000 euros.

2.1.2. Tableau récapitulatif des coûts fixes

Tableau 36 Coûts fixes (Clérin, Dubray et Havenne, 20017)

Intitulé	Prix annuel (€)	2017	2018	2019	t2020-2030
Frais administratifs	65.118				
Acte de constitution et frais de notaire	62.500	X			
Dépôt dénomination sociale	218	X			
Dépôt marque	900	X			
Frais d'avocat (rédaction d'un contrat type de service avec les clauses)	1000	X			
Comptable (déclaration ISOC, TVA)	500	X	X	X	X
Loyers	30.000				
Loyer siège social (ancien bureau d'architecte de Mr. Havenne)	0	X	X		
Loyer laboratoire	6.000	X	X		
Loyer entrepôt (nouveau siège d'exploitation)	24.000			X	X
R&D	21.327				
Achat matériaux général laboratoire	6.530	X			
Achat 2 membranes	2.880	X			
Achat 4 pompes péristaltiques	7.808	X			
Achat accessoires pour 2 membranes	362	X			
Achat Matière première pour 10 sels	2370	X	X		
Etuve	877	X			
Materiel laboratoire sécurité	500	X	X		
Laboratoire externe	4.250				
Analyse des cristaux (pour 10 sels)	4.250	X	X		
Bureau	30.000				
Achat matériaux pour le nouveau siège d'exploitation (Matériaux de bureau, matériaux pour l'assemblage des 123 920 membranes)	30.000			X	X
Salaires et cotisations patronales	650.598				
Salaire brut des 5 fondateurs et cotisations patronales	433.680	X	X	X	X

Intitulé	Prix annuel (€)	2017	2018	2019	t2020-2030
Salaire brut et cotisation patronales du premier employé (Tanguy Van Regemorter)	72.306	X	X	X	X
Salaire brut et cotisation patronales des futurs employés (2 ingénieurs dans un premier temps)	144.612				X
Site internet	32.460				
Création du site internet et intranet (<i>webdesigner</i>)	30.000	X			
Entretien et maintenance du site internet et de l'intranet	2.400		X	X	X
Hébergement + nom de domaine (Lien URL(.com)) (Abonnement)	60	X	X	X	X
Frais de marketing et de communication	10.540				
Compte LinkedIn	540	X	X	X	X
Salons DD	8.000			X	X
<i>Google Adword</i>	2.000				X
Conférences	0				X
Frais RH	1.500				
Recrutement	1000			X	
Team buildings	500				X
Autres charges d'exploitation	15.740				
Voiture	2.000	X			
Essence et assurance	2.700	X	X	X	X
Provision pour l'achat voiture	1.500	X	X	X	X
Frais de téléphonie	1.440	X	X	X	X
Frais d'électricité siège social temporaire	1.800	X	X		
Frais d'électricité, gaz et eau laboratoire	1.800	X	X		
Frais d'électricité, gaz et eau au nouveau siège social (entrepôt)	4.500			X	X
Assurances	10.000				
Diverses assurances	10.000	X	X	X	X
Total		654.560	541.885	592.626	738.777

2.2. Les coûts variables annuels

Viennent ensuite les coûts variables annuels. Ces derniers sont repris ci-dessous. Certains sont uniques, d'autres récurrents. Les coûts variables comprennent principalement les matières premières et les services de sous-traitance requis à l'exploitation de notre activité. Ces coûts sont scindés en trois catégories : le projet prototype *Solvay*, le projet de *scale up* pour 2 clients annuels et le projet *scale up* pour 6 clients annuels.

Dans le tableau récapitulatif des coûts, nous précisons à l'aide d'une croix la ou les année(s) où ceux-ci seront pris en compte.

L'analyse est évaluée pour une période de 11 ans : de 2017 à 2028. Cette estimation se base sur l'hypothèse que 2 années de R&D et d'implémentation d'un prototype sont nécessaires et que le procédé *ROS* est mis sur le marché en 2019. Les 10 années se basent sur la durée de vie des matériaux, au bout de laquelle nous devons renouveler les technologies *ROS* chez les clients : la première technologie est installée chez *Solvay* en janvier 2018 et doit donc être remplacée en 2029. À partir de 2020, les dépenses deviennent similaires et suivent toujours le même modèle.

2.2.1. Justification des coûts variables

Il convient de scinder les coûts des fournitures pour le projet *Solvay* des coûts pour la technologie *ROS* adaptée à un débit de 20m³/h.

Le coût des membranes pour le projet pilote s'élève à 8.355.672 euros. Il s'agit du nombre de membranes multiplié par le prix d'achat unique (5876 membranes x 1422 euros). Viennent ensuite les membranes de secours qui correspondent à 10% du nombre total des membranes, à savoir 588 membranes. Le prix de ces membranes est de 836.136 euros. Il convient d'acheter également deux pompes centrifuges immergées. Leur prix s'élève à 810 euros (405 euros la pièce) (Hollange, 2017). À cela, s'ajoute les accessoires complémentaires aux 6.464 membranes permettant de les relier entre elles : tuyaux, adaptateurs mâles, compresseurs pour adaptateur femelle et compresseurs pour adaptateur mâle. Le coût d'achat total des ces accessoires s'élève à 971.229 euros (Metrohm Belgium, 2017). Lors de la conception du système *ROS*, un expert HSE est requis pour vérifier la sécurité des installations en conformité avec la législation belge. Cette intervention est évaluée à 2.000 euros. 3 réservoirs sont prévus, 2 de 5 m³ pour réguler le flux et contenir les pompes immergées et un de 10 m³ pour récolter

les sels. La somme des 3 est évaluée à 10.000 euros (Alibaba, 2017). De plus, notre technologie installée à la sortie de l'effluent, nécessite un système de filtration des particules de sable et doit être ajouté au processus. L'entreprise *Siva-unit* nous a communiqué un devis pour un débit de $1\text{m}^3/\text{h}$. Ce dernier nous informe que le prix d'une installation automatisée de filtration tangentielle avec des membranes céramiques serait d'environ 130.000 euros (Grosnelly, 2017). Concernant les matériaux nécessaires à la solution aqueuse pour une année, nous comptons : 300 kg NaCl (à 7€ le kg, donc 2.100 euros) et 1.000 litres d'eau déminéralisée (0,55€/L, donc 550 euros). 3 analyses DXR (accompagnée chacune de deux analyses en chlorure de sodium) sont prévues pour attester la qualité des sels produits par le processus ROS. Celles-ci se feront via un laboratoire extérieur. Le prix annuel s'élève à 425 euros (Sinnaeve & Santoro, 2017). Le prix du système de concentration (ECOSTILL 2000) nécessaire pour extraire l'eau de la solution osmotique, afin de garder le niveau de concentration stable, s'élève à 1.306.800 euros. Ce prix correspond à 10 unités d'ECOSTILL 2000 avec une capacité de traiter $2\text{m}^3/\text{jour}$. Chaque unité à une valeur de 130.680 euros.

L'installation du système ROS dans l'usine *Solvay*, tout comme celle pour chaque futur client, nécessite l'intervention d'une entreprise de sous-traitance spécialisée dans ce domaine. Ce service s'élève à 9.000 euros. Ces coûts de services de maintenance et de transport des sels sont évalués à 19.415 euros par an.

En 2018, 6 mois par projet sont consacrés à l'adaptation de la technologie ROS à l'échelle industrielle (capacité de traitement de $20\text{m}^3/\text{h}$). Pour ce faire, si nous tablons sur la même concentration que le prototype *Solvay*, nous aurons besoin de beaucoup plus de membranes : 129.280 au total. Ce nombre se justifie par les 6.464 membranes requises (contenant les membranes de sécurité) pour le traitement de $1\text{m}^3/\text{h}$, multiplié par 20 pour la capacité de traitement ($20\text{m}^3/\text{h}$). Nous obtenons ainsi un total de 183.836.160 euros en matière d'investissement (129.280 membranes x 1.422€).

Nous faisons l'hypothèse qu'en 2018, nous préparerons les procédés ROS pour 2 clients, autrement dit 2 projets. Les coûts sont multipliés par 2 pour obtenir le total de l'année 2018. Les frais d'installation de la technologie par une entreprise externe s'élèvent à 18.000 euros par projet. La maintenance et le transport des sels coûtent annuellement 154.438 euros par client.

Nous faisons l'hypothèse qu'à partir de janvier 2020 nous installerons 6 technologies ROS par an. Ce qui signifie qu'au cours de l'année 2019, 6 projets doivent être préparés. Les mêmes

coûts (matériels nécessaires et matières premières) ont été multipliés par 6 pour obtenir un panorama des coûts de l'année 2019.

Les coûts des services de sous-traitance annuels pour ces 6 clients sont identiques à ceux imposés aux 2 clients en 2019.

2.2.2. Récapitulatif des coûts variables

Tableau 37 Récapitulatif des coûts variables (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

Intitulé	Prix annuel (€)	2017	2018	2019	t2020-2028
Projet pilote SOLVAY					
5876 Membranes	8.355.672	X			
588 Membranes de secours/nettoyage	836.136	X			
2 Pompes centrifugeuses	810	X			
Accessoires pour les 6196 membranes	971.229	X			
Expert HSE	2.000	X			
Réservoirs	10.000	X			
Système de filtration	130.000	X			
NaCl pour solution aqueuse	2.100	X	X	X	X
Eau déminéralisée	550	X	X	X	X
Analyse de la qualité des cristaux obtenus	425	X	X	X	X
Intervention annuelle des équipes ROS	3.500		X	X	X
Système de concentration ECOSTILL	1.306.800	X			
Système de monitoring	10.000	X			
Connection du système de monitoring à l'espace personnel client sur le site internet	1.000		X	X	X
Total coûts projet pilote	11.625.722	X			
	7.575		X	X	X

Services de sous-traitance					
Installation	9.000		X		
Maintenance	12.000		X	X	X
Transport des sels	7.415		X	X	X
Coûts totaux de sous traitement	28.415		X		
	19.415			X	X

SCALE UP 20 m³ (2 clients)					
117 520 Membranes/client	334.226.880		X		
11 760 Membranes de secours/nettoyage/ client	33.445.440		X		
2 Pompes centrifugeuses/client	12.200		X		
Accessoires pour les 129 280 membranes/ client	38.849.157		X		
Expert HSE	4.000		X		
Reservoirs	20.000		X		
1 Système de filtration/Client	5.200.000		X		
NaCl pour solution aqueuse	4.200		X	X	X
Eau déminéralisée	1.100		X	X	X
Analyse de la qualité des cristaux obtenus	850		X	X	X
Intervention annuelle des équipes ROS	7.000			X	X
Système de concentration ECOSTILL	52.272.000		X		
Système de monitoring	20.000		X		
Connection du système de monitoring à l'espace personnel client sur le site internet	2.000			X	X
Coûts totaux	464.055.827		X		
	11.650			X	x
Services de sous traitement					

Installation	36.000			X	
Maintenance	24.000			X	X
Transport	284.876			X	X
Coûts totaux de la sous traitance	344.876			X	
	308.876				X

SCALE UP 20 m³ (6 clients)					
117 520 Membranes/client	1.002.680.640			X	
11 760 Membranes de secours/nettoyage/ client	100.336.320			X	
2 Pompes centrifugeuses/client	36.600			X	
Accessoires pour les 129 280 membranes/ client	116.547.471			X	
Expert HSE	12.000			X	
Reservoirs	60.000			X	
1 Système de filtration/Client	15.600.000			X	
NaCl pour solution aqueuse	12.600			X	X
Eau déminéralisée	3.300			X	X
Analyse de la qualité des cristaux obtenus	2550			X	X
Intervention annuelle des équipes ROS	21.000				X
Système de concentration ECOSTILL	156.816.000			X	
Système de monitoring	60.000			X	
Connection du système de monitoring à l'espace personnel client sur le site internet	6.000				X
Coûts totaux	1.392.167.481			X	
	45.450				X
Services de sous-traitances					
Installation	108.000				X
Maintenance	72.000				X

Transport des sels	854.628				X
Coûts totaux de la sous traitance	1.034.628				X

3. Les coûts totaux

Le présent point met les coûts totaux et moyens annuels en évidence. Ces derniers permettent d'avoir une vue d'ensemble des coûts fixes et variables par année. Les coûts totaux sont la somme des coûts fixes et des coûts variables. Les coûts moyens sont les coûts totaux divisés par le nombre de clients acquis. Ces derniers se calculent comme suit :

$$CT = CF + CV$$

$$CM = CT / \text{clients}$$

3.1. Coûts pour l'année 2017

Sachant que pour l'année 2017, les coûts fixes sont évalués à 654.560 euros et que les coûts variables sont évalués à 11.625.722 euros, les coûts totaux s'élèvent à :

$$654.560 + 11.625.722 = 12.280.282 \text{ €}$$

Quant aux coûts moyens, ils sont évalués au même prix (12.280.282/1 client).

3.2. Coûts pour l'année 2018

En ce qui concerne l'année 2018, les coûts fixes correspondent à 541.885 euros et les coûts variables à 464.091.817 euros (7575+28.415+464.055.827).

Dès lors, les coûts fixes correspondent à :

$$541.885 + 464.091.817 = 464.633.702 \text{ €}$$

Les coûts moyens sont identiques (464.633.702/1).

3.3. Coûts pour l'année 2019

Pour l'année 2019, les coûts fixes sont estimés à 592.626 euros. Quant aux coûts variables, ils s'élèvent à 1.392.550.997 (7.575+19.415+11.650+344.876+1.392.167.481) euros. Dès lors, les coûts totaux sont évalués à :

$$592.626 + 1.392.550.997 = 1.393.143.623 \text{ €}$$

Quant aux coûts moyens, ceux-ci correspondent à 464.381.208 euros (1.393.143.623 /3).

3.4. Coûts à partir de l'année 2020

Finalement, les coûts fixes évalués pour l'année 2020 s'élèvent à 738.777 euros. Les coûts variables sont évalués à 1.427.594 euros (7.575+19.415+11.650+308.876+45.450+1.034.628).

Dès lors, les coûts totaux correspondent à :

$$738.777 + 1.427.594 = 2.166.371 \text{ €}$$

Quant aux coûts moyens, ils sont évalués à 240.708 euros (2.166.371/9).

3.5. Coûts à partir de l'année 2021

$$738.777 + 2.507.672 = 3.246.449 \text{ €}$$

En ce qui concerne les coûts moyens, ces derniers s'élèvent à 216.429 euros (3.246.449/15).

4. La politique de prix

2 aspects sont à prendre en compte, lorsque l'entreprise cliente choisit de s'engager avec ROS, deux types de contrats sont signés la première année : un contrat d'entreprise et un contrat de services. Le premier stipule que la technologie, son adaptation et son installation doivent être payés endéans un mois une fois que cette dernière a été installée et est fonctionnelle dans l'usine du client. Le deuxième, d'une durée de 10 ans (excepté pour le cas *Solvay 1m³*), établit le prix annuel du service de maintenance, de R&D et de la symbiose industrielle.

4.1 Cas *Solvay* 2017 : 1 m³/h

Comme mentionné dans le chapitre de la stratégie, en 2017 un contrat entre l'entreprise *Solvay* (le premier client de ROS) et l'entreprise ROS voit le jour.

Nous pensons qu'aucun client ne serait prêt à investir 9 millions d'euros dans une technologie qui n'a encore jamais fonctionné à échelle industrielle. Dès lors, ROS installe sa technologie à sa charge dans une des usines de *Solvay*. Ceci signifie que ROS supporte l'entièreté des coûts du contrat d'entreprise. De son côté, *Solvay* devra uniquement payer sur base annuelle le contrat de services. Dans ce cas-ci, le contrat de services est libellé sur 5 ans. Après ces 5 ans *Solvay* aura l'occasion de racheter la technologie et de renouveler son contrat de service.

4.1.1. Contrat de services avec clauses par année

Ce cas spécifique nécessite donc uniquement l'évaluation du prix du contrat annuel de services. Pour ce faire, nous allons, dans un premier temps, calculer le prix plancher, ensuite le prix technique pour finalement obtenir le prix final annuel de ce contrat.

a. Prix plancher

Comme précisé dans le chapitre sur le marketing opérationnel, le prix plancher ou autrement dit, le prix limite correspond au coût direct. Un coût direct se calcule comme suit :

Coût direct : Matières premières + Salaires directs + Frais de marketing directs

- Matières premières : NaCl pour la solution osmotique (2.100 €), eau déminéralisée pour la solution osmotique (550 €) et connection du système de *monitoring* à l'espace personnel client sur le site internet (1.000 €).

= 3.650 €

- Salaires directs :
 - Equipe ROS : 1 intervention annuelle pour renouveler la solution osmotique, pour prélever des cristaux, faire un état des lieux de tous les éléments du système, vérifier le système de *monitoring* et pour nettoyer en profondeur le système ROS (3500 €).
 - Intervention extérieure : 3 interventions par an d'un laboratoire externe sont requises pour vérifier la qualité des sels (425 €), 2 contrats de sous-traitances sont établis pour assurer la maintenance et le transport des sels (19.414, 56€).

Un client jouit durant l'année, d'un service de symbiose industrielle et de maintenance.

Le premier service englobe le transport et la livraison des sels commercialisés. Nous avons basé notre hypothèse de coûts sur Solvay qui n'a pas besoin des Na₂SO₄ recyclés et qui souhaite les revendre. Un client hypothétique souhaite acquérir ces sels, celui-ci se trouve à 24 km de Solvay. Le camion vient chercher les sels (23,8 tonnes) tous les 19 jours, ce qui revient à 19 transports par année (16,26 €/km x 24 km x 19 = 7414, 56 €/an).

Le service de maintenance vient tous les mois chez le client pour contrôler les pompes, le système de filtration, les membranes et la technologie ECOSTILL 2000. Le service est joignable 24 heures sur 24. Il est facturé 1.000 euros par mois (12.000 €/an).

= 23. 340 €

- Frais de marketing : déjà inclus dans le prix de la technologie (contrat d'entreprise).
= 0 €

Les coûts directs s'élèvent donc à 26.990 €

b. Prix technique

Quant au prix technique, il se calcule comme suit :

Prix technique : Coût direct + Frais fixes/quantité de nouveaux clients

Dans un premier temps nous allons d'abord composer les frais fixes pertinents à inclure dans le prix (basé sur l'année 2018, pour éviter de leur imputer les frais de constitution de la société).

- Loyer : 6.000 €
- Frais administratifs : 500 €
- Salaires de 2 fondateurs : 173.472 € (gestion quotidienne)
- Achat bureau : 30.000 €
- Maintenance du site internet : 2.460 €
- RH : 500 €
- Charges d'exploitation : 9.240€
- Assurances : 10.000 €

Les frais fixes s'élèvent à **232.172 €**

Sachant qu'en 2017, on estime vendre un procédé ROS, le prix technique correspond à :

Prix technique : $26.990 \text{ €} + 232.172 \text{ €}/1 = \mathbf{259.162 \text{ €}}$

c. Prix annuel du contrat de service

Nous souhaitons prendre une marge de 10 % justifiée par la R&D effectuée durant les deux années et l'investissement de départ conséquent.

Prix annuel : $259.162 + 25.916,2 = \mathbf{285.078 \text{ €}}$

Solvay doit donc payer annuellement **285.078 €** pour entretenir le système ROS.

4.2. Cas 2 clients 2019 : 20 m³

Nous faisons l'hypothèse que deux clients contacteront ROS en 2018, la recherche et l'adaptation de leur technologie se dérouleront lors de l'année 2018. C'est en janvier 2019 que les deux technologies sont installées et fonctionnelles chez chaque client respectif. Les deux contrats seront donc à payer en janvier 2019.

4.2.1. Contrat d'entreprise pour la première année

Nous allons, dans un premier temps, calculer le prix plancher, ensuite le prix technique pour finalement obtenir le prix final que le client doit payer pour acquérir et installer la technologie dans son usine.

a. Prix plancher

Comme précisé dans le chapitre sur le marketing opérationnel, le prix plancher, ou autrement dit, le prix limite correspond au coût direct. Un coût direct se calcule comme suit :

Coût direct : Matières premières + Salaires directs + Frais de marketing directs

- Matières premières : 117.520 membranes, 11.760 membranes de secours/nettoyage, 2 pompes centrifugeuses, accessoires pour les 129.280 membranes, réservoirs système de filtration, système de concentration ECOSTILL, système de *monitoring*, NaCl pour la solution osmotique et enfin, eau déminéralisée pour la solution osmotique.

= 232.025.488

- Salaires directs :

- L'équipe ROS : 6 mois de travail sont nécessaires pour analyser les effluents, commander les technologies adéquates en fonction des variables de l'entreprise cliente et construire le processus ROS. Durant l'année 2018 nous mobilisons un trio d'ingénieurs-chimistes par projet pendant une période de 6 mois. Ce trio est composé de deux fondateurs et d'un employé. Ceci correspond donc à 86.736 € + 36.153 euros. Les coûts comprennent le salaire brut et les cotisations patronales pour 6 mois.

- Intervention extérieure : analyse des cristaux par un laboratoire externe, l'installation du système ROS dans l'usine de notre client par une entreprise spécialisée sous-traitée par ROS (trois personnes nécessaires durant six jours : 18.000 €) et un expert HSE pour encadrer la construction du procédé ROS (2.000 €).

= 143.314€

- Frais de marketing directs : compte LinkedIn, présence aux salons professionnels et *Google Adwords*. Ces frais s'élèvent à 8.540 euros pour l'année 2019. En sachant que le nombre de clients s'élève à 2 cette année là, le prix par client est de 4.270 euros.

= 4.270 €

Les coûts directs s'élèvent donc **232.173.072 €**

b. Prix technique

Quant au prix technique, il se calcule comme suit :

Prix technique : Coûts directs + Frais fixes/quantité de clients

Le prix technique n'est pas pris en compte dans le prix de vente de la technologie (contrat d'entreprise), les frais fixes seront uniquement intégrés au contrat de service avec clauses qui est réglé annuellement durant 10 ans.

c. Prix de la technologie/ contrat d'entreprise

Nous souhaitons prendre une marge de 10 % justifiée par la R&D effectuée durant les deux années antérieures et l'investissement initial conséquent.

$$232.173.072 \text{ €} + 23.217.307,2 \text{ €} = 255.390.380 \text{ €}$$

Le client doit donc investir **255.390.380 €** pour acquérir et installer le system *ROS* dans son usine.

4.2.2. Contrat de service avec clauses par année

Nous allons, dans un premier temps, calculer le prix plancher, ensuite le prix technique pour finalement obtenir le prix final que le client doit payer annuellement pour entretenir la technologie *ROS*.

a. Prix plancher

Dans le cas d'un procédé d'une capacité de traitement de 20m³/h, le prix plancher se calcule comme suit :

Coût direct : Matières directes + Salaires directs + Frais de marketing directs

- Matières premières : NaCl pour la solution osmotique (2.100 €), eau déminéralisée pour la solution osmotique (550 €), connection du système de monitoring à l'espace personnel client sur le site internet (1.000 €).

$$= 3.650 \text{ €}$$

- Salaires directs :

- Equipe *ROS* : 1 intervention annuelle pour renouveler la solution osmotique, pour prélever des cristaux, faire un état des lieux de tous les éléments du système, vérifier le système de monitoring et pour nettoyer en profondeur le système *ROS* (3.500 €).

- Intervention extérieure : 3 interventions par an d'un laboratoire externe pour vérifier la qualité des sels (425 €) et deux contrats de sous-traitances (154.438 €).

Un client jouit toute une année de l'expertise technique et scientifique ainsi que de l'entretien de ses installations. Ceci comporte deux services :

Le premier englobe le transport et la livraison des sels commercialisés. Nous avons basé notre hypothèse de coûts sur *Solvay* qui n'a pas besoin des Na_2SO_4 recyclés et qui souhaite donc les vendre. Un client hypothétique souhaite acquérir ces sels, celui-ci se trouve à 24 km de *Solvay*. Avec un débit de $20 \text{ m}^3/\text{h}$, $9,41 \text{ m}^3/\text{jour}$ de sels sont produits. La capacité d'un camion tourne autour de 25 tonnes = $9,62 \text{ m}^3$. Le camion vient chercher les sels (25,05 tonnes) tous les jours, ce qui revient à 365 transports par an ($16,26 \text{ €/km} \times 24 \text{ km} \times 365 = 142.438 \text{ €/an}$).

- Le deuxième service est un service de maintenance. Chaque mois, une de nos équipes se rend chez le client pour contrôler les pompes, le système de filtration, les membranes et la technologie ECOSTILL 2000. Ce service est joignable 24 heures sur 24 et est facturé à 1.000 euros par mois (12.000 €/an).

= 158. 363 €

- Frais de marketing : déjà inclus dans le prix de la technologie

= 0 €

Les coûts directs s'élèvent donc à 162.013 €

b. Prix technique

Quant au prix technique, il se calcule comme suit :

Prix technique : Coût direct + Frais fixes/quantité de clients

Dans un premier temps nous allons déterminer les frais fixes.

- Loyer : 24.000 €
- Frais administratifs : 500 €
- Salaires de 2 fondateurs : 173.472 € (gestion quotidienne)
- Achat bureau : 30.000 €
- Maintenance du site internet : 2.460 €
- RH : 1.000 €
- Charges d'exploitation : 10.140€
- Assurances : 10.000 €

Les frais fixes s'élèvent à 251.572 €

Sachant qu'en 2019, on estime vendre 2 procédés *ROS* et qu'on possède déjà 1 client en 2018 (*Solvay*), le prix technique correspond à :

Prix technique : $162.013 + 251.572/3 = 245.871$ €

c. Prix annuel du contrat de service

Nous souhaitons prendre une marge de 10 % justifiée par la R&D effectuée durant deux années et par l'investissement de départ conséquent.

Prix annuel : $245.871 + 24.587,1 = 270.458$ €

Le client doit donc payer annuellement **270.458 €** pour entretenir le système *ROS*.

4.3. La politique de prix générale : à partir de 2020 pour 6 clients

Nous avons choisi d'établir la politique de prix de *ROS* sur l'année 2020. En effet, l'expérience cumulée durant les trois premières années et le taux de "production" de la technologie *ROS* se stabilise enfin. Nous faisons l'hypothèse qu'à partir de 2020, chaque année, 6 projets *ROS* seront menés à bien. La seule variable divergente pour calculer le coût des prochains contrats (clients 2021, 2022, etc.) est la quantité des clients qui augmente chaque année.

En 2020 nous mettrons au point et réaliserons les projets étudiés en 2019. En janvier 2020, la société *ROS* facturera ses diverses prestations.

4.3.1. Contrat d'entreprise pour la première année

Nous allons, dans un premier temps, calculer le prix plancher, ensuite le prix technique pour finalement obtenir le prix final que le client doit payer pour acquérir et installer la technologie dans son usine.

a. Prix plancher

Comme précisé dans le chapitre sur le marketing opérationnel, le prix plancher, ou autrement dit, le prix limite correspond au coût direct. Un coût direct se calcule comme suit :

Coût direct : Matières premières + Salaires directs + Frais de marketing directs

- Matières premières : 117.520 membranes, 11.760 membranes de secours/nettoyage, 2 pompes centrifugeuses, accessoires pour les 129.280 membranes, réservoirs, système de filtration, système de concentration ECOSTILL, système de monitoring, NaCl pour solution osmotique, eau déminéralisée pour solution osmotique.

= 232.025.488 €

– Salaires directs :

- L'équipe ROS : 6 mois de travail sont nécessaires pour analyser les effluents, commander les technologies adéquates en fonction des variables de l'entreprise cliente et construire le processus ROS. Nous mobilisons un duo d'ingénieurs-chimistes par projet durant 6 mois, composé d'un fondateur et d'un employé (3 duos sont dédiés à la réalisation des projets, chacun est chargé de 2 projets par an). Ceci correspond donc à 43.368 € + 36.153 € les coûts comprennent le salaire brut et les cotisations patronales pour 6 mois.
- Intervention extérieure : analyse des cristaux par un laboratoire extérieur. L'installation du système ROS dans l'usine de notre client par une entreprise spécialisée sous-traitée par ROS (trois personnes sont nécessaires durant six jours : 18.000 €) et enfin, un expert HSE pour encadrer la construction du procédé ROS (2.000 €).

= 99.946 €

- Frais de marketing directs : compte LinkedIn, présence aux salons professionnels, *Google Adwords*. Ces frais s'élèvent à 10.540 euros pour l'année 2020. En sachant que le nombre de clients s'élève à 6, le prix par client est de 1.756 euros.

= 1.757 €

Les coûts directs s'élèvent donc à **232.127.191 €**

b. Prix technique

Quant au prix technique, il se calcule comme suit :

Prix technique : Coût direct + Frais fixes/quantités clients

Le prix technique n'est pas pris en compte dans le prix de la vente de la technologie, les frais fixes seront uniquement intégrés au contrat de service avec clauses qui est réglé annuellement durant 10 ans.

c. Prix de la technologie/ contrat d'entreprise

Nous souhaitons prendre une marge de 10 % justifiée par la R&D effectuée durant deux années auparavant et l'investissement de départ.

232.127.191 € + 23.212.719,1 € = **255.339.910 €**

Le client doit donc investir **255.339.910 €** pour acquérir et installer le system *ROS* dans son usine.

4.3.2. Contrat de services avec clauses par année

Nous allons, dans un premier temps, calculer le prix plancher, ensuite le prix technique pour finalement obtenir le prix final que le client doit payer annuellement pour entretenir la technologie *ROS*.

a. Prix plancher

Dans le cas d'un procédé d'une capacité de traitement de $20\text{m}^3/\text{h}$, le prix plancher se calcule comme suit :

Coût direct : Matières directes + Salaires directs + Frais de marketing directs

- Matières premières : NaCl pour la solution osmotique (2.100 €), eau déminéralisée pour la solution osmotique (550 €), connection du système de monitoring à l'espace personnel client sur le site internet (1.000 €).

= 3.650 €

- Salaires directs :
 - Equipe *ROS* : 1 intervention annuelle pour renouveler la solution osmotique, pour prélever des cristaux, pour faire un état des lieux de tous les éléments du système, vérifier le système de *monitoring* et pour nettoyer en profondeur le système *ROS* (3.500 €).
 - Interventions extérieures : 3 interventions par an d'un laboratoire externe pour vérifier la qualité des sels (425 €) et 2 contrats de sous-traitance (154.438 €).

Un client jouit durant l'année d'un service de symbiose industrielle et de maintenance.

Le premier service englobe le transport et la livraison des sels commercialisés, nous avons basé notre hypothèse de coût sur *Solvay* qui n'a pas besoin des Na_2SO_4 recyclés, souhaitant les vendre. Un client hypothétique cherche à acquérir ces sels, celui-ci se trouve à 24 km de *Solvay*. On produit $9,41\text{ m}^3/\text{jour}$, soit 25,05 tonnes/jour. La capacité d'un camion est d'environ 25 tonnes. Le camion vient chercher les sels (25,05 tonnes) tous les jours, ce qui revient à 365 transports par an ($16,26\text{ €/km} \times 24\text{ km} \times 365 = 142.438\text{ €/an}$).

Le service de maintenance vient tous les mois chez le client pour contrôler les pompes, le système de filtration, les membranes et la technologie ECOSTILL 2000. Le service est joignable 24 heures sur 24 et est facturé 1.000 euros par mois (12.000 €/an).

= 158.363 €

- Frais de marketing : déjà inclus dans le prix de la technologie.

= 0 €

Les coûts directs s'élèvent donc à 162.013 €

b. Prix technique

Quant au prix technique, il se calcule comme suit :

Prix technique : Coût direct + Frais fixes/quantité de client

Dans un premier temps nous détaillons les frais fixes.

- Loyer : 24.000 €
- Frais administratifs : 500 €
- Salaires de 2 fondateurs : 173.472 € (gestion quotidienne)
- Achat bureau : 30.000 €
- Maintenance du site internet : 2.460 €
- RH : 500 €
- Charges d'exploitation : 10.140 €
- Assurances : 10.000 €

Les frais fixes s'élèvent à 251.072 €

Sachant qu'à partir de 2020, on estime vendre six procédés ROS, le prix technique correspond à :

Prix technique : $162.013 + 251.072/9 = 189.910$ €

c. Prix annuel du contrat de service

Nous souhaitons prendre une marge de 10 % justifiée par la R&D effectuée durant les deux années auparavant et l'investissement initial conséquent.

$189.910 \text{ €} + 18.991 \text{ €} = 208.901 \text{ €}$

Le client doit donc payer annuellement **208.901€** pour entretenir le système ROS.

4.3.3. Conclusion

Le client type devra donc payer 2 contrats pour obtenir la technologie *ROS* et entretenir celle-ci. Ces deux contrats sont scellés lors de l'accord de vente avant que le processus d'adaptation de la technologie ait commencé dans les entrepôts de *ROS*. Le montant de ces deux contrats devra être versé dès que l'installation *ROS* est placée dans l'usine du client et que celle-ci est fonctionnelle. Le contrat de services sera donc facturé annuellement durant 10 ans.

Tableau 38 Évaluation des coûts des contrats d'entreprise et services (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

Pour 1 client	Contrat d'entreprise	Contrat de services
2018 <i>Solvay</i> 1m ³	A charge de <i>ROS</i>	285.078 €
2019 20 m ³	255.390.380 €	270.458 €
2020 20m ³	255.339.910 €	208.901€
2021 20m ³	255.339.910 €	196.626 €

La politique de prix pour 2021 se trouve en Annexe R.

5. Révision des contrats de services à partir de l'année 2022

À partir de l'année 2022, tous les contrats de services seront revus à la baisse chaque année. Sachant qu'à partir de 2020, nous faisons l'hypothèse que nous acquérons 6 nouveaux clients par an, les coûts fixes vont dès lors diminuer année après année pour chacun des clients. En effet, pour établir les contrats de services annuellement, le prix technique est composé des coûts directs couplés aux frais fixes. Les frais fixes sont divisés par la quantité totale de clients acquis durant les années précédentes (étant toujours sous contrat avec l'entreprise *ROS*).

Nous avons choisi de ne pas revoir les contrats des clients déjà engagés avec l'entreprise *ROS* jusqu'en 2022, et ce même si nous sommes conscientes que les coûts fixes diminuent chaque année et que donc, le client qui a intégré la technologie *ROS* en 2019 paye annuellement le même montant malgré un nombre croissant de clients au fil des années. Ce choix a été fait délibérément pour compenser l'investissement dans le projet à échelle semi-industrielle *Solvay*.

L'année 2022 a été choisie sur base du contrat avec *Solvay*. Avec cette entreprise, nous avons l'espoir de signer un contrat de 5 ans prenant cours en 2017 et renouvelable pour une période de 5 ans. Par simplicité, nous avons choisi de commencer à revoir tous les contrats la même année, en 2022.

La diminution contractuelle des coûts fixes nous permettra de fidéliser nos clients.

6. Les sources de revenus et le chiffre d'affaires de ROS

ROS possède 3 sources de revenu différentes : 10% de marge sur les coûts totaux du contrat d'entreprise, 10 % de marge sur les coûts annuels compris dans le contrat de services et 50 % sur le profit de la vente des sels. Les deux premières ont été développées en profondeur dans le point précédent. La vente des sels issue du service de symbiose industrielle est expliquée ci-dessous.

Pour fidéliser notre client, nous avons décidé de lui donner 50 % du profit de la vente des sels obtenus lors du processus de recyclage ROS couplé au remboursement des frais de transport des sels. Ce qui signifie donc que ROS procure une nouvelle source de revenu à ses clients. Les autres 50 % du profit sont octroyés à ROS pour la fourniture de ses services, c'est-à-dire la gestion, l'organisation des transports, la recherche des clients et la qualité des produits.

Comme stipulé précédemment, lorsque les entreprises gardent les sels pour leur propre usage, aucune marge sur ces derniers n'est prise.

Une des conditions présentées dans les FCS (analyse Porter) pour vaincre la menace des substituts (les sels importés de Chine ou de Russie) concerne le prix des sels commercialisés : le prix du sel né de la symbiose industrielle doit être équivalent à celui importé. Pour rappel du Na_2SO_4 de qualité importé de Russie coûte entre 1180 à 1200 US \$ la tonne (ce qui équivaut entre 1055 à 1073 euros). Ceci sans compter les frais d'importation et la TVA. Basés sur ces informations nous avons décidé de vendre le Na_2SO_4 à 1.100 € la tonne ce qui équivaut à 1,1 € le kg.

En nous inspirant des données transmises par Solvay nous pouvons calculer combien la vente des sels engrangés par le traitement d'un débit de $1\text{m}^3/\text{h}$ et par le traitement d'un débit de $20\text{m}^3/\text{h}$ peut rapporter.

- $1\text{m}^3/\text{h}$: 475,18 tonnes de Na_2SO_4 récupérés annuellement

$$475,18\text{t/an} \times 1100\text{€/t} = 502.898\text{€/an}$$

- $20\text{m}^3/\text{h}$: 9143, 67 tonnes de Na_2SO_4 récupérés annuellement

$$9143,67\text{t/an} \times 1100\text{€/t} = 10.058.037\text{€/an}$$

Le profit fait sur la vente des sels peut être calculé comme suit : recette total de la vente des sels diminués par les coûts de transport de ces derniers.

- 1m³/h : 502. 898€/an - 7.414, 56 €/an = 495.483, 44 €/an
- 20m³/h : 10. 058. 037€/an - 142.438 €/an = 9.915.599 €/an

Le profit obtenu est réparti entre le client et ROS. Le client reçoit sa part de profit plus le remboursement des transports qu'il paye annuellement dans son contrat de services avec clauses, soit :

- 1m³/h : le client reçoit à la fin d'une année 255.156 € (7.414,56 € + 247. 741,72 €) ; ROS reçoit 247.741,72 €.
- 20m³/h : le client reçoit à la fin d'une année 5.100.237,5€ (142.438 € + 4.957.799,5 €) ; ROS reçoit 4.957.799,5€.

Les chiffres d'affaires de ROS pour les années 2017, 2018, 2019, 2020 sont récapitulés dans le **Tableau 39** :

Tableau 39 Les chiffres d'affaires de ROS pour les années 2017, 2018, 2019, 2020 (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

	2017	2018	2019	2020	2021
C.E	0	0	(255.390.380 € x2) = 510.780.760€	(255.339.910 €x6) = 1.532.039.460 €	(255.339.910 €x6) = 1.532.039.460 €
C.S	0	285.078 €	285.078 € + (270.458 € x2) = 825.994 €	285.078 € + (270.458 € x2) + (208.901€ x6) = 2.079.400 €	285.078 € + (270.458 € x2) + (208.901€ x6) + (196.626 € x6) = 3.259.156 €
V.S	0	247.741,72 €	247.741,72 € + (4.957.799,5 € x2) = 10.163.340,72 €	247.741,72 € + (4.957.799,5 € x2) + (4.957.799,5 x6) = 39.910.137,72 €	247.741,72 € + (4.957.799,5 € x2) + (4.957.799,5 € x6) + (4.957.799,5 € x6) = 69.656.934,72 €
CA		532.819,72€	521.770.094,72 €	1.574.028.997,72 €	1.604.955.551 €

7. Prévision du compte de résultats

Tableau 40 Compte de résultat prévisionnel (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

Compte de résultat	2017	2018	2019	2020	2021
Chiffre d'Affaires	0	532.820	521.770.095	1.574.028.998	1.604.955.551
Croissance					
Achats	11.623.297	464.059.477	1.392.139.581	1.392.185.781	1.392.207.681
Variation de stock	0	0	0	0	0
Marge brute	-11.623.297 €	-463.526.657 €	-870.369.486 €	181.843.217 €	212.747.870 €
Frais administratifs	65.118	500	500	500	500
Loyers	6.000	6.000	24.000	24.000	24.000
R&D	21.327	2870	0	0	0
Laboratoire externe	4.250	4.250	0	0	0
Achat matériaux de bureau	0	0	30.000	30.000	0
Salaires et cotisations	505.986	505.986	505.986	650.598	650.598
Site internet	30.060	2.460	2.460	2.460	2.460
Frais marketing	540	540	8.540	10.540	10.540
Frais RH	0	0	1.000	500	500
Autres charges d'exploitation	11.240	9.240	10.140	10.140	10.140
Assurances	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Expert HSE	2.000	4.000	12.000	12.000	12.000
Analyse de la qualité des sels	425	1.275	3.525	6.075	6.375
Intervention équipe ROS	0	3.500	10.500	31.500	52.500
Services de sous traitance	0	28.415	364.291	1.362.919	2.289.547
Total des frais	656.946 €	579.036 €	982.942 €	2.151.232 €	3.069.160 €
EBITDA	-12.280.243 €	-464.105.693 €	-871.352.428 €	179.691.985 €	209.678.710 €
Amortissements des imm. corp.					
Amortissement voiture	-400	-400	-400	-400	-400
Amortissements Prototype	-2.060.779	-2.060.779	-2.060.779	-2.060.779	-2.060.779
Amortissement mat. de bureau	0	0	-3.000	-6.000	-6.000
Amortissement mat. labo	-3.791	-3.791	-3.791	-3.791	-3.791
Amortissement site internet	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000	-6.000
EBIT (Résultat d'exploitation)	-14.351.213 €	-466.176.663 €	-873.426.398 €	177.615.015 €	207.601.740 €
Résultat financier	0	0	0	0	0
Résultat avant impôts	-14.351.213 €	-466.176.663 €	-873.426.398 €	177.615.015 €	207.601.740 €
Impôts (33,99%)	0	0	0	60.371.344	70.563.831
Résultat net	-14.351.213 €	-466.176.663 €	-873.426.398 €	117.243.671 €	137.037.909 €

8. Prévision des flux de trésorerie

Tableau 41 Tableau des flux de trésorerie prévisionnel (Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

Tableau des flux de trésorerie	2017	2018	2019	2020	2021
Recettes des clients	0	532.820	521.770.095	1.574.028.998	1.604.955.551
Paievements aux fournisseurs	11.625.722	464.093.167	1.392.519.397	1.393.566.775	1.395.515.603
Paievements au personnel	505.986	505.986	505.986	650.598	650.598
Paievements des intérêts et frais fin.	0	0	0	0	0
Paievements des impôts	0	0	0	60.371.344	70.563.831
Flux de trésorerie des opérations	-12.131.708 à	-464.066.353 à	-871.255.288 à	119.440.281 à	138.225.519 à
Acquisition d'immo.incorp.	900	0	0	0	0
Acquisition d'imm. corp.	323.270	2.870	30.000	30.000	0
Acquisition d'imm. Financières	0	0	0		0
Flux de trésorerie des inv.	-11.807.538 �	-464.069.223 à	-871.225.288 à	119.410.281 à	138.225.519 à
Augmentation externes du cap.	0	0	0	0	0
Acroissement des dettes	0	0	0	0	0
Remboursement des dettes	0	0	0	0	0
Flux de trésorerie du financ.	-11.807.538 �	-464.069.223 à	-871.225.288 à	119.410.281 à	138.225.519 à
Flux de trésorerie total	-23.939.246 à	-1.392.204.981 à	-2.613.705.864 à	358.260.843 à	414.676.557 à

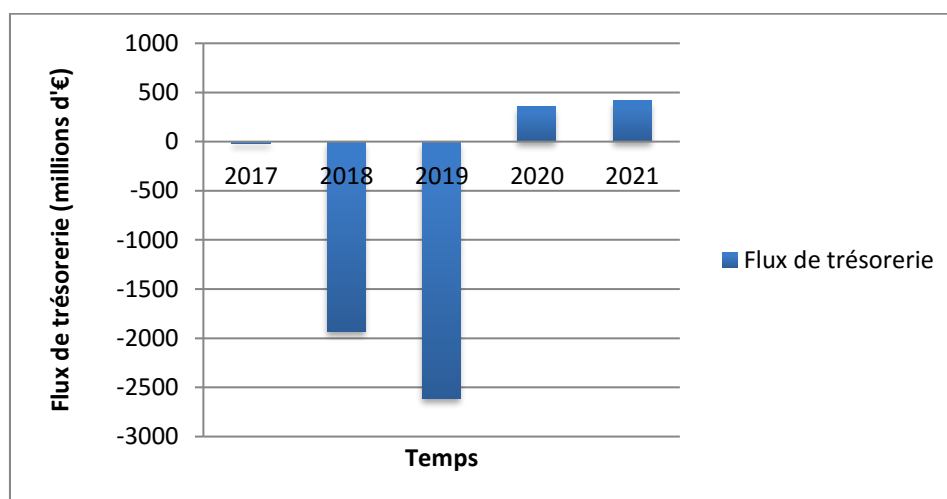


Figure 65 Diagramme des flux de trésorerie (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

9. Bilan prévisionnel

De par un investissement initial élevé à 460.913.984 euros requis pour le lancement de notre activité ainsi qu'un avantage compétitif inexistant comparé à la concurrence, nous devons malheureusement conclure qu'aucun investissement, subside ou prêt bancaire ne nous sera octroyé pour le lancement de l'entreprise ROS. Sachant en effet que la concurrence propose un service similaire au nôtre mais, à la fois doté d'une capacité de traitement des sels largement supérieure (50m³/h) et d'un prix de location beaucoup moins cher (10 millions d'euros sur 10 ans), nous ne pouvons imaginer qu'un investisseur décide d'investir de l'argent dans notre projet. Sachant qu'aucun capital ne nous sera prêté, aucune immobilisation ne pourra être achetée. Dès lors, nous avons décidé de ne pas insérer un bilan prévisionnel dans le plan financier.

10. Ratios

Tableau 42 Ratios (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

	2017	2018	2019	2020	2021
Taux de marge brute	-100%	-98994%	-166%	12%	13%
Délai paiement clients (jours)	-	193	176	58	57
Délai paiements fournisseurs (jours)	360	360	360	360	360
BFR (/jour de CA)	-	-318.048	-795	-273	-274
Taux de rentabilité net	-	-87500%	-167%	7%	8%
Ratio de productivité	0	88.803	86961682	196.753.624	200.619.444

Ces ratios démontrent la non faisabilité du projet. En effet, avec un taux de marge brute largement négatif pour les premières années, il est démontré que le chiffre d'affaires comparé aux achats est trop insuffisant. Ce n'est qu'à partir de la quatrième année qu'une marge positive est réalisée. Elle croît ensuite d'1 seul pourcent en 2021 alors que le nombre de vente a triplé. Cette constatation est confirmée par un taux de rentabilité net faible pour les années 2020 et 2021. À nouveau, tandis que notre entreprise triple son nombre de clients, le taux de rentabilité net ne fait qu'augmenter d'1 pourcent de 2020 à 2021. Les ratios délais de paiements confirment nos stratégies en matière de facturation vis-à-vis de nos clients et de nos dettes à payer envers nos fournisseurs. Grâce à ce choix, nous n'avons pas besoin de fonds de roulement (expliquant un ratio négatif pour toutes les années).

11. Le financement

Le financement d'une PME constitue un élément clé de son succès. Malheureusement, un autofinancement intégral de l'entreprise ne permet que très rarement d'assurer un taux de croissance suffisant. Dès lors, les entrepreneurs sont invités à recourir à des capitaux externes, propres ou empruntés. Ces derniers offrent *“un potentiel de croissance, qui, judicieusement exploité, devrait compenser, pour les fondateurs, la perte progressive, de contrôle sur le projet”* (Janssen, 2009, p.137).

11.1. Apports en capital

Une fois les coûts variables et fixes estimés ainsi que le capital de départ évalué, il convient de trouver des sources de financement. Tout au long de son activité, une PME passe par diverses phases. La **Figure 66** présentée ci-dessous met les étapes d'une entreprise en exergue, de son idée à sa maturité. À chaque étape, correspond une ou plusieurs source(s) d'investissement (Funhoff, 2016).

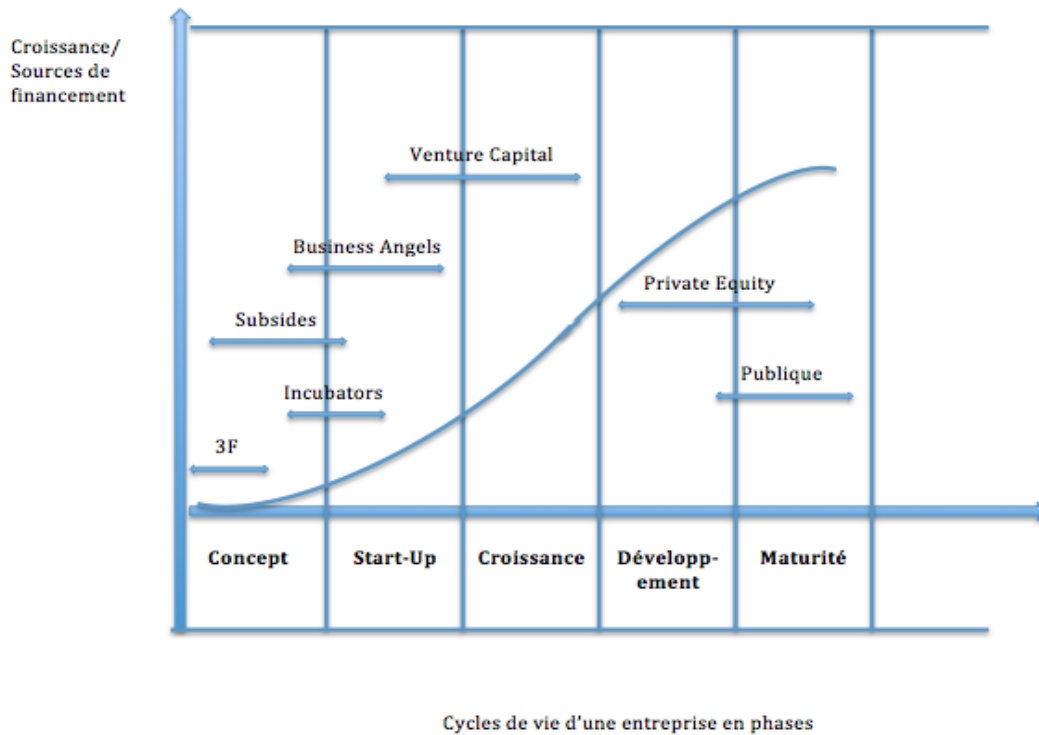


Figure 66 Sources de financement par cycle de vie d'une entreprise (Clérin, Dubray et Havenne, 2017)

11.1.1. Apports en capital inexistants pour le projet d'entreprise ROS

De par un investissement initial trop élevé couplé à un procédé de valorisation des sels non avantageux comparé aux offres de la concurrence, nous devons malheureusement conclure qu'un projet tel que le nôtre ne peut voir le jour. En effet, un investisseur ou un client potentiel ne serait prêt à investir pour un projet dont l'investissement initial s'élève à 11 millions d'euros pour traiter des eaux usées dont le débit s'élève seulement à $1\text{m}^3/\text{h}$. En effet, sachant que *France évaporation*, *Degrémont industry* et les autres concurrents proposent une technologie capable de valoriser, pour un prix inférieur au nôtre (10 millions d'euros), un débit allant jusqu'à $50\text{m}^3/\text{h}$, notre procédé ROS n'a tout simplement aucun avantage concurrentiel ou financier. Cet argument se confirme par l'investissement initial requis à la commercialisation d'un procédé ROS capable de traiter un débit de $20\text{m}^3/\text{h}$. Pour un tel débit, aucune entreprise ne serait prête à investir 255.339.910 euros pour acquérir la technologie alors que la concurrence offre un processus industriel similaire 25,5 fois moins cher.

Ce manque de rentabilisation est dû aux membranes inadaptées et insuffisamment performantes. Sachant que 6.464 membranes au prix initial de 1422 euros sont requises pour traiter 1m^3 de l'effluent par heure alors que le marché offre, pour un prix similaire, une

technologie dotée d'une capacité de traitement près de 50 fois plus élevée, il n'y a tout simplement aucune pertinence à poursuivre le projet *ROS*.

À titre d'information, la suite du présent point met en exergue des éléments intéressants quant aux sources de financement : des apports en capital ainsi que des subsides et aides.

11.1.2. Les 3F et les Incubators

Au début d'un projet d'entreprise, du concept à la Start-Up, les familles, les amis et les fous (3F : family, friends and fools) peuvent soutenir les entrepreneurs en investissant un certain capital. En général celui-ci est relativement faible. À ça s'ajoute les aides des Incubateurs (Funhoff, 2016).

11.1.3. Les Business Angels et les Venture Capitalist

De la phase de Start-Up à la phase de croissance, les entrepreneurs font appel à des *Business Angels* et/ou à des *Venture Capitalist*.

En plus de proposer un soutien financier traduit sous forme de prêts, les *Business Angels* mettent leurs connaissances et expériences à disposition des fondateurs. En général, le capital investi est relativement élevé mais limité dans le temps. En ce sens, qu'il n'est pas certain qu'un tel investisseur soit prêt à investir à plusieurs reprises dans un projet. Le capital maximum investi s'élève à 15.000 euros (Funhoff, 2016). Il est bon de préciser qu'un *Business Angel* exige un haut dividende sur ses actions.

Les *Ventures Capitalist* ont plus de capital à disposition. À la différence des *Business Angels*, les *Venture Capitalist* ont la capacité d'investir dans un projet lors de multiple cycles (Funhoff, 2016).

Lors de demandes de capitaux auprès de tels investisseurs, il est essentiel de montrer une transparence totale dans le plan financier. La confiance entre un entrepreneur et un tel investisseur est primordial pour que la société prospère. L'exactitude des informations fournies par l'entrepreneur aux investisseurs aura un impact sur l'évaluation de l'entreprise, et donc sur les actions. Plus l'information transmise semble correcte et complète, plus l'investisseur aura confiance en l'entrepreneur. Il estimera alors que la valeur de l'entreprise est élevée. Dans ce type de relation, il convient donc d'éviter une asymétrie d'information, c'est-à-dire, un manque d'information ou de fausses informations transmises. Sachant que l'objectif d'un entrepreneur reste l'évaluation de son *business*, il a tout intérêt à être le plus honnête possible (Funhoff, 2016).

Trouver de tels investisseurs est assez compliqué. Pour les *Business Angels*, ce sont les réseaux qui priment avant tout. Quant aux *Venture Capitalist* en Europe, Funhoff (2016) invite les entrepreneurs à se rendre sur le site internet suivant : www.evca.eu.

11.2. Autres sources de financement : les subsides et les emprunts

De plus, les entrepreneurs peuvent faire appel à des subsides ou à des emprunts bancaires. L'avantage est le gain d'indépendance. En effet, dans le cas d'un mix de sources de financement, les entrepreneurs dépendent moins des investisseurs tels que les *Business Angels* ou *Venture Capitalist* (exigeant de haut taux de rendement) et évitent de perdre le contrôle de leur entreprise en devenant des actionnaires minoritaires (Gregoire, 2016).

En ce qui concerne les subsides, Mentior (2017) nous informe que plusieurs aides régionales sont à disposition. Tout d'abord, il y a l'aide *First Spin-off*. Il s'agit d'un subside de 2 ans mis à disposition d'un chercheur. Cette aide financière permet à celui-ci de poursuivre sa recherche. Certes notre projet d'entreprise ROS ne peut faire l'objet d'une *Spin-off*, cependant comme mentionné ci-dessus, les informations fournies ici sont à titre d'information. Ensuite, il existe les avances récupérables et les subsides. Les avances récupérables sont des prêts allant jusqu'à 55% du budget requis pour l'élaboration d'un prototype. Dans l'hypothèse où notre entreprise a une chance de voir le jour, nous aurions pu recourir à cette aide pour le développement du prototype dont la capacité de traitement s'élève à 1m³/h. En ce qui concerne les subsides, ceux-ci sont octroyés pour de la recherche pure. Ici 45% à 50% du budget requis pour de la recherche est mis à disposition (Mentior, 2017). Ensuite, il y a également des aides en matières de marketing et de rédaction d'un plan d'affaires. Par ailleurs, les entreprises actives dans la R&D bénéficient d'une déduction d'impôts de 13,5% sur les coûts liés à la recherche. Pour terminer Mentior (2017), mentionne des aides à l'engagement d'ingénieurs.

Pour finir, il est possible de recourir à des emprunts bancaires. Malheureusement, cette forme de financement n'est pas conseillée, de par une réticence pour les PME. ainsi que des taux de remboursement élevés (Funhoff, 2016). Dès lors, dans l'hypothèse où notre projet d'entreprise avait une chance d'être constituée, nous n'aurions pas favorisé cette source de financement.

Conclusion

Tout au long de ce mémoire, plusieurs réflexions mènent à penser que le projet d'entreprise ROS ne peut voir le jour, de par sa non pertinence technique et non rentabilité financière.

Des informations telles que : les 5876 membranes requises pour recycler 1 m³ d'eau par heure, le coût d'achat d'une seule membrane élevé à 1.422 € (TVA compris), un coût de départ à près de 9 millions d'euros, la non brevetabilité de la technique, l'impossibilité de créer une *Spin-off*, l'accès manqué à des capitaux de l'*UCL* (matériels, immatériels, financiers), le non retour sur investissement pour les clients potentiels, l'offre non concurrentielle de *ROS*, laissent conclure que le projet *ROS* n'a aucune chance de voir le jour.

Cette hypothèse est confirmée plus concrètement par le présent plan financier, de par la mise en évidence des coûts et des revenus estimés, ainsi que par le compte de résultat prévisionnel.

En effet, sachant que pour les 2 premières années d'activité, un capital de départ élevé à près de 500 millions d'euros est requis et qu'à partir de la troisième année, nous avons besoin de 1,39 milliards d'euros, il est pratiquement impossible d'imaginer que nous obtiendrons une source de financement. Or sans capitaux, il est impossible d'acquérir des immobilisations et donc de débiter une activité commerciale.

Conclusion

Bien que la nouvelle application donnée par le professeur Patricia Luis Alconero soit innovante et prometteuse et que, parallèlement, diverses constatations nous encouragent à penser que des opportunités sont à saisir, nous devons malheureusement conclure, qu'à ce jour, la commercialisation du procédé ROS est déconseillée. Malgré des identifications encourageantes en ce qui concerne les besoins, les contextes environnementaux et un marché opportun ainsi que des choix pertinents en matière de stratégie, de production et de marketing, laissant espérer la faisabilité du projet, plusieurs arguments nous amènent à clore ce plan d'affaires en stipulant, qu'après mûre réflexion, il n'est pas judicieux de poursuivre le projet ROS. Ce choix est étayé par plusieurs arguments :

Tout d'abord le choix et l'utilisation de membranes non adaptées au procédé ROS. Sachant que pour le traitement de 1 m³/h près de 6.000 membranes sont requises et que pour le traitement d'un débit de 20 m³/h 129.280 membranes sont nécessaires, l'acquisition des matériaux implique un coût d'investissement qui, selon nous, semble trop important.

En effet, sachant que les investissements nécessaires pour le projet prototype *Solvay* et le scale up à 20 m³/h sont évalués à plus de 12 millions d'euros pour la première année, de 464 millions d'euros pour la deuxième année, pour ensuite atteindre un investissement de 1,3 milliards d'euros la troisième année, il nous semble judicieux de considérer ces montants comme trop élevés pour intéresser un quelconque investisseur ou prêteur de fonds. Or, sans capitaux, il est impossible d'acquiescer des immobilisations et donc d'exploiter une activité commerciale.

Ensuite, nous avons appris que notre procédé ne pouvait malheureusement pas être brevetable de par son manque d'inventivité. Or, sans le dépôt d'un brevet, les chances sont minimes pour que l'UCL s'intéresse à notre entreprise. Dès lors, notre société ne pourrait constituer une *Spin-off* et jouir des ressources de l'université (financières, matérielles, intellectuelles). Par ailleurs, nous pourrions moins facilement bénéficier du fonds Vives qui investit généralement un capital important dans une *Spin-off* et de son effet boule de neige. De par sa notoriété, l'implication de Vives dans une *start-up* attire d'autres investisseurs mis en confiance, pouvant également s'impliquer dans l'entreprise.

Enfin, en matière de cristallisation des sels, notre procédé ROS ne semble offrir aucun avantage une fois comparé aux technologies des concurrents. Celles-ci sont en effet moins chères à l'investissement (10 millions d'euros), plus petites et plus complètes en termes d'application

et d'avantages. Parallèlement, le procédé *ROS*, pour respecter ses valeurs ne peut pas rejeter de sels dans la nature. Il doit donc être complété par un système de concentration (*ECOSTILL* 2000) et n'est plus, de par l'ajout de cette technologie, compétitif en termes de consommation énergétique. En effet, *ROS* consomme 333,6 kWh par m³ d'effluent traité. 97 % de cette consommation est attribué à *ECOSTILL* 2000. Or, la concurrence la plus énergivore se situe entre 70 et 120 kWh/m³ d'effluent traité.

Ne possédant aucune source potentielle de capital, n'ayant ni trouvé de fournisseur de membrane avec un rapport qualité/prix suffisamment intéressant pour le projet *ROS*, ni trouvé un ingénieur civil potentiellement intéressé par le projet *ROS* (dû à sa non faisabilité), *ROS* ne possède pas les capacités seuils nécessaires pour entrer sur le marché du recyclage des eaux usées industrielles et égaler ses concurrents.

De plus, la plupart des capacités distinctives de *ROS* identifiées au début du mémoire et nécessaires pour dompter la concurrence ne sont plus valides : la brevetabilité de la technologie, l'implication de Patricia Luis Alconero et Israel Ruiz dans le projet (étant plus intéressés par la recherche à l'UCL que la commercialisation) ainsi que les partenariats évoqués (sans brevetabilité les propositions de partenariats avec l'entreprise *VITO* et l'entreprise *Manecto* sont remis en question).

Ces constatations incitent à penser qu'à moins qu'il y ait des changements en matière de stratégie ou d'offre de membranes et qu'à moins qu'on ne trouve une alternative au système de concentration de la solution osmotique actuelle, aucun retour sur investissement ne peut voir le jour.

Ceci nous amène à une réflexion sur d'éventuelles pistes de solutions. La première partirait de l'hypothèse qu'endéans les 5 prochaines années, le marché des membranes aura suffisamment évolué pour offrir la ou les membranes adaptée(s) à notre procédé. La seconde parierait sur un changement de stratégie mais toujours axé sur la production de sels locale. La troisième se focaliserait uniquement sur un service proposé par *ROS* dans ce mémoire : le service de symbiose industrielle. La dernière option consisterait en un revirement de situation total, attaquer le secteur pharmaceutique.

Selon la première piste, les recherches en technologies membranaires évoluent rapidement et permettent d'élaborer des membranes plus efficaces et performantes, si bien qu'une membrane parfaitement adaptée au service *ROS* serait mise sur le marché. Ceci permettrait alors de substituer les milliers de membranes requises auparavant par un matériel unique. Cette

première hypothèse nous semble relativement plausible de par l'avancement des recherches constaté à ce jour dans la littérature. En effet, la **Figure 67** montre l'évolution des recherches scientifiques sur la cristallisation membranaire, technologie employée au sein de *ROS*. Cette courbe croissante met en évidence l'attrait du monde de la recherche pour le développement de ce procédé de traitement de solutions (déchets liquides dans notre cas), ce qui est également prometteur pour l'invention de technologies, comme les contacteurs membranaires, qui seraient plus efficaces dans le futur. Nous émettons donc l'hypothèse que, d'ici plusieurs années, il sera possible d'acquérir un contacteur membranaire unique commercialisé à un coût totalement abordable.

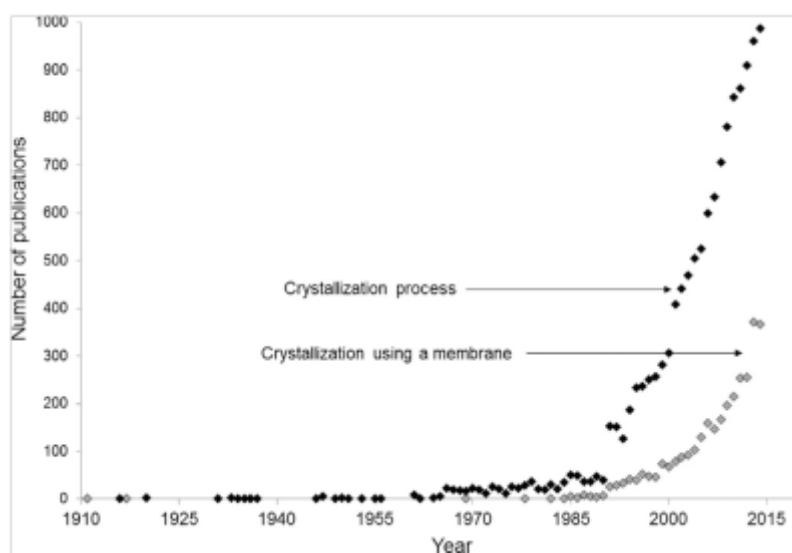


Figure 67 Evolution du nombre de publications par année dans les journaux scientifiques qui incluent les mots-clés: "Crystallization" (black diamond) et "membrane crystallization ou membrane distillation" (gray diamond).

ISI Web of Science, Avril 2015" (Chabanon et al., 2016)

D'ailleurs, notre fournisseur *3M*, nous a récemment proposé un type de contacteur membranaire adapté à une échelle industrielle (*Liqui-cel*). Le module industriel contient une surface de 53m² et coûte, frais de port compris, 3.900 US dollars (3.461 euros). Par exemple, pour l'échelle pilote, nous aurions besoin de 156 modules, ce qui reviendrait à une facture de 608.400 US dollars (539.864 euros). Ceci représente donc 15,2 % du coût évalué précédemment pour le projet pilote Solvay, nous diminuons donc de 84,8 % le prix. Ce qui représente un investissement raisonnable constituant donc une piste de solution plausible. Pour l'échelle industrielle (20 m³), l'investissement pour les membranes tournerait autour de 10.797.280 euros, se rapprochant donc dès lors de la fourchette de prix des concurrents.

Pour mettre en oeuvre la deuxième piste, un changement total de stratégie s'impose. Le *core business* serait non plus le recyclage des eaux usées industrielles mais **la revente des sels recyclés**. C'est-à-dire que notre *start-up* proposerait un service de dépollution des eaux usées industrielles à quelques entreprises dispersées sur le site belge en échange de la récupération de leurs sels. Concrètement, notre entreprise installerait sa technique de recyclage au sein des usines sélectionnées. Ce service proposé serait gratuit. L'installation et l'achat de la technologie seraient donc à nos frais. Ainsi, l'entreprise verrait ses eaux usées industrielles recyclées, ses impôts sur les sels diminués et son image de marque améliorée. En contrepartie, notre entreprise détiendrait à 100% les eaux usées et par conséquent, les matières recyclées, notamment les sels. L'activité principale de *ROS* serait donc la commercialisation de sels produits localement.

Nos clients cibles seraient les usines dont le processus de production requiert des sels et souhaitant acheter ces matières premières localement plutôt que de les importer des pays étrangers. Grâce à nous, ces entreprises réduiraient leurs coûts d'importation, leur empreinte environnementale, leurs taxes et amélioreraient leur image.

Les sels recyclés seraient vendus au même prix que ceux commercialisés dans les pays étrangers tels que la Chine, la Russie, etc. À titre d'exemple, le prix de vente s'élèverait à 1,5 euros par kilogramme.

Pour que cette réorientation de stratégie soit possible, il convient de substituer les 5.876 membranes requises par un système compact (une membrane ou seulement quelques modules). Ce dernier serait adapté, performant, peu énergivore et accessible en prix. Malheureusement, les fondateurs actuels ne possèdent pas les connaissances et compétences requises pour créer une telle technologie. Comme stipulé précédemment, l'entreprise *3M* propose déjà des membranes plus adaptées à notre processus mais que nous estimons ne pas être suffisamment performantes. Dès lors, nous souhaitons créer un partenariat avec un centre de recherche doté des équipes et des moyens techniques et financiers adaptés. Suite à une entrevue avec des ingénieurs du centre de recherche *VITO*, nous avons appris que des moyens existent pour l'éventuel développement d'une telle technologie. C'est ainsi que nous faisons l'hypothèse **qu'un partenariat est possible avec un centre de recherches en vue de créer le procédé parfait**. Celui-ci pourrait être envisagé avec le centre de recherche *VITO*, situé à Mol. Concrètement, le centre de recherches est chargé de développer une technique parfaitement adaptée à notre demande endéans une période de deux à trois ans pour mettre en place la technique de valorisation de sels idéale. Les coûts techniques et financiers en matière de

recherche sont entièrement à sa charge. En contrepartie, le centre de recherche détient de larges parts dans notre société (jusqu'à 30 pourcents). Une fois la technologie mise au point, nous nous chargeons de sa commercialisation et de son installation auprès des clients. Par ailleurs, nous nous engageons à offrir un bon service après-vente. La production est la responsabilité de notre partenaire. Elle peut être le fruit de son travail ou d'un de ses sous-traitants.

Un deuxième partenariat pourrait être établi avec un pôle de compétitivité localisé dans le Brabant Wallon qui nous permettrait de bénéficier des aides et des subsides de la région wallonne. Celles-ci sont en effet plus accessibles que les aides flamandes (Mentior, 2017).

La troisième solution est inspirée d'un des pionniers du mouvement circulaire : Damien Dallemagne. En effet, lors de notre entretien ce conseiller en économie durable, M. Dallemagne nous avait suggéré de nous orienter vers un service unique de collaboration industrielle. Notre service consisterait donc à mettre en connexion des entreprises possédant des ressources à l'heure actuelle considérées comme "déchet" et des entreprises en quête de ces matières pour leur processus de production. M. Vertcoûtere, M. Dallemagne nous ont confirmé que de tels services n'existaient pas encore, à leur actuelle en Belgique, nous pourrions donc jouir du *first move advantage* et profiter de ce qu'on appelle un *océan bleu*. Les entreprises *AGC Glass* et *Saint Gobain* nous ont fait part de leurs recherches actives pour se procurer des matières premières locales. À long terme, nous pourrions orienter notre entreprise vers une entreprise de conseil et d'accompagnement de toutes les usines dans le cadre d'une réduction des eaux usées.

La dernière piste de solution redirigerait le projet *ROS* vers une toute autre activité : proposer une alternative moins énergivore aux outils de concentration employés actuellement dans le secteur pharmaceutique. Le *core business* concernerait toujours les membranes, mais cette fois, la nouvelle application donnée aux contacteurs membranaires consisterait à l'exploitation de cette dernière dans l'optique de cristalliser des médicaments. Ce qui correspond à l'étape de purification de ce dernier lors de leur production. Notre mode opératoire serait une stratégie *pull* (faire venir l'idée des clients), nous contacterions des clients potentiels tels que *Pfizer* et *GSK* pour leur demander exactement leurs attentes. Cette alternative nous a été fortement conseillée par le professeur Lacroix, expert dans la chimie industrielle.

Recul critique

Ce mémoire pluridisciplinaire nous a permis d'acquérir de bonnes compétences entrepreneuriales. Il nous a en effet appris à travailler en groupe, à confronter nos connaissances académiques à la réalité du terrain et à faire preuve d'un recul critique. Tout au long de ce travail de fin d'études, nous avons rencontré plusieurs embûches et relevé certaines incohérences qui méritent d'être pointées du doigt.

Une première constatation concerne la crédibilité accordée à l'étudiant dans le monde *BtoB*. À plusieurs reprises, notre statut d'étudiante a été compliqué le recueil d'informations nécessaires à l'établissement du plan d'affaires. Ce fut certainement le cas lors de prises de contact avec les entreprises concurrentes. Malgré nos nombreuses démarches auprès d'elles, très peu d'informations ont été délivrées.

Une deuxième constatation porte sur notre stratégie en matière d'économie circulaire. Dans notre business modèle, nous ne pouvons pas réaliser de bénéfice sur les sels qui sont recyclés et réutilisés dans une même usine. Dès lors, il est plus intéressant économiquement parlant, de nous concentrer sur les usines n'ayant pas besoin de leurs sels recyclés en tant que matière première. Ceci étant une situation prévisible, *ROS* ne serait plus en ligne avec un des paramètres de sa mission : soutenir l'économie circulaire.

Une troisième constatation concerne les données nécessaires à notre analyse de marché cible, à notre plan de production et au plan financier. Toutes les données telles que la composition des effluents des industries, le montant des taxes généralement imposées sur les sels et la moyenne annuelle des taxes sur les eaux usées industrielles ainsi que le nombre total de sels relâchés dans la nature sont des informations confidentielles et bien gardées par les entreprises. Tout ceci constitue un sujet sensible pour les entreprises.

Par manque d'informations reçues, nous avons donc dû baser l'entièreté de ces chapitres sur les données standard d'effluents transmises par l'entreprise *Solvay*. Bien que cette entreprise stipule qu'il s'agit d'une bonne référence en matière de composition d'effluents industriels pour les industries, nous avons conscience que l'entièreté de nos recherches et conclusions ne reposent que sur une source. De plus, les données "standard" portent sur un effluent d'un débit de 1 m³/h. Or, la concurrence traite en générale un débit de 20 à 50 m³/h. Quelles données sont alors réellement "standard"?

À l'avenir, il conviendrait de trouver des débits et compositions supplémentaires.

Une quatrième constatation s'articule autour du concentrateur (Ecostill 2000) requis pour la solution osmotique. Ce dernier est un évaporateur, très énergivore et est donc opposé aux valeurs et à la mission prônées par *ROS*. Nous avons conscience que cette technologie nécessite énormément d'énergie (97% de l'énergie totale du procédé *ROS*) et qu'elle empêche un positionnement favorable en matière de consommation énergétique, pourtant nous n'avons pu, à ce jour, trouver d'autres solutions acceptables. Des recherches futures devraient être consacrées à ce procédé afin de le remplacer par une solution moins énergivore.

Une dernière constatation a trait à la comparaison de membranes proposées par des fournisseurs différents. Par facilité, nous avons retenu la membrane déjà utilisée dans les différentes recherches effectuées précédemment par l'UCL : celle fournie par *Liqui-cel*. Or, celle-ci s'avérant inadaptée à la proposition de service *ROS* aurait dû, en cours de route, être remplacée par une autre, plus adaptée. Par manque de connaissances, de contacts en matière d'offre de membranes et de temps pour réaliser les analyses de caractérisation de la membrane, nous n'avons pu procéder à l'évaluation des différents fournisseurs identifiés dans l'analyse de Porter. À refaire, nous commanderions un modèle de chaque fournisseur et procéderions à des tests de comparaison en laboratoire. En fin d'année académique, l'entreprise *3M* nous a proposé un autre modèle de membrane. Malheureusement cette proposition arrivait trop tard.

C'est ainsi que s'achève l'aventure *ROS*.

Bibliographie

3M. (2017). *Liqui-Cel technology*. En ligne http://www.3m.com/3M/en_US/liquicel-us/.

3M. (2017). *Qui sommes-nous?* En ligne http://solutions.3mbelgique.be/wps/portal/3M/fr_BE/about-3M/information/about/us/.

Actualités du droit belge. (s.d.). *Droit des affaires : droit des sociétés : Les différentes formes de sociétés*. En ligne <http://www.actualitesdroitbelge.be/droit-des-affaires/droit-des-societes/les-differentes-formes-de-societes/les-societes-dotees-de-la-personnalite-juridique>.

ADEME. (2017). *La chaîne du recyclage : du produit au produit en passant par le déchet*. En ligne <http://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-laction/valorisation-matiere/dossier/recyclage/chaine-recyclage-produit-produit-passant-dechet>, consulté le 20 février 2017.

ADEME. (2014). *Le bruit et les nuisances sonores en quelques chiffres*. En ligne <http://www.ademe.fr/expertises/air-bruit/chiffres-cles-observations/dossier/bruit-lenvironnement/chiffres-cles>, consulté le 30 mars 2017.

AGC Glass Europe. (2017). *Le verre : réponse à un éventail croissant de besoins*. En ligne <http://www.agc-glass.eu/fr/produits>.

Al-Tarazi, M. (2004). *Gas-Liquid Precipitation of Water Dissolved Heavy Metal Ions Using Hydrogen Sulfide Gas*. Thèse de doctorat. Université de Twente, Enschede, 189 pages
Promoteur : G.F. Versteeg. En ligne http://doc.utwente.nl/41412/1/thesis_AL_Tarazi.pdf, consulté le 28/05/2017.

Ali, A. Quist-Jensen, C. Macedonio, F. Drioli, E. (2015). Application of membrane crystallization for minerals' recovery from produced water. *Membranes*, 5. 772-792. doi: [10.3390/membranes5040772](https://doi.org/10.3390/membranes5040772)

Alibaba. (2017). *Stainless steel water storage*. En ligne https://www.alibaba.com/product-detail/10m3-stainless-steel-sectional-water-storage_60111066711.html?spm=a2700.7724838.0.0.esjAK2, consulté le 20 mai 2017.

Altman, R. (2016). *HR Organizational Structure-Past, Present, and Future*. En ligne <http://www.peopleserv.com/userfiles/Roy%20Altman%20-%20WSRJuly16web-3.pdf>.

Amara, A. & Bensebaa, F. (2009). La mise en oeuvre des pratiques socialement responsables : entre déterminisme et comportements proactifs. *Management & Avenir*, 5(25), 15-35. En ligne <http://www.cairn.info/revue-management-et-avenir-2009-5-page-15.htm>.

Baok, G. (2007). *Pollution des eaux et rivières et impact sur les populations riveraines: cas de la rivière Mgoua dans la zone industrielle de Douala-Bassa*. Mémoire de master en gestion de l'eau. Faculté d'agronomie et des sciences agricoles. Université de Dschang. Prom : Fru FONTEH, Mathias. (1-29). En ligne <http://www.memoireonline.com/04/12/5607/Pollution-des-eaux-et-rivieres-et-impact-sur-les-populations-riveraines-cas-de-la-riviere-Mgoua-d.html>

beCompta. (2015). *Taux ISOC*. En ligne <https://www.becompta.be/dictionnaire/taux-isoc>.

Bertin, P. (s.d.). *ECOSTILL by TMW. Traitements des effluents industriels*. En ligne http://www.tmw-technologies.com/wp-content/uploads/2014/07/ecostill-A4_01_2014.pdf.

Biotop. (s.d.). *Nos produits*. En ligne <http://www.biotopeco.be/nos-produits/>.

Block, C., & Vandecasteele, C. (2010). *Milieurapport Vlaanderen MIRA Achtergrond document sector industrie*. En ligne http://www.milieurapport.be/Upload/main/AG_2010%20Industrie_def_TW.pdf.

Bovy, A., Buntinx, B., Durieux, P., Ooms, F., Poupaert, N., Vandemeulebroecke, A., & Van den Hove, L. (2012). *Commercialisation: Guide création de Spin off, V1.0*. En ligne http://www.ltto.com/upload/documents/Guide_Spin-off_aux_couleurs_du_LTTO_Novembre_2012.pdf.

Brand, H., Fortes, A., Wood, I., Knight, K., & Vočadlo, L. (2009). The thermal expansion and crystal structure of mirabilite (Na₂SO₄·10D₂O) from 4.2 to 300 K, determined by time-of-flight neutron powder diffraction. *Physics and Chemistry of Minerals*, 36 (1). 29–46. En ligne <http://dx.doi.org/10.1007/s00269-008-0256-0>.

Braudo, S. & Baumann, A. (2017). *Définition de Sous-traitance*. En ligne <http://www.dictionnaire-juridique.com/definition/sous-traitance.php>.

Brito Martinez, M., Jullok, N., Rodriguez Negrin, Z., Van der bruggen, B., & Luis, P. (2014). Membrane crystallization for the recovery of a pharmaceutical compound from waste streams. *Chemical Engineering Research and Design*, 92. 264-272. En ligne <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.07.029>.

Bruxelles environnement. (2015). *Eaux usées et pollution*. En ligne <http://www.environnement.brussels/thematiques/eau/leau-bruxelles/eaux-usees-et-pollution>.

Buchert, V., de chez Merck Group. (2017, Mai). Échange d'e-mails.

Cadreemploi. (s.d.). *Soyez le moteur de votre recherche*. En ligne <https://www.cadreemploi.fr/>.

Canada, Gestion des ressources hydriques Manitoba et Santé Manitoba (2011). *La turbidité dans les sources d'approvisionnement en eau au Manitoba*. 3 pages. En ligne

https://www.gov.mb.ca/waterstewardship/odw/public-info/fact_sheets/pdf/fr/factsheet_turbidity_fr.pdf.

Cappellin, O. (2015). *Enquête auprès des entrepreneurs Environnement et Entreprises*. En ligne http://www.environnement-entreprise.be/sites/uwe-environnement/files/Docs/articles/dynamisme254_enquete_envientreprisescce.pdf.

Cappelin, O., responsable de la Cellule Environnement Union Wallonne des Entreprises. (2017, mars). Communications téléphonique le 20 mars 2017 et échange e-mails.

Captain contrat. (2017). *Les modèles de contrat de sous-traitance : Pourquoi s'en méfier ?*. En ligne <https://www.captaincontrat.com/articles-contrats-commerciaux/modele-contrat-sous-traitance>.

Carry, D. (2014). Louer ou acheter l'usage, une interprétation écocitoyenne de l'offre de service - cas des biens en partage. *Management & Avenir*, 7(73), 93-106. En ligne <http://www.cairn.info/revue-management-et-avenir-2014-7-page-93.htm>.

Cellab. (2017). *Contract Development & Manufacturing*. En ligne <http://www.cellab.eu/en/customized-modules/cell-cultivation-modules.html>, consulté le 28 avril.

Cetiat. (s.d.). Récupération de chaleur fatale industrielle des économies d'énergie à la clé. *Compression mécanique de vapeur (CMV) ou Recompression Mécanique de Vapeur*. En ligne <http://www.recuperation-chaleur.fr/compression-mecanique-vapeur-cmv-recompression-mecanique-vapeur>, consulté le 21 mai 2017.

CCI FRANCE BELGIQUE. (2017). *Secteurs clés*. En ligne <http://www.cfc.be/belgique/aspects-economiques/secteurs-cles/>.

Chabanon, E., Mangin, D., & Charcosset, C. (2016). Membranes and crystallization processes: State of the art and prospects. *Journal of Membrane Science*, 509. Pages: 57-67. En ligne <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2016.02.051>.

Chapelle, G. (2017). *Regenerative economy : Nature guidance for the regenerative economy*, LLSMX2001. Slides cours 4, Université catholique de Louvain, diffusion sur Moodle.

Chaussade, J. (2014). Suez Environnement. *Document de référence 2014*. En ligne http://www.zonebourse.com/SUEZ-SA-3808803/pdf/527418/Suez%20SA_Document-de-reference.pdf.

Chen, J. P. (2012). *Decontamination of Heavy Metals: Processes, Mechanisms, and Applications*. Boca Raton: CRC Press.

Chesselet. (s.d.). Eutrophisation. En ligne sur Encyclopédia Universalis <http://www.universalis.fr/encyclopedie/eutrophisation/>, consulté le 20 mai 2017.

Clark, A. (2017). *SEO 2017: Learn search engine optimization with smart internet marketing strategies*. Kindle.

Cole-Parmer. (2017). *Masterflex Pump Tubing, Puri-Flex, L/S 16, 25 ft*. En ligne <https://www.coleparmer.com/i/mn/9641916>, consulté le 6 mai 2017.

Cole-Parmer. (2017). *Masterflex L/S Variable-Speed Drive w/ Remote I/O; 600 rpm*. <https://www.coleparmer.com/i/masterflex-l-s-variable-speed-drive-w-remote-i-o-600-rpm/0752810?searchterm=0752810>, consulté le 6 mai 2017.

Colgate-Palmolive. (2017). *Nos produits*. En ligne

<http://www.colgate.be/fr/products/index.shtml>.

Collège of Science. (s.d.). *Determination of Chloride Ion Concentration by Titration (Volhard's Method)*. University of Canterbury. En ligne

http://www.outreach.canterbury.ac.nz/chemistry/documents/chloride_volhard.pdf.

Commission européenne. (2003). *Pollution industrielle, solutions européennes: les technologies propres*. Life focus. En ligne

http://ec.europa.eu/environment/life/publications/lifepublications/lifefocus/documents/cleante_ch_fr.pdf, consulté le 19 mai 2017.

Commission Wallonne Pour l'Energie. (2017). *Rapport: l'analyse des prix de l'électricité et du gaz naturel en Wallonie (clients résidentiels) sur la période de janvier 2007 à décembre 2016*. En ligne <http://www.cwape.be/?dir=2&news=591>.

Compagnie du bicarbonate.(2016). *Carbonate de sodium léger- Sac de 25 kg*. En ligne

<http://www.compagnie-bicarbonate.com/carbonate-de-sodium-carbonate-de-soude.html>, consulté le 5 mai 2017.

Crédal. (2017). *Crédal Entreprendre*. En ligne <http://www.credal.be/accompagnement-entrepreneur>.

Crini, G. & Badot, P-M. (2007). *Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : : procédés membranaires, bioadsorption et oxydation chimique*. France : Presses universitaires de Franche-Comté. En ligne

<https://books.google.be/books?id=stqpsN7Ld7oC&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>.

Cruquenaire, A., Delforge, C., Durant, I. et Wery, P. (2014). *Droit des contrats speciaux*. Waterloo, Kluwer.

d'Arras, D. (2008). Les déchets, sur la voie de l'économie circulaire. *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 4, 42-44. En ligne <http://www.cairn.info/revue-realites-industrielles1-2008-4-page-42.htm>.

Dallemagne, D. (2015). Conférence: *Innovez sur votre business modèle*. Document non publié, Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve.

De Cordt, Y. (2015). *LCPME2002 : Les formes juridiques de l'entreprise*. Cours, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.

Degrémont Industry. (s.d.). *Unités mobiles et temporaires*. En ligne <http://www.degremont-industry.com/fr/notre-offre/services/unites-mobiles/>.

Del Marmol, G. & de Rongé, Y. (2017). *Regenerative economy*. Cours, Louvain School of Management, Louvain-la-Neuve.

Demayo, A., Taylor, M. C., Taylor, K. W., Hodson, P. V., & Hammond, P. B. (1982). Toxic effects of lead and lead compounds on human health, aquatic life, wildlife plants, and livestock. *C R C Critical Reviews in Environmental Control*, 12(4), 257-305. doi: [10.1080/10643388209381698](https://doi.org/10.1080/10643388209381698).

Denecker, M. (2015). *Le rôle des sulfates de sodium dans l'altération des pierres du patrimoine bâti: méthodes indirectes d'identification pour l'approche expérimentale*. Thèse de doctorat en Matériaux. Université de Cergy Pontoise, France. (12-61) En ligne https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01164706/file/36169_DENECKER_2014_archivage.pdf.

Deplus, Q., responsable « chargé de projet » dans l'organisation IDEA. (2017, mai). Interview le 5 avril 2017 dans les bureaux de IDEA à Mons et échange d'e-mails.

De Muelenaere, M. (2017). *Une taxe sur le carbone en Belgique?* En ligne sur le site du journal Le Soir, Section actualité environnement
<http://www.lesoir.be/1423584/article/demain-terre/environnement/2017-01-24/une-taxe-sur-carbone-en-belgique>.

Dictionnaire Environnement. (2010). *Effluent la définition du dico*. En ligne
http://www.dictionnaire-environnement.com/effluent_ID276.html, consulté le 20 mai 2017.

Di Profio, G., Curcio, E., Casseta, A., Lamba, D., & Drioli, E. (2003). Membrane crystallization of lysozyme: kinetic aspects. *Journal of Crystal Growth*, 257 (3-4).359-369. En ligne [https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(03\)01462-3](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(03)01462-3).

Di Profio, G., Tucci, S., Curcio, E., & Drioli, E. (2007). Selective glycine polymorph crystallization by using microporous membranes. *Crystal growth & design*, 7. 526-530. En ligne <https://doi.org/10.1021/cg0605990>.

Direction générale Humanisation du travail. (2006). *Sécurité et hygiène dans les laboratoires de chimie*. En ligne <http://www.emploi.belgique.be/publicationDefault.aspx?id=4278>.

Drault-Pezard, C. (2012). Traitement des eaux usées industrielles. *L'eau, L'industrie et Les nuisances*, 455, 37-54. En ligne http://www.ovive.fr/ovive/wp-content/uploads/2014/09/2012_10_EIN_n_355_Eaux_usees_industrielles.pdf.

Drioli, E., Criscuoli, A., & Curcio, E. (2006). *Membrane contactors: Fundamentals, applications and potentialities*, (1^{ière} éd., vol. 11). Membrane Science and Technology Serie. United Kingdom : Elsevier.

Dubaere, S., membre du département des informations économiques et statistiques du gouvernement belge (2017, mai). Echange d'e-mails le 18 avril.

Dupont, C., & Garcia, Y. (2014). *LCHM1321B : Chimie analytique*. Support de cours. Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve. Diffusion Universitaire CIACO.

Durieux, P. (2017, mars). *Du labo à la bourse : histoire d'une Spin-off*. Conférence organisée par les Alumni Louvain, dans l'auditoire Studio 11 à Louvain-La-Neuve. Repéré à https://uclouvain.be/alumni.html?utm_source=AUL+BW&utm_campaign=9aa99aeb79-EMAIL_CAMPAIGN_2017_02_18&utm_medium=email&utm_term=0_4e59ce9c5c-9aa99aeb79-213744297.

ECOSTILL by TMW. (s.d.). *Traitement des effluents industriels*. En ligne http://www.tmw-technologies.com/wp-content/uploads/2014/07/ecostill-A4_01_2014.pdf.

Edelman, D., & Singer, M. (2015). *The new consumer decision journey*. En ligne sur le site de Mckinsey <http://www.mckinsey.com/business-functions/marketing-and-sales/our-insights/the-new-consumer-decision-journey>.

Editions Johanet. (2017). *Revue L'Eau, L'Industrie, Les Nuisances*. En ligne <http://www.editions-johanet.net/revue-eau-industrie-nuisances-o71>, consulté le 5 mai 2017.

Ehnert, I. (2015). *II LCHM2150 : Chimie physique et calculs physicochimiques*. Support de cours. Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve. Diffusion Universitaire CIACO.

El-Bourawi M.S., Ding, Z., Ma, R., & Khayet M. (2006). A framework for better understanding membrane distillation separation process. *Journal of Membrane Science*, 285. Pages : 4–29. En ligne <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2006.08.002>.

Ellen McArthur Foundation. (2015). *Economie Circulaire*. En ligne
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/fr/economie-circulaire/concept>.

Epstein, E. (2009). Crop tolerant of salinity and other minerals stresses. In J. Nugent & M. O'Connor (Eds), *Better Crops for Food* (61-82). London : Pitman.

E-RSE. (2015). *Les 10 tendances du green business et du développement durable en 2016*.
 En ligne <http://e-rse.net/10-tendances-green-business-developpement-durable-2016-19813/#gs.qKjfvSk>, consulté le 20 avril.

EUIPO. (2017). *Marques : produits et services*. En ligne
<https://euipo.europa.eu/ohimportal/fr/goods-and-services>, consulté le 7 mai 2017.

EUIPO. (2017). *Recherche de produits et services : TMclass*. En ligne
<http://euipo.europa.eu/ec2/search/find;jsessionid=54888D6C6DE186AB4CE2D839A1594201.ec2t1?language=fr&text=recyclage&niceClass=&size=25&page=1&harmonised=true&searchMode=WORDSPREFIX&sortBy=relevance>, consulté le 7 mai 2017.

European Chemicals Agency (ECHA). *REACH*. En ligne
<https://echa.europa.eu/fr/regulations/reach>.

European Commission. (2017). Report from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan. En ligne
http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/implementation_report_annex.pdf.

Eventseye. (2017). *Gestion et traitement de l'eau : salon en Europe*. En ligne
http://www.eventseye.com/fairs/zst0_salons_europe_gestion-et-traitement-de-l-eau.html,
 consulté le 2 mai 2017.

Faure, O. (2011). *Management collaboratif - Du pyramidal à l'horizontal*. En ligne <https://www.lenouveleconomiste.fr/lesdossiers/du-pyramidal-a-lhorizontal-9165/>.

Fédération de l'Industrie du Verre en Belgique. (2015). *Membres FIV*. En ligne <http://www.vgi-fiv.be/>, consulté le 28 mars 2017.

FEDEREC. (2015). *L'industrie du recyclage à l'horizon 2030: le Livre Blanc des professionnels du secteur*. En ligne <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-26008-industrie-recyclage-horizon-2030.pdf>, consulté le 20 mars 2017.

Ferain, E., CEO d'*it4ip*. (2017, mai). Communication téléphonique le 10 mai 2017.

Fond des accidents de travail. (2016). *Taux de fréquence, gravité réel et gravité global pour 2015*. En ligne http://fedris.be/sites/default/files/assets/FR/Statistiques/Taux_frequence_gravite/taux-graden_2015_fr_corr_2332.pdf.

France évaporation. (2015). *Cristallisation Crystal clear solutions*. En ligne http://www.evaporation.fr/images/documents/france_evaporation_cristallisation_fr.pdf.

France évaporation. (2016). *Démarrage d'une unité de traitement de digestats 180 000 tonnes par an*. En ligne <http://www.evaporation.fr/actualites/130-op-de-beeck>.

France évaporation. *Evaporation multiple effet*. En ligne <http://www.evaporation.fr/technologies/evaporation/evaporation-multiple-effet>; consulté le 20 mai 2017.

France évaporation., directeur du département technique. (2017, avril). Communication téléphonique le 13 avril 2017 et échange d'e-mails.

Funhoff, A. (2016). *Entrepreneurial Finance*. Slides, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.

Gagné, R. (pas d'années). GCI 714 - Durabilité et réparations du béton, *Chapitre 2.4 : Action des sulfates, de l'eau de mer et attaque par les acides*. Support de cours. Université de Sherbrooke (160-185). En ligne
http://www.civil.usherbrooke.ca/cours/gci714/PDF/Chap2_4.pdf.

Garnavault, T., responsable HSE chez Prayon. (2017, mars). Communications téléphoniques le 7 avril 2017 et échange e-mails.

Garrett, E. (2001). *Sodium Sulfate: Handbook of Deposits, Processing, Properties, and Use*. London: Academic Press.

Genk, W. (2010). *Make The Most of Antisolvent Crystallization*. En ligne sur le site de Chemical Processing : <http://www.chemicalprocessing.com/articles/2010/210/>, consulté le 28 mai 2017.

Germeau, A., directeur de la R&D chez Prayon (2017, mars). Interview le 27 mars 2017 dans les locaux CPME au Réaumur, Louvain-La-Neuve.

GEM. (2017). *Entrepreneurial behaviour and attitudes*. En ligne
<http://gemconsortium.org/country-profile/41>

Geysen, J., responsable des Spin-off et doctorants de l'organisation VITO. (2017, mars). Interview le 8 mars 2017 dans le département R&D de VITO à Mol.

Gielen, C., manager de l'usine de la société Hydrométal. (2017, avril). Discussion le 20 avril 2017 lors du Mind & Market à Louvain-la-Neuve.

Gijsbrecht, D., employé chez Bruxelles Environnement. (2017, mai). Echange e-mails.

Global-Rates. (2017). *Taux Inflation Harmonisés Belgique (IPCH)*. En ligne <http://fr.global-rates.com/statistiques-economiques/inflation/indice-des-prix-a-la-consommation/ipch/belgique.aspx>, consulté le 5 mai 2017.

Godard, O. (2017). *Suez accélère la digitalisation de ses activités de recyclage et valorisation en entrant au capital de rubicon global les deux entreprises annoncent un partenariat stratégique novateur*. En ligne sur le site de Suez Environnement, communiqué de presse <http://newsroom.suez-environnement.fr/wp-content/uploads/2017/01/CP-suez-rubicon-global-digitalisation-partenariat-strategique-20170110-FR1.pdf>.

Gregoire, P. (2016). *LLSMS2014 : Entrepreneurial Finance*. Slides, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.

Grospelly, L., responsable de vente chez Siva-Unit. (2017, mai). Echange d'e-mails durant le mois de mai 2017. *Devis pour un système de filtration de chez Siva-Unit*.

Groupe One. (2017, mars). *Conférence sur l'économie circulaire*. Conférence organisée par Crédal Entreprendre, dans les bureaux de Crédal à Louvain-la-Neuve.

Guarana. (2013). *3 raisons d'optimiser vos tactiques de référencement naturel (SEO) mensuellement*. En ligne https://guaranamarketing.com/pourquoi-faut-il-faire-du-referencement-naturel-chaque-mois/?__hstc=69920207.6b6fab35199e9f1092c6b1382a442f2a.1494505802722.1494505802

[722.1494505802722.1& hssc=69920207.1.1494505802723& hsfp=738748747](https://www.guaranamarketing.com/5-benefices-plan-seo-mensuel-b2b/), consulté le 25 avril 2017.

Guarana. (2014). *5 bénéfices d'un plan SEO mensuel B2B*. En ligne <https://guaranamarketing.com/5-benefices-plan-seo-mensuel-b2b/>, consulté le 25 avril 2017.

Guarana. (2014). *Inbound marketing*. En ligne <https://guaranamarketing.com/inbound-marketing/>, consulté le 26 avril 2017.

Guardian Glass. (s.d.). *À propos de Guardian Glass*. En ligne <https://www.guardianglass.com/france/AboutGuardian/index.htm>.

Hamer, W.J., & Wu, Y.C. (1972). Osmotic coefficients and mean activity coefficients of uni-valent electrolytes in water at 25°C. *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 1, 4. 1047-1100. En ligne <http://dx.doi.org/10.1063/1.3253108>

Haynes, W. M. (2014). *Handbook of Chemistry and Physics, 95th Edition*. Boca Raton (CRC Press).

Hein, M., Arena, S. (2009). *Foundations of college chemistry (Alternate 13th ed.)*. USA : Wiley & Sons.

HelloPro.fr. (2017). ECOSTILL 2000. *En ligne* <http://www.hellopro.fr/ecostill-2000-2007178-5658630-produit.html>, consulté le 15 avril.

Höfler, J., employé de l'IMAP. (2017, mars). Echange d'e-mails.

Hollange, S., responsable de la société PHC. (2017, mars). Echange d'e-mails le 25 mars 2017.

Horbez, D., responsable du département Recherches et Initiative à Solvay. (2017).
Communications téléphoniques le 25 janvier et le 4 avril 2017.

Huang, A., Zhang, P., Yang, L., Zhang, D., Guo, G., & Liu, J. (2017). A pilot-scale investigation on the recovery of zinc and phosphate from phosphating wastewater by step precipitation and crystallization . *Chemical Engineering Journal*, 31. 640-650. En ligne <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.02.112>

IFAT. (2017). *IFAT 2018 : leading trade fair for environmental technologies*. En ligner <http://www.ifat.de/index-2.html>, consulté le 5 mai 2017.

Immoweb. (2017). *Immoweb*. En ligne <http://www.immoweb.be/fr/immo/industrie/a-louer>.

ISO. (2010). *La famille ISO 14000 des normes internationales pour le management environmental*. En ligne https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/fr/theiso14000family_2009.pdf.

ISO. (2017). *ISO/TC 282 : Recyclage des eaux*. En ligne <https://www.iso.org/fr/committee/4856734.html>.

Jang, D., Hwang, Y., Shin, H., & Lee, W. (2013). Effects of salinity on the characteristics of biomass and membrane fouling in membrane bioreactors. *Bioresource Technology*, 141. 50-56. doi: [10.1016/j.biortech.2013.02.062](http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.02.062)<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.02.062>

Janssen, F. & al. (2009). *Entreprendre. Une introduction à l'entrepreneuriat* (1ère éd.).
Louvain-la-Neuve : De Boeck.

Janssens, R. (2015). *CO₂ valorization as Na₂CO₃ crystals using membrane distillation crystallization*. Mémoire de master en ingénieur civil. Ecole polytechnique de Louvain, Université catholique de Louvain.

Johnson, G., Scholes, K., Angwin, D., Regner, P. & Fery, F. (2014). *Stratégie* (10^è ed.). Montreuil : Pearson.

Johnson, W.E., 1976. State-of-the-art of freezing processes, their potential and 18 future. *Desalination*, 19(1-3). (349-358). doi : [10.1016/S0011- 19 9164\(00\)88043-1](https://doi.org/10.1016/S0011-19 9164(00)88043-1).

Journal Officiel de l'union Européenne. (2008). Directive 2008/98/ce du parlement européen et du conseil relative aux déchets et abrogeant certaines directives. En ligne <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098>.

Kegley, S.E., Hill, B.R., Orme S., Choi A.H. (2016). *PAN Pesticide Database Pesticide Action Network, North America, Sodium sulfate*. En ligne http://www.pesticideinfo.org/Detail_Chemical.jsp?Rec_Id=PC34430. consulté le 14 mai 2017.

Kerneïs, H. (2017). *Veolia Industrie : la technologie HPD d'évaporation-cristallisation*. En ligne <http://www.veolia.com/fr/groupe/medias/actualites/industrie-la-technologie-hpd-r-d-evaporation-cristallisation>.

Kervyn, N. (2014). *Marketing, LECGE 1213*. Syllabus, Université Catholique de Louvain, faculté des sciences économiques, sociales et politiques, Diffusion Universitaire CIACO.

Keshavarz, P., Fathikalajahi, J., & Ayatollahi, S. (2007). Analysis of CO₂ separation and simulation of a partially wetted hollow fiber membrane contactor. *Journal of Hazardous Materials*, 152. 1237-1247. En ligne <http://dx.doi.org/10.1016/j.hazmat.2007.07.115>.

Kieffer, R. (2008). *Contacteurs à Membrane pour la Précipitation du BaSO₄ : Simulations numériques et résultats expérimentaux*. Génie des procédés. Université Claude Bernard - Lyon I. En ligne <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00335098/document>.

Kim, D. H. (2011). A review of desalting process techniques and economic analysis of the recovery of salts from retentates. *Desalination*, 270. (1-8). doi: [10.1016/j.desal.2010.12.041](http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.12.041)<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.12.041>.

Kizizie Ukaba, A. (2017, mai). *Communication Marketing, premier devoir de l'entrepreneur 2.0*. Conférence. Crédal, place de l'Université Louvain-La-Neuve.

Kontos, S.S., Koutsoukos, P.G., Paraskeva, C.A., 2014. Removal and recovery of phenolic compounds from olive mill wastewater by cooling crystallization. *Chem. Eng. J.* 251 (5), 319e328. doi : [10.1016/j.cej.2014.04.047](http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.04.047).

Lacroix., Senior Manager R&D Inorganics & Electronics chez Solvay Chemicals et professeur à l'UCL. (2017, mai). Interview le 5 mai 2017 dans le bureau du professeur à Louvain-la-Neuve.

LA FABRIQUE DE NET. (2015). *Combien coûte la création d'un site internet*. En ligne <https://www.lafabriquedunet.fr/blog/coût-creation-site-internet/>, consulté le 5 mars 2017.

Lambin, J., & de Moerloose, C. (2012). *Marketing stratégique opérationnel* (8^e éd.). Paris : Dunod.

Laperche, B. & Merlin-Brogniart, C. (2016). Ecologie industrielle et développement territorial durable le rôle des services. *Marché et organisations*, 1(25), 87-118. En ligne <http://www.cairn.info/revue-marche-et-organisations-2016-1-page-87.htm>.

Lefèbvre, O., & Moletta, R. (2006). Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. *Water Research*, 40. Pages 3671– 3682. doi: doi.org/10.1016/j.watres.2006.08.027
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.08.027>

Lejeune, C. (2013). *LLSMD 2094 Séminaire d'accompagnement du mémoire (en sciences de gestion)*. Document non publié, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve.

Le laborantin. (2017). *Equipement de laboratoire*. En ligne <http://www.laborantin.com/produits/equipement-de-laboratoire.html>, consulté le 15 mai 2017.

Le Moigne, R. (2014). *L'économie circulaire : comment la mettre en oeuvre dans l'entreprise grâce à la reverse supply chain*. Paris : Dunod.

Le Monde. (2015). *Faut-il se réjouir ou pas de la baisse de l'euro?* En ligne http://www.lemonde.fr/economie/article/2015/01/15/faut-il-se-rejouir-ou-pas-de-la-baisse-de-l-euro_4557246_3234.html.

Le Roux, A., & Orsetti, S. (2000). Les réactions sulfatiques : conditions de formation, structure et expansion des minéraux secondaires sulfatés. *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées*, 225. (41-48). En ligne http://www.ifsttar.fr/collections/BLPCpdfs/blpc_225_41-50.pdf

L'article 518 du Code des sociétés précise la protection des administrateurs d'une Société Anonyme. En ligne

<http://www.actualitesdroitbelge.be/legislation/codes-belges-code-des-societes/code-des-societes---les-differentes-formes-de-societes/article-518-du-code-des-societes>.

Les articles 2 et 3 de la loi du 3 juillet 1978 relative aux contrats de travail met en évidence les obligations des deux partis dans le cas d'un contrat d'entreprise. *SPF Economie, P.M.E., classes moyennes et Energie*. En ligne

http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1978070301&table_name=loi.

Les articles 17 et 20 de la loi du 3 juillet 1978 relative aux contrats de travail fixent les obligations des employeurs et employés. *SPF Economie, P.M.E., classes moyennes et Energie*. En ligne

http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1978070301&table_name=loi.

Leyssens, T., Adam, P. (2016). *LMAPR2380 : Solid-fluid separation*. Support de cours. Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve. Diffusion Universitaire CIACO.

Li, W., Van der Bruggen, B., & Luis, P. (2014). Integration of reverse osmosis and membrane crystallization for sodium sulphate recovery. *Chemical engineering and processing: Process intensification*, 85. Pages 57-68. doi : [10.1016/j.cep.2014.08.003](https://doi.org/10.1016/j.cep.2014.08.003)

Liang, L., Han, D. (2011). Energy saving study of a system for ammonium sulfate recovery from wastewater with mechanical vapor compression (MVC). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Volume 3*. Pages 1227-1232.

Lingqvist, O., Lun Plotkin, C., & Stanley, J. (2015). *Do you really understand how your business constomers buy?* En ligne sue le site de McKinsey <http://www.mckinsey.com/business-functions/marketing-and-sales/our-insights/do-you-really-understand-how-your-business-customers-buy>.

Linkedin. (2017). *Compte gratuit et abonnement premium assistance*. En ligne <https://www.linkedin.com/help/linkedin/answer/1106/comptes-gratuits-et-abonnements-premium-linkedin?lang=fr>, consulté le 4 mai 2017.

Liqui-Cel Membrane Contractors. (s.d). *Online store*. En ligne <http://store.liqui-cel.com>. Dernière consultation le 30 mai 2017 (ferme le 31 mai 2017).

Liqui-Cel. (2017). Fiche technique du contacteur membranaire 2.5*8 Extra-Flow. En ligne http://www.liquicel.com/uploads/documents/2%205x8ExtraFlow-D59Rev16%2010-15%20_ke.pdf.

Lu, X. (2014). *Novel Applications of Eutectic Freeze Crystallization* (thèse de doctorat). Technische Universiteit Delft, Delft. En ligne <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:6633e264-9839-4b25-b737-5126bf35e4f0>.

Lu, H. Wang, J. Wang, T. Wang, N. Bao, Y. (2017). Crystallization techniques in wastewater treatment: An overview of applications. *Chemosphere*, 173. 474-484. doi : [10.1016/j.chemosphere.2017.01.070](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.070).

Luis Alconero, P., professeur et chercheuse à l'EPL à l'université catholique de Louvain. (2016, octobre). Interview de présentation du projet de mémoire le 25 octobre 2016.

Luis, P., Van Aubel, D., & Van der Bruggen, B. (2013). Technical viability and exergy analysis of membrane crystallization: Closing the loop of co2 sequestration. *Internationnal*

Journal of Greenhouse Gas Control, 12. pp. 450–459. En ligne

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.11.027>.

Luis, P., Van der Bruggen, B. and Van Gerven, T. (2011), Non-dispersive absorption for CO₂ capture: from the laboratory to industry. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 86. Pages: 769–775. En ligne <http://dx.doi.org/10.1002/jctb.2614>.

Luis, P., Van Gerven, T., & Van der Bruggen, B. (2012). Recent developments in membrane-based technologies for CO₂ capture. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38. Pages: 419-448. En ligne <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2012.01.004>

Manceau, D. & Morand, P. (2014). A few arguments in favor of a holistic approach to innovation in economics and management. *Journal of Innovation Economics & Management*, 3(15), 101-115. DOI : 10.3917/jie.015.0101

Mc Cray, J. et Orebaugh, S. (2015). *A peak potassium problem : Salt substitute, spironolactone, lisinopril. A Case Approach to Perioperative Drug-Drug Interactions*. New York : Springer. DOI: 10.1007/978-1-4614-7495-1

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.11.027>

Mentior, J.L., administrateur de l'entreprise M5 (2017). Interview le 2 mai 2017 dans les bureaux de M5 à Archenne.

Metrohm. (2010-2017). 914 pH/Conductometer. <https://www.metrohm.com/fr-fr/les-produits/ph-ionom%C3%A8tre/912-913-914-ph-cond-meters/%7B225FD6A4-8C05-4D54-9455-77A210D52971%7D>, consulté le 6 mai 2017.

Metrohm. (2015). *Facture de l'UCL pour les pompes, accessoires membranes et adaptateurs*.

MICRONADYN-NADIR. (2017). *Welcome to MICRONADYN-NADIR your membrane and module supplier*. En ligne <http://www.microdyn-nadir.com/en/>.

Morlat, C. (2016). Modélisation dynamique des systèmes de coûts (MDSC) : un système de représentation des valeurs adapté à l'essor de l'économie de la fonctionnalité pour la transition écologique. *Innovations*, 1(49), 177-201. En ligne <http://www.cairn.info/revue-innovations-2016-1-page-177.htm>.

MSI. (2015). *Marché des Équipements de Traitement des Eaux en France 2015 : Nouvelles tendances et prévisions*. En ligne http://www.msireports.com/market_research_report_pdfs/HFR4-S.pdf.

Mulder, M. (2012). *Basic Principles of Membrane Technology* (2ième éd.). Dordrecht : KluwerAcademic Plubishers.

Nodé-Langlois, F. (2011). *L'humanité épuise les ressources naturelles*. En ligne sur le site du Figaro, Section économie <http://www.lefigaro.fr/matieres-premieres/2011/05/13/04012-20110513ARTFIG00658-l-humanite-epuise-les-ressources-naturelles.php>.

Organisation mondiale de la Santé. (2012). *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères*. Organisation mondiale de la Santé. En ligne http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78280/1/9789242546828_fre.pdf, consulté le 3 avril 2017.

OVH. (2017). *Prix hébergement et nom de domaine*. En ligne <https://www.ovh.com/fr/>, consulté le 15 mai 2017.

Palate, M., employé de l'ADRE, expert en brevet. (2017, mai). Interview le 12 mai 2017 dans les locaux de la Sopartec à Louvain-la-Neuve.

Paulus de Châtelet (2012). *La gestion journalière dans la S.A.* En ligne http://www.droitbelge.be/fiches_detail.asp?idcat=32&id=678.

Papin, R. (2015). *La création d'entreprise* (16^e éd.). Paris : Dunod.

Peppin., directeur de vente chez *Suez Environnement*. (Avril, 2017). Communication téléphonique le 3 avril 2017.

Perleau, G. (2016). Taxes et redevances. In H. Suijkerbuijk (Ed). *Environnement: taxes et subsides 2016, édition 2016-2017*(pp 3-33). Waterloo : Wolters Kluwer Belgium sa.

P&G. (2017). *Toutes les marques en Belgique*. En ligne http://www.pg.com/fr_BE/brands/all-brands.shtml.

Pilkington. (2017). *Belgium*. En ligne <http://www.pilkington.com/en/be>.

Pôle éco-conception. (2016). *L'éco-conception c'est quoi?* En ligne <http://www.eco-conception.fr/static/leco-conception-cest-quoi.html>, consulté le 3 mars 2017.

PwC, Institut de Conseils et d'Etudes en Développement Durable & OAKDENE HOLLINS. (2016). Rapport finale. *Economie circulaire : potentiel économique en Belgique*, 10-48. En ligne sur le site du Service Public Fédérale : Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement <https://www.health.belgium.be/fr/sante>.

Qin, A., Liu, Q., Meng, Q., Fan, Z., He, J., Liu, T., Shen, C., & Zhang, G. (2017). Anoxic oscillating MBR for photosynthetic bacteria harvesting and high salinity wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 224. 69-77. doi: [10.1016/j.biortech.2016.10.067](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.067)<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.067>.

Quist-Jensen, C. Macedonio, F. Horbez, D. Drioli, E. (2017). Reclamation of sodium sulfate from industrial membrane distillation and membrane crystallization. *Desalination*, 401.112-119. doi : [10.1016/j.desal.2016.05.007](https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.05.007).

Raffinerie Tirlemontoise. *L'évaporation*. En ligne <http://www.raffinerietirlemontoise.com/fr-BE/Notre-production/Processus-production/Evaporation>, consulté le 21 mai 2017.

Reed, B. W., Semmens, M. J., & Cussler, E. L. (1995). Membrane contactors. In R. D. Noble (Series Ed.) & S. A. Stern (Vol. Ed.), *Membrane Science and Technology Series : Vol. 2. Membranes separation technology principles and application*. (pp 467-470).

Reed Expositions France. (2017). *World efficiency solution*. En ligne <http://www.reedexpo.fr/events/37032105worldinefficiencysolutions/?xtnp=1&xtcr=1&xtmc=WORLD+EFFICIENCY>, consulté le 5 mai 2017.

RegionsJob. (s.d.). *Actualités de l'emploi*. En ligne <http://www.regionsjob.com/>, consulté le 20 avril 2017.

Riquet. JP. & Kahn, O. (2004). *Pratique de la création d'entreprise*. Bruxelles : Institut Professionnel des Comptables et Fiscalistes Agrées.

Royez, F., webdsigneuse et directrice de Happyflow. (2017,avril). Interview le 5 avril 2017 dans les bureaux d'Happyflow à Viller-la-Ville.

Ruiz Salmon, I. Communication orale, 2017.

Ruiz Salmon, I., Janssens, R., Luis, P. (2017). Mass and heat transfer study in osmotic membrane distillation-crystallization for CO₂ valorization as sodium carbonate. *Separation and Purification Technology*, 176. 173-183. doi : [10.1016/j-sepur.2016.12.010](https://doi.org/10.1016/j.sepur.2016.12.010).

Saerens, P. (2013). *Droit commercial et droit des sociétés*. Notes, ICHEC, Bruxelles.

Saint-Gobain. (2017). *Saint-Gobain à travers le monde. Spécialiste de la fabrication du verre plat et n°1 mondial des verres à couches*. En ligne <http://fr.saint-gobain-glass.com/content/saint-gobain-glass-a-travers-le-monde>.

Schuiling, I. (2015). *LSSMS2102: Advanced marketing*. Syllabus, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve. Diffusion Universitaire CIACO.

Semrush. (2017). *Vue d'ensemble: Suez Environnement*. En ligne [https://fr.semrush.com/fr/info/Suez%20environnement+\(keyword\)](https://fr.semrush.com/fr/info/Suez%20environnement+(keyword)), consulté le 2 mai 2017.

Sénat. (2017). *La qualité de l'eau et l'assainissement en France (rapport)*. En ligne <https://www.senat.fr/rap/l02-215-1/l02-215-134.html>. Consulté le 22 mai 2017.

Service public fédéral Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie. (2016). *Les awards de l'économie durable des entreprises belges au sommet!*, 4-5. En ligne http://economie.fgov.be/fr/binaries/Les_awards_de_l_economie_durable_Entreprises_belges_au_sommet_tcm326-269871.pdf.

Service Public de Wallonie. (2015). *Portail environnement de Wallonie. Eau*. En ligne <http://environnement.wallonie.be> <http://www.environnement-entreprise.be/sites/uwe-environnement/files/Docs/ppt/2015/nov2015-eau-spw.pdf>.

Service Public de Wallonie. (2015). *L'état de l'environnement wallon. Les rejets d'eaux usées de l'industrie wallonne*. En ligne <http://environnement.wallonie.be/enviroentreprises/pages/etatenviindustrie.asp?doc=syn-ind-rej>.

Service Public de Wallonie (2015). Département de l'environnement et de l'eau et la direction des outils financier. *Réforme fiscale en matière d'eau*, 8-9. En ligne <http://www.environnement-entreprise.be/sites/uwe-environnement/files/Docs/ppt/2015/nov2015-eau-spw.pdf>.

Service Public Fédéral Emploi. (2017). *Sécurité et hygiène dans les laboratoires de chimie*. En ligne <http://www.emploi.belgique.be/publicationDefault.aspx?id=4278>.

Scheuten. (2017). *Spécialités*. En ligne <http://www.scheuten.com/fr/scheuten-projects/specialites>.

Silva, F. & Ben Ali, A. (2010). Emergence du travail collaboratif : Nouvelles Formes d'Organisation du Travail. *Management & avenir*, 6(36), 340-365. DOI : 10.3917/mav.036.0340

Simon, K. (2016). *CO2 capture and recovery by the use of membrane crystallization*. Mémoire de master en ingénieur civil. Ecole polytechnique de Louvain, Université catholique de Louvain. Prom. : Luis Alconero, Patricia. En ligne <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:4618>.

Sinnaeve, M. & Santoro, R., membre du personnel de l'IMAP (2017, avril). Echange d'e-mails.

Sociétés d'Aide au Développement des Collectivité de l'Estrée. (2013). *Définir les mission-vision-valeurs de l'entreprise et y intégrer le développement durable*. En ligne <http://www.sadclarentides.org/wp-content/uploads/2014/08/Mission-vision-valeurs-DD-Estrée.20130821.145803.0.pdf>.

Soldating. (2014). *Valoriser des terres et matériaux de chantier n'a jamais été aussi simple!* En ligne <https://soldating.fr/>, consulté le 18 mai 2017.

Solid waste. En ligne <http://web.mit.edu/urbanupgrading/urbanenvironment/sectors/solid-waste-sources.html>, consulté le 20 mai 2017.

Solvay. (2017). *Marchés*. En ligne <http://www.solvay.fr/fr/marches-et-produits/marches/index.html>

Sopartec. (2012). *Making science investable*. En ligne <http://www.sopartec.com/fr/contact/16/2#.WI8Wzse8at9>.

Soumillion, P. (2013). *LCHM1271 : Eléments de biochimie*. Support de cours, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve. Diffusion Universitaire CIACO.

SPF Economie, P.M.E, Classes moyennes et Energie. (2013). *L'Office Belge de la Propriété intellectuelle (OPRI)*. En ligne http://economie.fgov.be/fr/entreprises/propriete_intellectuelle/Aspects_institutionnels_et_pratiques/OPRI/#.WTU3GevyiUl, consulté le 7 mai 2017.

SPF Economie, P.M.E, Classes moyennes et Energie. (2013). *Demande d'enregistrement de marque internationale*. En ligne http://economie.fgov.be/fr/entreprises/propriete_intellectuelle/Marques/enregistrement_marque_internationale/#.WTU5AuvyiUl, consulté le 7 mai 2017.

SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire & Environnement SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie. (2014). *Vers une Belgique Pionnière de l'économie circulaire*. En ligne sur le site du gouvernement federale belge, SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie
http://economie.fgov.be/fr/binaries/Vers_une_Belgique_Pionniere_de_l_economie_circulaire_tcm326-259697.pdf.

Schriavastava, P., & Kamur, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Sausi Journal of Biological Science*, 22(2). 123-131. doi : [10.1016/j.sjbs.2014.12.001](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001).

Statbel. (2013). *Dépense courante pour la protection de l'environnement*. En ligne
<http://statbel.fgov.be/fr/statistiques/chiffres/environnement/ecomilieu/courdepenses/>.

Strale, M. (2007). *L'impact environnemental du développement de la logistique*, 10-20. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade académique de Diplômé du Master en Sciences et Gestion de l'Environnement à l'Université Libérale de Bruxelles, Bruxelles. En ligne http://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_06_07/MFE_Strale_06_07.pdf.

Suez Environnement. (2012). *Pourquoi et comment valoriser nos eaux usées?* En ligne <http://www.emag.suez-environnement.com/valorisation-eaux-usees-6706>, consulté le 6 mai.

Suez Environnement. (2017). *Prêt pour la révolution de la ressource*. En ligne <http://www.suez-environnement.fr>, consulté le 23 avril.

Suez Environnement. (2017). *Suez accélère la digitalisation de ses activités de recyclage et valorisation en entrant au capital de Rubicon Global*. En ligne <http://newsroom.suez-environnement.fr/suez-entre-au-capital-de-rubicon-global/>.

Susanto, H. (2011). Towards practical implementations of membrane distillation. *Chemical Engineering and Processing* 50.Pages: 139–150. doi : [10.1016/j.cep.2010.12.008](https://doi.org/10.1016/j.cep.2010.12.008).

Synergie Quebec. (2013). *Qu'est-ce qu'une symbiose industrielle?* En ligne <http://www.synergiequebec.ca/symbioseindustrielle>, consulté le 26 février 2017.

TMW technologies. (2017). *ECOSTILL™-Evapo concentration, onglet Comment ça marche?* En ligne http://www.tmw-technologies.com/wp-tmw/ecostill_produits/evapo_concentration_ecostill/#1479134804480-44f95e9b-c1f0

Toumi, S. (2012). *Approche écologique et engagement environnemental des PME en Tunisie : cas des industries chimiques.* *Mondes en développement*, 3(159), 117-134. En ligne <http://www.cairn.info/revue-mondes-en-developpement-2012-3-page-117.htm>

ULB. (s.d). *La création de spin-offs.* En ligne <https://www.ulb.ac.be/dr/la-creation-de-spin-offs.html>.

Ulbricht, M., responsable du service client de l'entreprise 3M (Liqui-cel). (2017). Echange d'e-mails tout au long de l'année 2017.

Upadhyaya, L., Nene, S. (2015). Membrane Distillation and Osmotic Membrane Distillation in Downstream Processing. *Current Biochemical Engineering*, 2. Pages: 102-110. En ligne <http://www.eurekaselect.com/133633>.

Value Lab. (2015). *Définir une stratégie robuste de création de valeur.* En ligne http://www.thevaluelab.com/Pages/Insight2_VisionClient.html, consulté le 25 avril 2017.

Vandeputte Group. (s.d.). *Production et Produits.* En ligne <http://www.vandeputte.com/fr/lessives-nettoie-tout-vaisselle-savonnerie.htm>.

Van Looy, B., & Debackere, K. (2003). Combining entrepreneurial and scientific performance in academia: towards a compounded and reciprocal Matthew-effect. *Research Policy*, 33 (3). pp. 425-441. En ligne <https://feb.kuleuven.be/drc/AFI/misc/europecourse/van-looy-et-al-rp-2004-matthew-effect.pdf>.

Van Worteghem, F., membre du personnel de l'IMAP. (2017, avril). Discussion orale dans les locaux du Réaumur à Louvain-la-Neuve.

Veolia. (2007). A quoi sert l'analyse du cycle de vie? *Le cahier des chroniques scientifiques*, 11, 1-3. En ligne <http://www.veolia.com/sites/g/files/dvc181/f/assets/documents/2014/04/cyclevie.pdf>.

Vives Fund. 2011. *Nous investissons dans les technologies de demain*. En ligne <http://www.vivesfund.com/>, consulté le 10 février 2017.

Warsinger, D. M., Swaminathan, J., Guillen-Burrieza, E., Arafat H. A., Lienhard V, J.H. (2015). Scaling and fouling in membrane distillation for desalination applications: A review. *Desalination*, 356. Pages 294–313. doi : [10.1016/j.desal.2014.06.031](https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.06.031).

Waste Meetings. (2017). Bon de commande exposant. *Les rendez-vous d'affaires internationales du recyclage, traitement et valorisations des déchets*. En ligne http://www.wastemeetings.com/images/downloads/wastemeetings2017_inscription_exposant.pdf.

Well planned. (2015). *B2B buyers have changed, have you?* En ligne <http://www.wellplannedweb.com/how-b2b-buyers-have-changed/>, consulté le 1 mai 2017.

Williams, P.M., Ahmad, M., Connolly, B.S., Oatley-Radcliffe, D.L. (2015). Technology for freeze concentration in the desalination industry. *Desalination*, 356.

314-327. doi: [10.1016/j.desal.2014.10.023](https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.10.023).

World health Organization. (2004). *Sulfate in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. (2-3). En ligne http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf.

Wylock, D., responsable des taxes sur le déversement des eaux usées industrielles au Service de Wallonie. (2017, mars). Echange d'e-mails.

Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., & Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 3. Pages 316-323. doi: [10.1016/j.iswcr.2015.11.003](https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.11.003)<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.11.003>.

Yang, X., Fane, A. G., & Wang, R. (2015). Membrane distillation : Now and future. Desalination. In J. Kucera. *Desalination: Water from water*. pp.373-424. Scrivener publishing and John Wiley & Sons.

Ye, W., Lin, J., Shen, J., Luis, P., & Van der Bruggen, B. (2013). Membrane crystallization of sodium carbonate for carbon dioxide recovery: Effect of impurities on the crystal morphology. *Crystal Growth & Design*, 13.2362-2372. doi : [10.1021/cg400072n](https://doi.org/10.1021/cg400072n)

Zhang, W., Luo, J., Ding, L., & Jaffrin M. Y. (2015). A review on flux decline control strategies in pressure-driven membrane processes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54. Pages 2843-2861. doi : [10.1021/ie504848m](https://doi.org/10.1021/ie504848m)

Annexes

Annexe A - Curriculum vitea

Claire Clérin

Rue Victor De Becker, 7
5030 Gembloux
BELGIUM

+32479071300

claire.clerin@hotmail.com

Date and place of birth : 15th June 1992, Leuven

Nationality: Belgian

Education

2015 → 2017 Master degree in chemistry, option CPME (creation of SME), Université Catholique de Louvain, (UCL)

2010 → 2015 Bachelor degree in chemistry, minor in environment and development, Université Catholique de Louvain, (UCL)

June 2010 Graduated from Collège Saint Guibert de Gembloux (maths and sciences)

Experiences

- Master thesis (pluridisciplinary team) : « Etude de la potentialité économique d'un service de valorisation d'effluents industriels à l'aide d'un procédé de cristallisation membranaire de sels ».
- Business Plan challenges : CleanTech Challenge 2017, InnovationCup, Forum Mind and Market 2016 & 2017
- Internship : « Etude de l'influence des paramètres de la polymérisation radicalaire en émulsion démarrante à basse température sur la résistance au lavage des peintures », Hexion Research Belgium, Louvain-la-Neuve (02/2016 → 05/2016)
- Sailing instructor :
- at RCNSM, Wépion: July 2016
- at ADEPS Péronnes: July 2015, 2014 and Augustus 2010
- at ADEPS Froidchappelle: July 2012
- Optimists race 's safety, Opti Tour 2016, Jambes
- Co-responsible rock for the scientific students show "La revue des sciences 2014"
- Class representative (UCL), Monitoring during "Pack'en Bloque" in 2015
- Scoût stewardship

Skills

- Computer Skills : Ms Office, typing, and notions of JMP and MATLAB
- Language Skills : French : native language | English: B2-C1 | Dutch: basic speaker | Want begin to learn German and improve Dutch
- Work Skills: Responsibility, team worker, precise, curious
- BEPS (Brevet Européen de Premier Secours (09/2010))

Hobbies, soft skills and interests

- Sports: Sailing (sailboat & windsurf) | Tennis, badminton | Swimming | Ski | Dances
- July 2009 and 2010: gliding at "Centre National de Vol à Voile" (Saint-Hubert, Belgium).
- Reading, watching movies | Draw | History | Cooking

Dubray Charlotte

PERSONAL INFORMATIONS

Afrikalaan 1, 3080 Tervuren

0495/54.90.72

charlottedubray@hotmail.com

Date of birth : 28/05/1993 – Belgian nationality – Driving licence B

EDUCATION

- 2015 – 2017 Master in Management– Louvain School of Management (LSM)
 Training in strategy, regenerative economy, marketing, human resources and finance. Many group works and business cases. Participation to the LSM Cup.
 Option in Entrepreneurship - CPME Creation of small and medium-sized businesses (UCL)
 Discovery of the entrepreneurship world in various sectors. Work managerial issues faced by entrepreneurs. Multidisciplinary final thesis : fulfilment of a business plan for a recovery and recycling system of industrial wastewater through membrane crystallisation of salts. Winner of the Clean Tech Challenge Belgium, Finalist of the Innovation Cup, Participation to the Clean Tech Challenge international (London), to the Echang'elles Program (Crédal Entreprendre) and to the Forum Mind and Market.
- 2014 Erasmus Program – Economic School of Warsaw (SGH)
 Deepening of my language skills.
 Development of my open-mindedness and tolerance qualities.
- 2012 – 2015 Bachelor in Business Administration – ICHEC Brussels Management School
 Training in accounting, analysis of financial statements, tax law, trade law, company law, management, etc.

EXPERIENCE

- 2009 - 2017 Student jobs - Prémaman, Colruyt, Soeur du patron (restaurant), GB Express
 My motivation, organizational skills and my effectiveness have been noticed by my employers. Each of these jobs had a specific personal objective (car purchase, travels, collocation, etc.)

LANGUAGE

SKILLS

French : Mother tongue C2

Dutch/English : C1 (Heilig Hartcollege, ICHEC, Erasmus and summer courses)

German : A1

BLANCHE HAVENNE

• Née le 23 avril, 1994
 • Rue des vignes, 19
 Mont-Saint-Gulbert, 1435
 BELGIQUE

• Téléphone : 0477 78 09 37 • Adresse de messagerie : blanche.h@hotmail.be
 • Permis de conduire (catégorie B)



Parcours

2016	<i>Nova School of Business and Economics</i> , Lisbonne Erasmus
2015- 2017	Université Catholique de Louvain , Louvain- La-Neuve Master en management à la LSM, formation en création de petites et moyennes entreprises (C
2013- 2015	Université Catholique de Louvain , Louvain- La- Neuve Bachelier en sciences économiques et de gestion avec distinction
2007-2012	Collège du Christ-Roi , Ottignies

Expérience

2015 – 2016	Caprice , Louvain-La-Neuve- sandwicherie (6h semaine) Multifonctions, caissière
Août 2016	1001 Belges , Bruxelles- stagiaire en marketing et ressources humaines
2014-2015	Défilfrance , Louvain-La-Neuve – sandwicherie (6h semaine) Multifonctions, caissière
2012	Stage en entreprise effectué en aout 2015 dans la start-up 1001 Belges ABW , Wavre – association des architectes du brabant wallon- Bénévolet
Décembre 2011, Avril Août 2012 et durant l'année 2013-2014	Cinescope , Louvain-La-Neuve – Cinéma Hôtesse – caissière
Occasionnellement	Be Your Guest , Bruxelles – Événementiel Accueil, tenue du vestiaire lors d'évènements

Compétences personnelles

Langues	Français : langue maternelle Néerlandais : connaissance de base; Espagnol: compréhension; Anglais: bonne maîtrise de la langue
Compétences	Excel, Stata, Power Point
Qualités	Précise, Motivée, Enthousiaste, Volontaire et Débrouillarde

Activités extra-scolaires

Mouvements de	2012-2014 Animatrice louveteaux dans l'unité Jean 23

Annexe B - La formule complète des taxes sur le déversement d'eaux usées industrielle

3.5 Déversement d'eaux usées industrielles	
Impacts de la réforme sur la taxe	
Directive cadre sur l'eau	
➤ Principe de récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau	
• Augmentation du taux de l'UCP (de 8,9242 euros/UCP à 13 euros) • modification du poids de certains paramètres de taxation (Ni et Pb) • prise en compte de l'écotoxicité (N5) ❖ Prise en compte des micropolluants organiques; ❖ Paramètre intégrateur (tient compte de l'effet de l'ensemble des paramètres et de leurs effets combinés); ❖ Les éléments de qualité biologique ont une très grande importance dans la détermination de l'état écologique des cours d'eau. ❖ Importance de coupler un paramètre d'effet biologique à la formule actuelle • contrat d'assainissement avec la SPGE pour les déversements aboutissant en station d'épuration publique (2016 ?). • Indexation du taux.	

(Service Public de Wallonie : département de l'environnement et de l'eau et la direction des outils financier, 2015, p. 10)

3.5 Taxes déversements d'eaux usées industrielles - Formule Complète (FC)					
N1	N2	N3	N4	N5	
Mat. org. et oxyd.	Métaux	Nutriments	Thermies	Ecotoxicologie	
$N = \frac{Q}{180} (a + 0,35 MS + 0,45 DCO) (0,4 + 0,6 d) + \frac{Q1}{500} (Xi + 0,2 Yi + 10 Zi) + \frac{Q1}{10.000} (N + P) + \frac{0,2 Q2 \delta t}{10.000} + e \cdot \frac{(Q1 \cdot TU)}{1000}$					
- N est le nombre total d'unités de charge polluante					
- MS est la teneur moyenne en matières en suspension (mg/l);					
- Q est le volume moyen journalier déversé (litres)					
(Q = Q1/R où R est le nombre de jours de déversement);					
- DCO est la valeur moyenne de la demande chimique en oxygène (mg/l) mesurée sur une eau ayant subi une décantation de deux heures;					
- d est le rapport R/225 où R = nombre de jours de déversement (si R ≥ 225, d = 1);					
- Q1 est le volume annuel d'eau usée industrielle déversé, hors eau de refroidissement (m³);					
- Q2 est le volume annuel d'eau de refroidissement (m³);					
- Xi est la somme des concentrations en As, Cr, Cu, Ag (mg/l);					
- Yi est la concentration moyenne en Zn (mg/l);					
- Zi est la somme des concentrations en Ni, Pb, Cd et Hg (mg/l);					
- N est la concentration moyenne en azote total (mg/l);					
- P est la concentration moyenne en phosphore total (mg/l);					
- δt est l'écart moyen de T° entre l'eau de refroidissement déversée et l'eau de surface réceptrice (°C).					
- «e» est un coefficient réducteur visant à donner un caractère évolutif à l'introduction de l'écotoxicologie. A partir du 1 ^{er} janvier 2015, le coefficient « e » est égal à 0. A partir du 1 ^{er} janvier 2016, le coefficient est égal à 0,25. A partir du 1 ^{er} janvier 2017, le coefficient est égal à 0,50. A partir du 1 ^{er} janvier 2018, le coefficient est égal à 1 ;					
- «TU» sont les unités de toxicité pour 1 mètre cube, exprimées en équitox, et sont égales à 100/EC50-24hr ;					
N.B.:	a = 0 en cas de déversement en eau de surface; a = 0,2 dans les autres cas.				

(Service Public de Wallonie : département de l'environnement et de l'eau et la direction des outils financier, 2015, p. 9)

Annexe C - Grille d'entretien standard, thématiques clés pour un entretien semi-directif

(Clérin, Dubray & Havenne, 2017)

1. Briser la glace

- Qu'est-ce qui vous a interpellés dans notre projet?
- Présentation du projet au complet

2. Le service en tant que tel

- Quels sont les besoins du secteur que nous visons ? (pureté du sel, ... (exemple pour le sulfate de sodium anhydre))
- Quelles sont pour vous les caractéristiques idéales de notre service ? A quoi devons-nous penser pour compléter le service que nous comptons offrir ? (pour passer du labo au service attrayant pour une entreprise)

3. Le marché en tant que tel

- Quelles contraintes pourraient contrecarrer notre projet ?
- Pensez-vous que le marché est mature pour accueillir notre projet ?
- Quelle est votre vision de l'évolution de ce marché et des normes législatives ?
- Avez-vous entendu parler de technologies innovantes en cours de développement qui pourraient entrer sur le marché prochainement ?

4. Les clients potentiels

- Selon vous, quels facteurs influencent la décision d'investissement des clients?
- Selon vous, combien d'entreprises seraient prêtes à acheter notre service au prix que nous proposons ?

5. Les concurrents

- Connaissez-vous certaines entreprises qui ciblent les mêmes clients que nous et proposent le même service ?
- Connaissez-vous des substituts à notre produit ?

Annexe D - CD-rom regroupant les interviews qui ont pu être enregistrées avec l'accord des participants

Liste des *tracks*

Annexe E - Tableau comparatif précisant ce qui est déjà publié sur notre technique par rapport à ce qui n'a pas encore été divulgué au grand public.

	Na ₂ CO ₃	Na ₂ SO ₄	KNO ₃
Proof-of concept	v	v But with smaller membrane	x
Membrane area calculation	v But other process	v but with smaller membrane	x
Pilot plan	x	x	x
Industrial symbiosis	x	x	x

Annexe F – Matrice BCG

Matrice BCG ou encore attraits/atouts Mckinsey : gestion de portefeuille *Mme de Hoe*
êtes-vous d'accord avec notre raisonnement? Si oui nous mettons ceci en annexe

Il n'est pas pertinent de développer ces matrices étant donné que ROS possède uniquement un seul Domaine d'Activité Stratégique (DAS). En effet, la définition de DAS est : *“une sous-partie de l'organisation à laquelle il est possible d'allouer ou de retirer des ressources de manière indépendante et qui correspond à une combinaison spécifique de facteurs clés de succès”* (Johnson et al, 2014, p.233). Il ne faut pas confondre segmentation stratégique (triplets (marchés/ concurrents/compétences)) et segmentation marketing (couples (produit/client)). ROS offre une technologie couplée à un service de maintenance et de symbiose industrielle. Aucune de ces activités n'est dissociable l'une de l'autre. Elles sont interdépendantes. Dans l'optique de démontrer cette théorie, nous allons suivre la méthode de segmentation stratégique de Johnson et al (2014) et expliquer en quoi ces sous-parties partagent des critères similaires.

Le service de symbiose industrielle des sels ne pourrait pas exister sans l'implémentation de la technologie membranaire dans les entreprises. Sans lui, il n'y aurait pas de sels recyclés. Ces deux activités sont imbriquées dans la même chaîne de valeur (voir sous- point 8.1). Le service de symbiose industrielle vient se greffer au service de recyclage en profitant de la communauté déjà créée par le premier. Ils visent les mêmes clients : les usines de production du secteur chimiques sur la même zone géographique. Seule la concurrence est un point qui les sépare. Et encore... Suez environnement est un dénominateur commun. Ces deux sous-parties de ROS partagent également des dénominateurs importants tels que les FCR, les FCS et les avantages concurrentiels (la qualité des sels, la forme du sel anhydre ou décahydraté, la qualité du service) qui sont dépendants d'autres FCR et FCS. Il y a donc énormément de synergies entre ces deux services, qui finalement n'en forment qu'un.

Annexe G - Devis Siva Unit

Bonjour,

Je vous prie de bien vouloir tout d'abord m'excuser pour le délai de ma réponse.

Il est difficile de s'avancer sur le dimensionnement d'une installation de filtration tangentielle sans avoir réalisé d'essais au préalable. Néanmoins, je vous suggère de prendre une hypothèse de perméabilité de 100 l/h.m² dans un premier temps pour le traitement de votre produit avec une membrane dont le seuil de filtration serait de 0,14 µm.

Pour le traitement de 1 m³/h, la surface nécessaire serait donc d'environ 10 m².

Le prix estimatif d'une installation automatisée de filtration tangentielle avec membranes céramiques serait donc d'environ 130 000 € pour votre projet.

Ce prix inclut :

- Un châssis
- Une pompe d'alimentation centrifuge
- Une boucle de circulation comportant un carter de membranes céramiques, une pompe de circulation centrifuge et l'instrumentation,
- Un circuit d'alimentation avec préfiltre de sécurité,
- Un circuit de sortie perméat avec vanne de régulation et instrumentation,
- Un circuit de sortie rétentat,
- Une cuve de nettoyage (NEP) avec sa résistance chauffante, 2 groupes de dosage et les accessoires,
- Une armoire électrique de contrôle/commande/puissance avec IHM et automate

La puissance électrique installée serait de l'ordre de 10 kW pour les pompes et de 12 kW pour la résistance chauffante (uniquement utilisée en phase de nettoyage).

Les membranes céramiques ne sont pas des consommables. Elles sont régénérées à une fréquence à définir (1 fois par semaine par exemple) mais ont une durée de vie de 5 à 10 ans.

L'ensemble de ces informations vous est fourni à titre indicatif et il ne s'agit pas d'informations contractuelles.

Si votre projet devait avancer, nous sommes à votre disposition pour vous proposer du matériel et/ou des prestations d'essais pour valider la faisabilité et le scale up de votre projet.

Je suis à votre disposition pour toute information complémentaire dont vous auriez besoin,

Cordialement,

Laurent Grospelly

Directeur Technique / Technical Manager

@ : lgrospelly@siva-unit.com

Tél : [+ 33 \(0\)4 75 27 09 47](tel:+33475270947)

www.siva-unit.com

Annexe H - Devis ECOSTILL



Thierry SATGE <thierry.satge@tmw-technologies.com>

À Florian, moi ▾

11 mai ☆



Madame,

Suite à votre mail, je vous confirme qu'à priori, notre technologie d'évapo-concentration devrait répondre à vos attentes.

Pour un équipement containérisé, complet, budget :

-ECOSTILL 1000 (1M3/jour de capacité de traitement): 75 K€ HT

-ECOSTILL 2000 (2M3/jour) : 108 K€ HT

A discuter, certains équipements pouvant revenir de location et être de fait disponibles à moindre cout. Ceci ne peut s'étudier qu'au moment où vous serez en mesure de prendre une décision.

délai si matériel neuf : 4 mois à réception de commande .

Cordialement

Thierry SATGÉ

Directeur Général / Coo

6 pl. de la République Dominicaine
75017 PARIS

T/ +33 06 30 20 26 93
F/ +33 09 72 12 79 29

www.tmw-technologies.com



De : Claire Clérin [mailto:claire.clerin@student.uclouvain.be]

Envoyé : mercredi 10 mai 2017 17:02

À : info@tmw-technologies.com

Objet : devis pour votre produit **ecostill**-projet pilote-doctorat

Annexe I - Procédure de nettoyage

Cette procédure est inspirée de la procédure de nettoyage décrite par Janssens. Elle est suivie à la fin d'une expérience avec la membrane, afin de la nettoyer et sécher.

Etape	Action
1	Oter les tuyaux d'entrée dans la membrane des solutions. La membrane se vide
2	Eteindre les deux pompes
3	Remplacer les solutions d'alimentation et osmotique par deux réservoir d'eau déminéralisée à l'entrée de la membrane, et par un réservoir vide à la sortie
4	Enclencher les pompes, à 300mL.min ⁻¹ chacune
5	Quand la conductivité des solutions à la sortie ont moins d'1mS/cm de différence avec l'eau déminéralisée, vider la membrane, en opérant comme au point1
6	Sécher la membrane avec un courant d'air comprimé pendant plusieurs minutes, en alternant les orifices d'entrées, jusqu'à ce qu'il n'y ai plus d'eau qui sorte.

Annexe J - Procédure de nettoyage en cas de blocage total de la membrane

Cette procédure est inspirée de la procédure de nettoyage décrite par Janssens.

Etape	Action
1	Stopper les pompes, inverser les sens des flux
2	Placer des réservoirs d'eau déminéralisée aux entrées dans la membrane, toujours veiller à ce qu'ils soient remplis
3	Remplacer les solutions d'alimentation et osmotique par deux réservoir d'eau, et des réservoirs vides à la sortie.
4	Enclencher le coté osmotique, à $100\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$, essayer d'enclencher le côté alimentation, jusqu'à ce qu'un courant d'eau sache rentrer dans la membrane et en sortir
5	Monter à $300\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, et puis imposer durant 20 secondes un débit à $1400\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$.
6	Inverser les sens de flux, et laisser tourner à $300\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$
7	Quand la conductivité des solutions à la sortie ont moins d' $1\text{mS}/\text{cm}$ de différence avec l'eau déminéralisée, vider la membrane, en opérant comme au point1 de l'annexe A.
8	Sécher la membrane avec un courant d'air comprimé pendant plusieurs minutes, en alternant les orifices d'entrées, jusqu'à ce qu'il n'y aie plus d'eau qui sorte.

Annexe K - Calcul des pressions de vapeur et des activités de l'eau

La pression de vapeur de l'eau pure est fonction de la température de la solution, et se calcule grâce à l'équation d'Antoine ci-dessous (Brito *et al*, 2014). La pression est en mmHg, et la température donnée, en degrés Celsius.

$$p^*(T) = 10^{8.07131 - \frac{1730.63}{233.426 + T}}$$

Pour les activités, soit des activités se trouvant dans la littérature étaient employées, soit elles étaient déterminées via le coefficient osmotique. Le calcul des activités des différentes solutions s'est fait en suivant l'équation suivante (Hamer *et al*, 1972) :

$$\varphi = \frac{-1000}{vmM} \ln a_w$$

Où φ est le coefficient osmotique, v correspond au nombre d'ions générés par la dissociation du composé dans l'eau, m est la molalité (mol.kg^{-1}), M est la masse molaire du solvant et a_w l'activité de l'eau de la solution pure concernée (Ruiz Salmon *et al*, 2017).

Le graphe ci-dessous reprend les activités employées dans le cadre de ce mémoire.

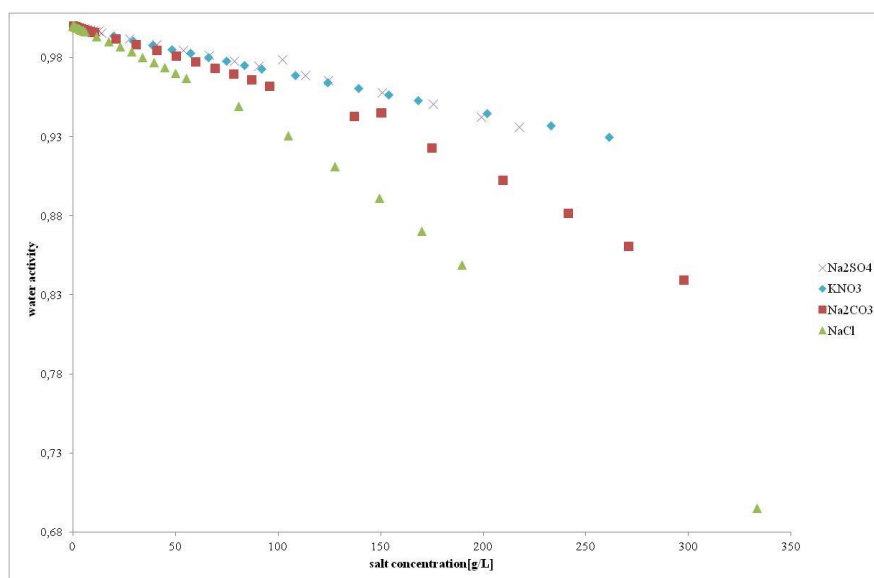


Figure 68 Activités de l'eau de solutions pures de KNO₃, NaCl, Na₂SO₄ et Na₂CO₃ en fonction de la concentration (fait par l'auteur). Les données viennent de, Goldberg, 1981 pour le sulfate de sodium et Hamer et al, 1972 pour le NaCl et le KNO₃. Pour le carbonate de sodium, les activités ont été calculées par Ruiz et al, 2017.

Annexe L - Diagrammes thermodynamiques des sels étudiés

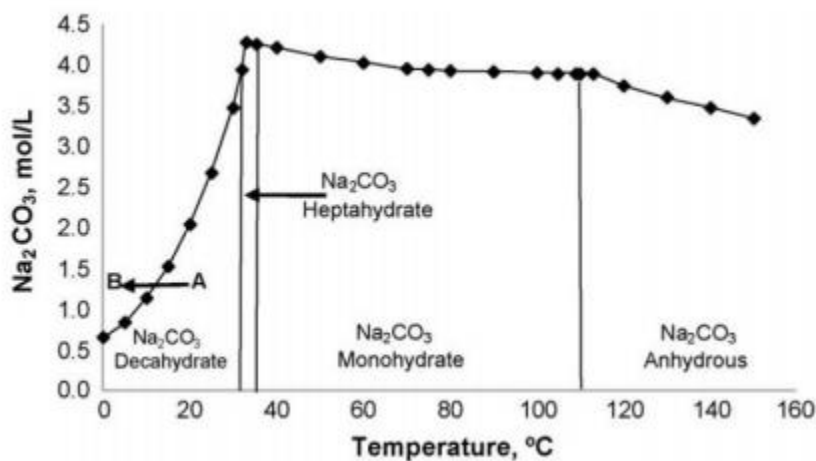


Figure 69 Diagramme de phase du carbonate de sodium (repris de Janssen, 2015)

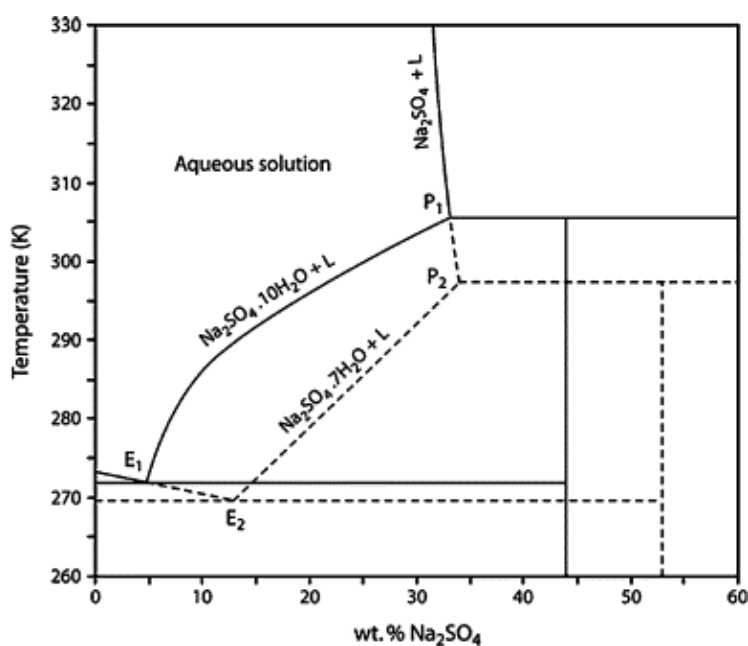


Figure 70 “T–X phase diagram of the binary system sodium sulfate–water at room pressure showing stable phase boundaries (solid) and metastable phase boundaries (dashed). E1 and E2 are the mirabilite– ice and the Na₂SO₄·7H₂O–ice eutectics, respectively. P1 and P2 are the peritectics Na₂SO₄·10H₂O(s) - Na₂SO₄(s) + liquid (L) and Na₂SO₄·7H₂O(s) - Na₂SO₄(s) + L, respectively. The solid vertical line at 44.09 wt.% Na₂SO₄ corresponds to the composition of mirabilite, and the dashed vertical line at 52.97 wt.% corresponds to the heptahydrate” (Brand *et al*, 2009, page 30)

Figure 3: Solubility of KNO_3 as a Function of Temperature

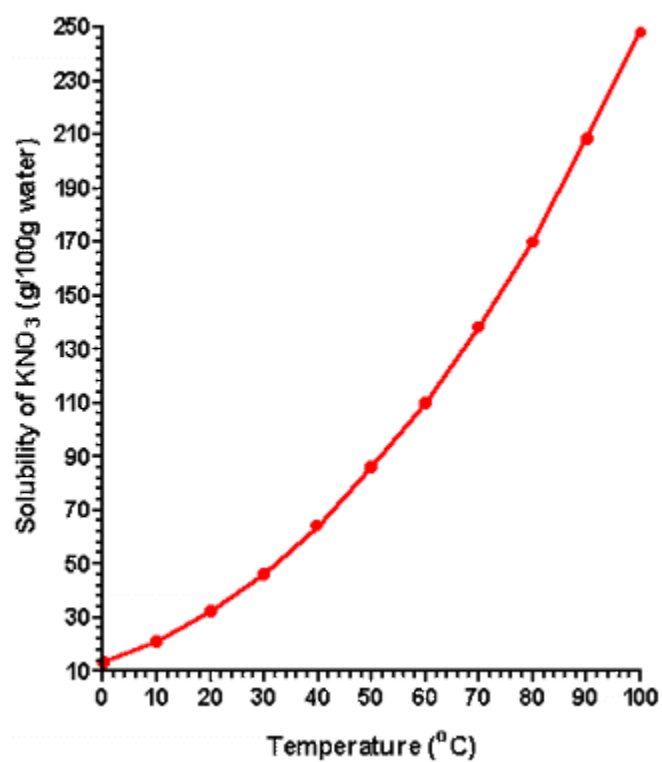


Figure 71 Solubilité du nitrate de potassium dans l'eau en fonction de la température
(<http://slc.umd.umich.edu/slconline/Graphing/GRAPH/>)

Annexe M - Lavement des cristaux avant détection des chlorures

Les cristaux sont susceptibles d'être couverts d'ions chlorures, s'il y en a dans la solution surnageante. Dès lors, afin de ne pas erroner les analyses nous permettant de savoir si du chlorure s'est inséré dans le cristal, il faut le retirer de la surface de ce dernier.

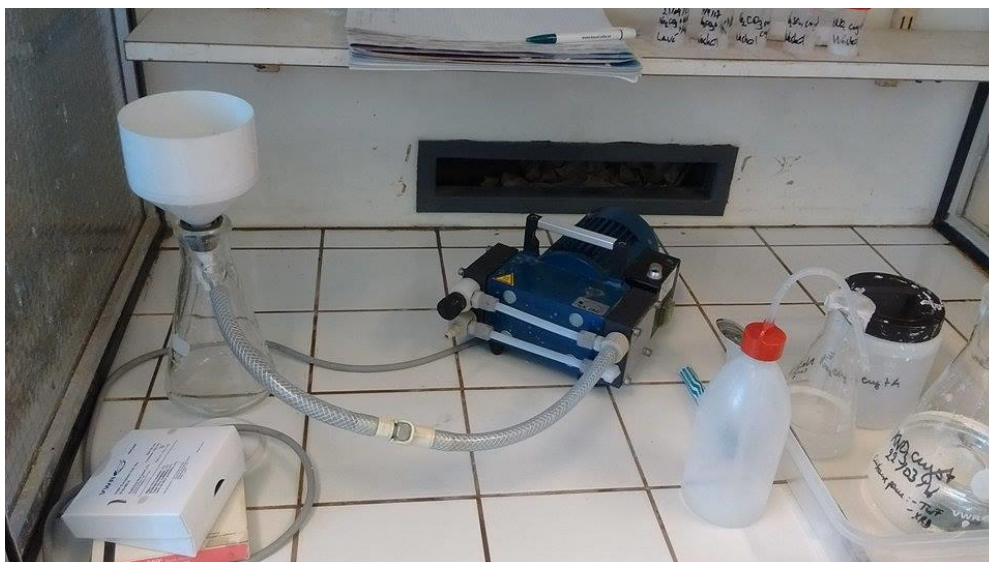


Figure 72 Montage du lavement des cristaux

Comme la **Figure 73** l'illustre, un montage classique de filtration sur bûchner est monté. Il comprend un bûchner, des joints pour étanchéifier la jonction bûchner-erlenmeyer, un papier filtre adapté dedans, un erlenmeyer de filtration, et, dans le cas de ce laboratoire, une pompe à vide.

Les cristaux sont déposés sur le papier filtre, de l'eau déminéralisée aspergée généreusement dessus. La pompe est actionnée, rapidement pour éviter la dissolution des cristaux, et l'eau passe à travers le buchner. L'opération est répétée deux trois fois. Enfin, les cristaux sont récupérés et stockés dans un pot hermétique pour analyse.

Annexe N – Diffraction aux Rayons X

Traitement des données :

Fichiers DAT, ouvrables via Excel
Fichiers RAW, ouvrables via le programme « Diffract WD »

Programme Mercury :

Double cliquer sur le fichiers cif souhaité. Lorsqu'il s'ouvre, ouvrez l'onglet « Calculate », puis cliquez sur « Powder Pattern ». On obtient alors les pics importants pour la comparaison.

Il se peut que tous les pics retrouvés dans le spectre issu de la littérature ne soient pas tous visibles sur le spectre XRPD de l'échantillon.

Trouver des spectres dans la littérature

Avoir le programme Mercury installé sur son ordinateur. Se rendre sur <http://www.crystallography.net/cod/search.html>. Insérer les éléments recherchés, le nombre d'éléments distincts dans les cases appropriées et appuyer sur Search.

Les résultats indiquent le titre de l'article, dans lequel on peut trouver le composé représenté par le spectre. Si le composé n'est pas repris, il y a également le nombre d'éléments compris dans la structure qui sont décrit. Le spectre est le fichier cif, qu'il faut télécharger, et ouvrir avec Mercury.

Annexe O - Calcul de la surface membranaire

Cette annexe vise à expliquer la méthodologie suivie pour le calcul de la surface de membrane nécessaire pour atteindre la concentration d'une solution désirée, selon que l'on emploie un module, ou plusieurs. Deux méthodes de calculs décrites dans l'art antérieur ont été reprises, et adaptées à ce mémoire (Li *et al*, 2016 ; Simon, 2016).

Méthode 1

Ce paragraphe suit en grandes lignes la démarche décrite par Kevin Simon dans sa thèse.



Figure 73 Schéma d'une module membranaire unique. La lettre Q symbolise le flux, C la concentration. Le premier indice symbolise l'alimentation par le f, et l'osmotique par le o. Le second indice réfère à la valeur initiale par 0, et à la valeur finale avec f (Simon, 2016).

La plupart des paramètres représentés dans la figure ci-dessus sont déjà connus. De fait,

- C_{f0} : La concentration de l'alimentation initiale : 52,19g/L
- C_{ff} : la concentration finale de l'alimentation (c'est l'objectif visé) : 192,3 g/L
- Q_{f0} : le débit d'entrée de l'alimentation : 300 mL/min et 1000L/h (1m³/h, débit d'effluent de l'industrie)
- Q_{o0} : le débit d'entrée de l'osmotique : 300mL/min à l'échelle laboratoire. A l'échelle du projet pilote, on fait la supposition que l'on impose un débit équivalent : 1000L/h
- C_{o0} la concentration initiale de l'osmotique : 300g/L

K, le coefficient de transfert de masse (déterminé expérimentalement). Contrairement à Simon (2016), nous n'emploierons pas le coefficient de transfert de masse pour déterminer le flux moyen (J_{avg}). Nous nous contenterons de faire une moyenne des flux J_i aux conditions identiques à Simon afin de vérifier l'exactitude du calcul réalisé.

On détermine le débit final de l'alimentation, Q_{ff} , en suivant la loi de conservation de masse :

$$Q_{ff} = \frac{C_{f0} * Q_{f0}}{C_{ff}}$$

La différence entre le débit initial et final est uniquement due à la quantité d'eau transférée de la solution d'alimentation à la solution osmotique via la membrane. Dès lors,

$$\Delta Q = Q_{f0} - Q_{ff} = Q_{of} - Q_{oo} = J_{avg} * A$$

Pour déterminer la valeur du flux, nous avons fait une moyenne des flux des expériences réalisées en laboratoire avec une solution osmotique à 300 g/L. Car lors d'une cristallisation d'un déchet, sa concentration ne restera pas constante. De plus, nous avons observé que la solution d'alimentation n'impactait que très peu la valeur du flux, comparé à la concentration de la solution osmotique (Simon, 2016 ; Janssen, 2015). Nous obtenons un J_{avg} de 1.54 mL/m²*min, équivalent à 0,0924 L/h*m².

Dès lors, la surface de membrane nécessaire pour cristalliser (atteindre 190 g/L) une solution à 52,19 g/L avec un débit de 300 mL/min, est obtenue via la formule : $A = \frac{\Delta Q}{J_{avg}} = 141 \text{ m}^2$. Pour le reste des concentrations des effluents, et du débit industriel, les résultats sont répertoriés dans le chapitre 11 : Plan de production.

Méthode 2

Les paramètres listés ci-dessous sont les éléments à savoir pour cette méthode de calcul de la surface de membrane nécessaire pour concentrer une solution jusqu'à une concentration souhaitée. Cette méthode est tirée des appendices de l'article de Li *et al* (2014), mais modifiée, en raison des unités du flow rate employée. De fait, Li *et al*, employait un débit industriel dont l'unité est m/s. Dans notre cas, nous travaillons avec un volume par unité de temps. Donc, la surface n'est plus nécessaire à savoir.

C_{init}: [kg/L] Concentration de la solution à l'entrée de la membrane.

d: densité de la solution étudiée, à une certaine concentration.

Q [L/s]: volumetric flow rate. Cette valeur correspond au volume de solution entrant dans la membrane par unité de temps, du à l'action de la pompe.

M_{in} [kg/s]: la masse totale de solution entrant dans la membrane, et est obtenue en multipliant le flux volumétrique à l'entrée de la membrane avec la densité de la solution entrante. Elle comprend la masse totale entrant instantanément dans la membrane d'eau (M_{water}) et de soluté (M_{solute}).

$$M_{in} = Q_{in} * d_{in} = M_{water,in} + M_{solute}$$

M_{out} [kg/s]: Quantité totale de solution sortant de la membrane.

$$M_{out} = Q_{out} * d_{out} = M_{water,out} + M_{solute}$$

M_{solute} : Ne change pas entre l'entrée et la sortie de la membrane.

$$M_{solute} = C_{init} * Q_{in}$$

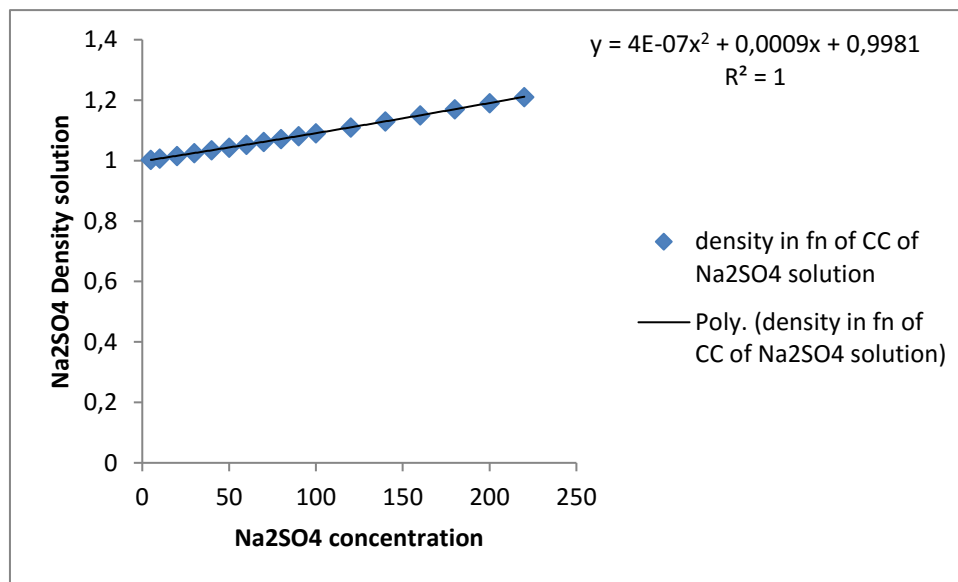


Figure 74 Densité de la solution de sulfate de sodium en fonction de sa concentration (Haynes , 2014)

$M_{w,MC}$: La différence entre la masse totale d'eau sortant de la membrane ($M_{water,out}$) et la masse totale d'eau entrant dans la membrane ($M_{water,in}$), nous donnera la quantité instantanée d'eau quittant la solution pour aller vers la solution osmotique lors du procédé de cristallisation membranaire (indice « MC »)

Le schéma ci-dessous représente l'entrée et la sortie de la solution de la membrane. La flèche vers le bas symbolise la vitesse de transfert de l'eau de la solution d'alimentation à la solution osmotique.

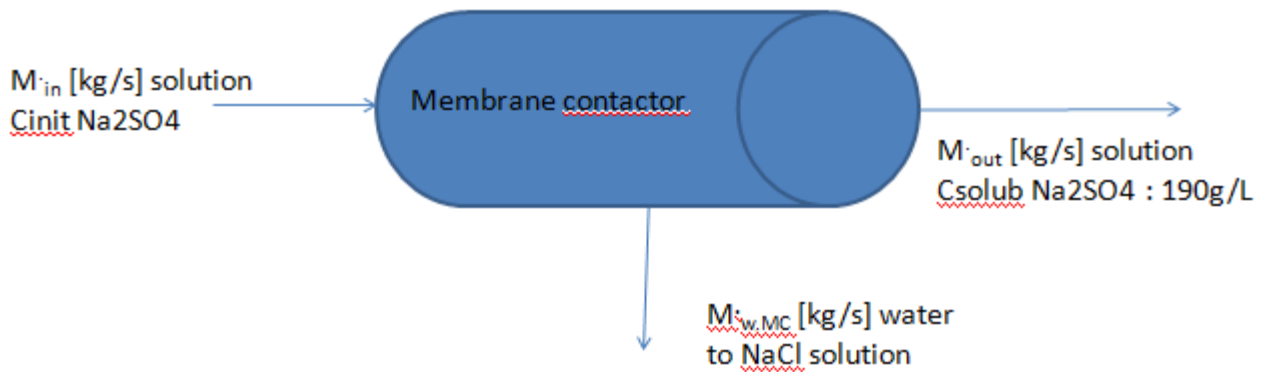


Figure 75 Schéma de distillation et cristallisation membranaire. Sur base de Li et al (2014) (Clérin, Dubray, & Havenne, 2017)

Pour déterminer la surface de membrane nécessaire, il faut d'abord déterminer $\dot{M}_{w,MC}$. Pour ce faire, il faut commencer par trouver $\dot{M}_{water, in}$. Il faut d'abord calculer Q_{in} .

Cette donnée acquise, il est alors possible de trouver $\dot{M}_{in}$, car $\dot{M}_{in} = Q_{in} \cdot d_{in}$. $\dot{M}_{in} = \dot{M}_{water, in} + \dot{M}_{solute}$

Comme $\dot{M}_{solute} = C_{init} \cdot Q_{in}$, $\dot{M}_{water, in}$ est obtenu de la différence de $\dot{M}_{solute}$ à $\dot{M}_{in}$.

Ensuite, $\dot{M}_{water, out}$ est à déterminer. $\dot{M}_{solute}$ est le même, car la quantité de sel présente est restée la même.

Pour déterminer $\dot{M}_{out}$, on part de la concentration [g/L] visée à l'issue de la concentration en transformant le litre de solution en masse, via la densité de la solution pour cette concentration. Cette quantité [g/s] comprend la quantité d'eau ($\dot{M}_{water, out}$), et la quantité de soluté ($\dot{M}_{solute}$).

$$\dot{M}_{w,MC} = \dot{M}_{water,in} - \dot{M}_{water,out}$$

Pour finir, la membrane nécessaire à la concentration souhaitée équivaut à:

$$A_{MC} = \frac{\dot{M}_{w,MC}}{J_{w,MC}}$$

Annexe P - Détails du matériel pour le laboratoire R&D :

4 pompes péristaltiques Masterflex avec accessoires



Pos.	Article No.		Amount	Unit	Unitprice	Dis%	Total
1	CPA-0752810	DRIVE MFLEX L/S 600 RPM, 115/230 V	4	STK	€ 1'728.00	10.00	€ 6'220.80
2	CPA-7720060	PUMPHEAD MFLEX EASY-LOAD II	4	STK	€ 441.00	10.00	€ 1'587.60
3	CPA-9641917	Masterflex Tubing Puri-Flex, L/S 17, 25' (7,6 m)	1	STK	€ 67.64	10.00	€ 60.88
4	CPA-3070411	NPT Male Adapter to Hose Barb, 1/4" NPT to 1/4" ID, PVDF, 10/pk	1	STK	€ 38.03	10.00	€ 34.23

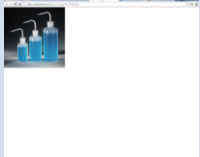


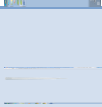
Pos.	Article No.		Amount	Unit	Unitprice	Dis%	Total
5	CPA-0638474	Compression to female threaded adapters, PP, 3/8" OD x 1/4"	8	STK	€ 21.48	10.00	€ 154.66
6	CPA-9510006	TUBING, PVDF, 1/4 X 3/8", 25' (7,6 m)	1	STK	€ 155.71	10.00	€ 140.14
7	CPA-0638584	Compression to male threaded adapter, PVDF, 3/8" OD x 1/4" N	4	STK	€ 7.98	10.00	€ 28.73
Total hors TVA et contribution de recyclage							€ 8'227.04

Les raccords 30704-11 et 06384-74 sont offert pour pouvoir connecter le tuyau Masterflex au tuyau PVDF.

Le raccord 06385-84 est offert pour pouvoir faire le raccordement entre le tuyau PVDF et le membrane que vous avez à votre possession.

Liste du matériel de laboratoire nécessaire pour la recherche

Material	Article No	Amount	Picture	Unit Prize	Total prize
Erlenmeyer (Glass)	EW-34506-14 Cole-Parmer Erlenmeyer Flasks, Glass, 500 mL, 6/pk	1		36,64 (package of 6)	36,64
	EW-34506-16 Cole-Parmer Erlenmeyer Flasks, Glass, 1000 mL, 6/pk	1		60,19 (package of 6)	60,19
	EW-34506-18 Cole-Parmer Erlenmeyer Flasks, Glass, 2000 mL, 1/pk	2		47,27	95,4
Magnetic bar	JZ-04770-50 MONO-MOLD Standard Stir Bar, 1-1/2"L x 3/8" dia	2		9,21	18,42
	JZ-04770-40 MONO-MOLD Standard Stir Bar, 1"L x 3/8" dia	2		7,67	15,34
Stirrer	TW-03406-05 StableTemp Ceramic Stirrer, 4" x 4", 230 VAC	2		382,00	764
Wash bottle	EW-62304-50 Thermo Scientific Nalgene economy low-density polyethylene wash bottle, 1 L	1		40,48 (package of 4)	40,48
Gloves	TW-86231-51 Microflex Micro One Latex Gloves; size, medium	2		16,25	32,5
Cylinders (PP)	EW-06137-84 Economical graduated polypropylene cylinder, 2000 mL	2		77,28	154,56
	EW-06137-82 Economical graduated polypropylene cylinder, 1000 mL	2		43,25	86,5
Volumetric Flasks (Glass)	EW-34560-11 PYREX Brand 5580 Volumetric Flask; 1000 mL, pack of 1	1		77,20	77,20

	EW-34560-10 PYREX Brand 5580 Volumetric Flask; 500 mL, pack of 6	1		366,37	366,37
Vials (PP)	EW-06120-68 50mL, PP vial with graduations, 500 pack	1		229,39	229,39
Filter support	EW-06644-90 Advantec Glass Microanalysis Filter Holder, 47 mm, PTFE Support; 100 mL	1		207,56	207,56
Glass fiber filters	EW-06646-02 Advantec Grade GA55 Glass Fiber Filters, 47mm dia; 100/box	1		53,37	53,37
Balance	EW-11902-02 Adam PGL High- Capacity Precision Toploading Balance, 2 Kg X 0.01 G	1		1.067,23	1.067,23
Lab spoon/ spatula	LZ-01019-14 Lab Spoon/ Spatula, 304 SS, 12"L, 5 mL, 1-1/2"W spoon end, 1-3/16"W spatula end	1		71,97	71,97
Parafilm	LZ-06720-40 Parafilm Wrap PM996, 4" Wide; 125 Ft/Roll	1		33,37	33,37
Beaker	EW-34530-64 Pyrex Vista Griffin Style Beakers, 250mL 12/pk	1		55,61	55,61
Pipettors	EW-24554-32 Pipettor Adjustable Volume 1000 to 10,000µL	1		432,37	432,37
Pipette tips	EW-24553-35 BrandTech Transferpette Pipettor TIP 10 mL; 2 bags of 100 tips	1		107,62 (2 bags of 100)	107,62
Water bath	Cole-Parmer StableTemp Digital Utility Water Baths, 28 liters, 240V, 50 Hz	1		925,00	925,00

pH/ Conductometer	pH/Conductometer anal.acec capt.,malette	1		2.400,10	2.400,10
TOTAL					7331,19

Annexe Q - Mail de Dominique Horbez concernant le projet pilote

**HORBEZ, Dominique**

19 mai ☆  

À moi ▾

Bonjour,
Petite précision, je vous ai dit de considérer dans votre approche un débit "normalisé" de 1 m3/h, mais qui ne correspond pas à notre cas dont je ne peux pas vous parler pour des raisons de confidentialité.

Un procédé continu produit 24 h / 24, mais il y a toujours des périodes d'arrêt prévus (arrêts annuels, maintenance) ou non (pannes, dysfonctionnements...).

On utilise généralement un indicateur de performance appelé OEE (overall equipment effectiveness)

Une unité qui aurait un OEE de 90% produirait donc pendant $24 \times 365 \times 0.9 = 7884$ heures (à titre d'exemple)

Une unité qui aurait un OEE de 85% produirait donc pendant $24 \times 365 \times 0.9 = 7446$ heures (à titre d'exemple)

Cordialement

This message and any attachments is intended for the named addressee(s) only and may contain information that is privileged and/or confidential. If you receive this message in error, please delete it and immediately notify the sender. Any copying, dissemination or disclosure, either whole or partial, by a person who is not the named addressee is prohibited. We use virus scanning software but disclaim any liability for viruses or other devices which remain in this message or any attachments.

Ce message, ainsi que toute pièce jointe, est exclusivement adressé au(x) destinataire(s) nommé(s) et peut contenir des informations confidentielles. Si vous recevez ce message par erreur, merci de le détruire et d'en avertir immédiatement l'émetteur. Toute copie, transmission ou divulgation, intégrale ou partielle, par une personne qui n'est pas nommée comme destinataire est interdite. Nous utilisons un logiciel anti-virus mais nous déclinons toute responsabilité au cas où des virus, ou tout autre procédé, seraient contenus dans ce message ou toute pièce jointe.

Annexe R – Politique de prix générale : à partir de 2021 pour 6 clients

Nous avons choisi d'établir la politique de prix de ROS sur l'année 2020. En effet, l'expérience cumulée durant les trois premières années, le taux de "production" de la technologie ROS se stabilise enfin. Nous faisons l'hypothèse que, à partir de 2020 chaque année, six projets ROS seront menés à bien. La seule variable divergente pour calculer le coût des prochains contrats (clients 2021, 2022, ect)

Concernant l'année 2020 spécifiquement, chacun de ces projets est étudié, testé et adapté au client durant l'année 2019. En janvier 2020 les technologies sont fonctionnelles et installées chez chacun des clients C'est également durant ce mois que le client doit régler les deux contrats.

Contrat d'entreprise pour la première année

Nous allons, dans un premier temps, calculer le prix plancher, ensuite le prix technique pour finalement obtenir le prix final que le client doit payer pour acquérir et installer la technologie dans son usine.

Prix plancher

Comme précisé dans le chapitre sur le marketing opérationnel, le prix plancher, ou autrement dit, le prix limite correspond au coût direct. Un coût direct se calcule comme suit :

$$\text{Coût direct} = \text{Matières premières} + \text{Salaires directs} + \text{Frais de marketing directs}$$

- Matières premières: 117 520 Membranes; 11 760 Membranes de secours/nettoyage; 2 Pompes centrifugeuses; Accessoires pour les 129 280 membranes; Reservoirs; Système de filtration; Système de concentration ECOSTILL; Système de monitoring; NaCl pour solution osmotique; Eau déminéralisée pour solution osmotique.
= 232.025.488 €
- Salaires directes:
- L'équipe ROS : 6 mois de travail sont nécessaires pour analyser les effluents, commander les technologies adéquates en fonction des variables de l'entreprises clientes et construire le processus ROS. Nous mobilisons un duo d'ingénieurs-chimistes par projet durant six mois, composé d'un fondateur et un employé (3 duos sont dédiés à la réalisation des projets, chacun chargé de 2 projets par ans). Ceci correspond donc à 43. 368 € + 36. 153 € les coûts comprennent le salaire brut et les cotisations patronales pour 6 mois.
- Intervention extérieur: Analyse des cristaux par un laboratoire extérieur. L'installation du système ROS dans l'usine de notre client par une entreprises spécialisée sous-traitée par ROS (3 personnes nécessaires durant 6 jours : 18.000 €); Un expert HSE pour encadrer la construction du procédé ROS (2.000 €) .

$$= 99.946 €$$

- Frais de marketing directs : compte LinkedIn; présence sur les salons professionnels; Google Adwords. Ces frais s'élèvent à 10.540 euros pour l'année 2020. En sachant que le nombre de client s'élève à 6, le prix par client est de 1.756,667 euros.

= 1.757 €

Les coûts directs s'élèvent donc **232.127.191 €**

Prix technique

Quant au prix technique, il se calcule comme suit :

Prix technique = Coût direct + Frais fixes/quantités clients

Le prix technique n'est pas pris en compte dans le prix de la vente de la technologie, les frais fixes seront uniquement intégrés au contrat de service avec clauses qui est réglé annuellement durant dix ans.

Prix de la technologie/ contrat d'entreprise

Nous souhaitons prendre une marge de 10 % justifiée par la R&D effectuée durant deux années auparavant.

= 232.127.191 € + 23.212.719,1 € = **255.339.910 €**

Le client doit donc investir **255.339.910 €** pour acquérir et installer le system ROS dans son usine.

Contrat de service avec clauses par année

Nous allons, dans un premier temps, calculer le prix plancher, ensuite le prix technique pour finalement obtenir le prix final que le client doit payer annuellement pour entretenir la technologie ROS.

Prix plancher

Dans le cas d'un procédé d'une capacité de traitement de 20m³/h, le prix plancher se calcule comme suit :

Coût direct = Matières directes + Salaires directs + Frais de marketing directs

- Matières premières : NaCl pour la solution osmotique (2.100 €); Eau déminéralisé pour la solution osmotique (550 €); Connection du système de monitoring à l'espace personnel client sur le site internet (1.000 €).
= 3.650 €
- Salaires directes:
- Equipe ROS: une intervention annuelle pour renouveler la solution osmotique, pour prélever des cristaux, faire un état des lieux de tous éléments du système, vérifier le système de monitoring et pour nettoyer en profondeur le système ROS (3500 €).
- Intervention extérieur: Trois intervention par an d'un laboratoire externe pour vérifier la qualité des sels (425 €); 2 contrats de sous-traitances (154.438 €).

Un client jouit durant l'année d'un service de symbiose industrielle et de maintenance.

Le premier service englobe le transport et la livraison des sels commercialisé, nous avons basé notre hypothèse coût sur Solvay qui n'a pas besoin des Na₂SO₄ recyclés et souhaite donc tous les vendre. Un client hypothétique souhaite acquérir ces sels,

celui-ci se trouve à 24 km de Solvay. On produit $9,41 \text{ m}^3$ / jour , donc, 25,05 tonnes/ jour. La capacité d'un camion est d'environ 25 tonnes. Le camion vient chercher les sels (25, 05 Tonnes) tous les jours, ce qui revient à 365 transports par année ($16,26 \text{ €/km} \times 24 \text{ km} \times 365 = 142.438 \text{ €/an}$).

Le service de maintenance vient tous les mois chez le client pour contrôler les pompes, le système de filtration, les membranes et la technologie ECOSTILL. Le service est appelable 24 heures sur 24 et est facturé 1000 euros par mois (12.000 €/an).

= 158.363 €

- Frais de marketing: déjà inclus dans le prix de la technologie
= 0 €

Les coûts directs s'élèvent donc à 162.013 €

Prix technique

Quant au prix technique, il se calcule comme suit :

Prix technique = Coût direct + Frais fixes/quantités des nouveaux clients

Dans un premiers temps nous allons d'abord composé les frais fixes.

- Loyers : 24.000 €
- Frais administratifs: 500 €
- Salaires de deux fondateurs : 173.472 € (gestion quotidienne)
- Achat bureau : 30 000 €
- Maintenance site internet: 2 460 €
- RH: 500 €
- Charges d'exploitation: 10.140 €
- Assurances: 10.000 €

Les frais fixes s'élèvent à 251.072 €

Sachant qu'à partir de 2021, on estime vendre 6 procédés ROS par an à partir de 2021, le prix technique correspond à

Prix technique : $162.013 + 251.072 / 15 = 178.751 \text{ €}$

Prix annuel du contrat de service

Nous souhaitons prendre une marge de 10 % justifié par la R&D effectuée durant les deux années auparavant.

= $178\,751 \text{ €} + 17.875,1 \text{ €} = 196.626 \text{ €}$

Le client doit donc payer annuellement **196.626 €** pour entretenir le système ROS.

Annexe S : Devis de la société PHC, pour les pompes

Pompes

Fournisseur: phc (<http://www.pompesphc.be/>) Contact: Mr Hollange, fils (Sébastien),
composer le numéro de téléphone du site (très petite boîte)

nb: -Comme nous avons le nom, les caractéristiques de la pompe, on peut sans doute aller se fournir ailleurs
niveau du prix

-Avec Mr Hollange, car je n'ai pas su obtenir d'infos sur le réseau électrique des industries (confidentialité), on est
partis sur l'hypothèse que le réseau était triphasé, car c'est le plus stable

Pour un débit de 1m³/h

- Modèle: V85PX-35
- Inox (voir commentaire de la slide), immergée, centrifuge
- Puissance: 0.55kW (donc, pour 1m³/h à traiter, conso de 0.55kWh)
- Pression: 0.9 bar
- Orifice: 6/4 pouces (DM40)→ réduire avec un rond en inox à ¾ pouces
- Prix : 405 euros
- Pas vraiment de maintenance nécessaire, sauf si problème

Pour un débit de 20 m³/h

- Modèle: DGX200265
- Tout inox, immergée, centrifuge
- Hauteur de relevage: 2 m
- Puissance: 1.5 kW
- Pression: 1bar
- Orifice: DM65 (=65 mm).
- Prix: 3050 euros
- Maintenance à faire

