9 Octobre 2018

# Optimisation du Traitement des Effluents Glycolés sur la plateforme Aéroportuaire de Roissy-Charles de Gaulle Rapport TFE - 2018

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ENGEES, du C.E.S "Gestion, traitement, valorisation des déchets", option Déchets Industriels à l'ENSMN






Présenté par MARRAUD DES GROTTES Alexandra
PROMOTION FREIBOURG - FORMATION INITIALE 2015-2018


Stage effectué à Roissy-en-France, à l'aéroport de Roissy Charles de Gaulle du 3 Avril au 28 Septembre 2018

Référent école : Jean-Marc WILLER, directeur adjoint de l'ENGEES
Maître de stage : Michel LANDELLE, chargé de missions Exploitation Process avion et aires aéronautiques

Structures Scolaires : Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg
Ecole Nationale des Mines de Nancy
Structure d'accueil : Groupe Aéroports De Paris

# Résumés

L'étude présentée est réalisée dans le but d'améliorer le traitement des effluents glycolés déjà en place sur la plateforme aéroportuaire de Roissy-Charles de Gaulle. Ces effluents polluants sont, pour le moment, récupérés dans des bassins pour augmenter la concentration en glycol afin de les valoriser. Plus l'effluent est concentré en glycol, meilleure est sa valorisation. A l'inverse, si l'effluent est trop peu concentré, la valorisation ne sera pas possible et une biodégradation sera préférée. L'étude a donc pour but d'optimiser les coûts et les opérations. Après un travail de diagnostic et de bibliographie, deux solutions ont été sélectionnées. La première, la plus adaptée, est d'envoyer les effluents les moins concentrés, qui ne sont pas valorisable et qui coûtent chers à la destruction, en traitement dans la station d'épuration la plus proche. Cela évitera les transports trop importants et permettra une réduction des coûts immédiate sans investissement de départ. La deuxième solution présente une dégradation biologique (filtre à gravier aéré) sur site des effluents les moins concentrés. Elle est efficace mais demande un investissement de départ conséquent et complique les opérations durant l'hiver : les effluents en entrée doivent être gérés de façon à ne pas endommager le filtre biologique.

This study is realized in order to improve the glycoled effluent treatment on the Paris, Roissy Charles de Gaulle international airport. Those effluents are recuperated in basins to allow a valorization and increase the glycol concentration for now. The more concentrated the effluent is, the best is the valorization. However, in case in the effluent is not enough concentrated, the biodegradation is the way to treat it. The goal of this study is to optimize the costs and the operations. A diagnostic of the waste and a bibliography work have been done in order to select two solutions. The concept of the first one, the most appropriate, is to treat the less concentrated effluent, expensive and non-recoverable, in a water treatment plant next to the airport. That avoids too much kilometers in trucks and allows a less expensive treatment. That reduces the costs of present situation and no investment is needed. The concept of the second solution is to build a biological filter (aerated gravel bed) on site to treat the less concentrated effluent. This is efficient but it demands a lot of operations to manage the entry effluent (to not create damages on filter).

# Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier les managers du pôle VH sans qui mon stage n'aurait pu avoir lieu : Michel LANDELLE, mon maître de stage qui m'a donné l'opportunité de faire un stage réellement intéressant, qui m'a suivi et jamais laissé tomber malgré un changement de poste, Alain GABRY, nouveau responsable du pôle VH qui m'a aidé et a répondu à mes nombreuses questions et enfin David DIAS qui m'a encadrée durant tout ce stage et emmenée dans la bonne direction, qui m'a donné beaucoup de son temps et aidé à avancer tout au long de ces 6 mois.

Je tiens ensuite à remercier chacun des membres du pôle VH. Ils m'ont tous aidée et donnée de leur temps pour m'expliquer leurs missions, m'ont emmenée sur le terrain, m'ont accompagnée en visite, etc. : François FOURNIOLS (pour m'avoir accompagnée dans toutes mes pérégrinations), Karine BAHIA (pour son humour), Fabrice CARLIER (pour son partage et sa gentillesse), Maryvonne RUCHAUD (pour sa bonne humeur), Malik NDIAYE (aussi pour sa bonne humeur), David BLANCHARD (pour les contacts qu'il m'a donnés), Albéric YAOMBITI mais aussi Gilles MAILLE (pour m'accompagner déjeuner tous les midis), Fabien AVRILLAS (pour déguster des glaces avec moi), Adjina DJUMA-PILI (toujours prêt à parler de dégivrage), Alice BRULE, et Isabelle BERNADO-CURIEL (pour son rôle de mère qu'elle tient auprès de toute l'équipe).

Ce stage a été une vraie découverte de l'entreprise et la consécration de mes trois années d'études. Je remercie pour cela toutes les personnes avec qui j'ai eu l'occasion de travailler de près ou de loin.

Enfin, après mes trois années d'étude à l'ENGEES, je me rends compte que les amis que je m'y suis fait ont été essentiels à la réussite de mes études et à mon épanouissement. Je tiens donc à remercier toute la promotion Freibourg et tous les élèves de l'école avec qui j'ai eu l'occasion d'échanger.

J'aimerai aussi remercier mes professeurs qui, pour beaucoup d'entre eux, ont été un réel soutien.

Et enfin, mes derniers remerciements vont à ma famille qui m'a supportée et soutenue tout au long de mes études.

# Table des matières

Liste des Figures ..... 7
Liste des Tables ..... 7
Liste des abréviations ..... 8
Introduction ..... 9
I- Contexte et mise en situation ..... 10
**1) Contexte de l'étude ..... 10**
A. L'entreprise ..... 10
B. La sécurité sur l'aéroport ..... 12
**2) Le dégivrage/antigivrage ..... 13**
A. Le fonctionnement ..... 13
B. Le traitement des effluents ..... 16
**3) Mise en situation de la problématique ..... 18**
A. Le glycol ..... 18
B. Le déchet à traiter ..... 19
C. Conclusions ..... 21
II- Analyses nécessaires à l'étude ..... 23
**1) Analyse du déchet et son traitement ..... 23**
A. La production du déchet ..... 23
B. Le coefficient de récupération des BRE ..... 26
C. Modélisation d'une saison hivernale ..... 28
**2) Le cadre réglementaire ..... 31**
A. Les principes et hiérarchies dans la loi et sur CDG ..... 31
B. Le cadre réglementaire ..... 33
**3) Conclusions ..... 34**
A. Hypothèses retenues ..... 34
B. Conclusions ..... 35
III- Horizons des solutions possibles ..... 36
**1) Etat de l'art des solutions possibles ..... 36**
A. Les solutions biologiques ..... 36
B. Les solutions physico-chimiques ..... 41
C. Comparatifs des solutions ..... 43
**2) Etat des lieux ..... 44**
A. Etat des lieux à CDG ..... 44
B. Etat des lieux à l'aéroport d'Orly ..... 46
C. Tour d'horizon des aéroports étrangers ..... 48
**3) Bilans sur les solutions proposées ..... 49**
IV- Sélection des solutions et leur étude ..... 50
**1) Scénario 1 ..... 50**
A. Présentation du scénario 1 ..... 50
B. Analyses du scénario 1 ..... 52

**2) Scénario 2 ..... 53**
A. Présentation du scénario 2 ..... 53
B. Analyses du scénario 2 ..... 56
**3) Etude comparative ..... 57**
A. Comparaison des solutions ..... 57
B. Etude multicritère ..... 57
**4) Voies d'amélioration ..... 59**
A. Sondes Vilokan ..... 59
B. Sujets à approfondir ..... 60
Conclusion et amélioration ..... 61
Glossaire ..... 63
Bibliographie ..... 64

# Liste des Figures

Figure 1 : Situation géographique de l'aéroport Roissy-Charles de Gaulle .....11
Figure 2 : Les aires de dégivrage sur la plateforme de Roissy-Charles de Gaulle .....15
Figure 3 : Graphique des poids d'effluents glycolés pompés sur une saison hivernale en fonction des jours de neige et de gel depuis 2012 .....20
Figure 4 : Graphique du tonnage journalier envoyé à SARPI superposé aux concentrations en glycol sur une année (du 19/05/2018 au 19/06/2018) .....21
Figure 5 : Frise chronologique du déroulé de l'étude .....22
Figure 6 : graphique de répartition des effluents en fonction du COT sur les 3 dernières années .....24
Figure 7 : Répartition des prix moyens en fonction de leur libellé .....25
Figure 8 : Graphique représentant les normales de précipitations (mm) sur une saison en lien avec es précipitations cumulées mensuelles sur les trois dernières saisons .....29
Figure 9 : Graphique représentant les températures minimum normales (°C) en lien avec les celles des trois dernières saisons .....30
Figure 10 : Dégivreuse de la marque Vesteergardt et Zoom sur l'applicateur de produit .....32
Figure 11 : Schéma de principe du procédé à boues activées (BOIS P. – LAURENT J, 2015) .....37
Figure 12 : Filtre planté de roseaux à écoulement vertical. BOIS P. – LAURENT J, 2015 ....38
Figure 13 : Vue en coupe d'un biofiltre de type Biofor. (BOIS P. – LAURENT J, 2015).....40
Figure 14 : schéma de principe de l'osmose inverse .....
Figure 15 : Schéma explicatif du lien entre le FAGA et la phyto épuration sur le mode opérationnel .....
Figure 16 : Bassin biologique du STEP d'Orly .....47
Figure 17 : Marais filtrant du STEP d'Orly.....47
Figure 18 : Capture d'écran Google Map du PARIF 15 I à la station d'épuration du Mesnil-Amelot.....51
Figure 19 : Schéma de principe de la sonde sensotech.....

# Liste des Tables

Tableau 1 : Caractéristiques des produits de dégivrage/antigivrage utilisés sur la plateforme aéroportuaire Roissy-Charles de Gaulle .....14
Tableau 2 : Noms commerciaux des produits de dé/anti givrage en fonction du fournisseur 14
Tableau 3 : Capacité en m3 de chaque Bassin de Récupération de la plateforme CDG.....16
Tableau 4 : Analyses en DCO faites en 2018 .....23
Tableau 5 : Répartition des concentrations en pourcentage et moyennes sur les trois dernières saisons hivernales .....24
Tableau 6 : écart type des moyennes sur chaque libellé .....26
Tableau 7 : Données résumant la saison hivernale 2017-2018 .....27
Tableau 8 : Résumé de l'utilisation des informations et données pour le raisonnement sur les hivers passés .....29
Tableau 9 : Poids moyen sur les deux dernières saisons .....31
Tableau 10 : résumé des solutions biologiques présentées.....43
Tableau 11 : tableau résumant les avantages et inconvénients du scénario 1.....51
Tableau 12 : Dimensionnement en surface du FAGA pour traiter 15 g/L de COT (3 % de glycol) .....54
Tableau 13 : Avantages et inconvénients du FAGA et de l'osmose inverse.....55
Tableau 14 : Résumé des deux solutions ainsi que leurs variantes.....57
Tableau 15 : Tableau d'analyse multicritère.....58

# Liste des abréviations

ADF : Aircraft De-icing Fluids : liquides de dégivrage / antigivrage
ADP : Aéroports De Paris
BA : Bassin d'aération
BV : Bassin Versant
BRE : Bassin de Récupération d'Effluents glycolés
CDG : Charles De Gaulle
CDGL : Unité Opérationnelle environnement de CDG
CDGR : Unité Opérationnelle Aires Aéronautiques de CDG
CMV : Compression Mécanique Vapeur
COT : Carbone Organique Total
$DBO_5$ : Demande Biologique en Oxygène pour 5 jours
DCO : Demande Chimique en Oxygène
EP : Eaux Pluviales
FAGA : Filtre A Gravier Aéré
FDS : Fiches de Données Sécurité
FPR : Filtre Planté de Roseaux
MPG : Mono Propylène Glycol
OI : Osmose Inverse
UO : Unité Opérationnelle
VH : Viabilité hivernale

# Introduction

Le transport aérien présente un trafic important qui ne cesse d'augmenter au fil des années.

Chaque aéroport a pour mission d'assurer la sécurité des aéronefs et des passagers et ce, en toute saison. C'est pourquoi des opérations de dégivrage et antigivrage des avions sont essentielles. Ces opérations hivernales consomment des produits chimiques à base de glycol qu'il est nécessaire de traiter pour éviter une pollution des eaux. Ces produits ruissellent dans le réseau des eaux pluviales et en augmentent considérablement la charge organique. Cela pose un réel problème pour la gestion des eaux sur les aéroports.

Le Groupe ADP, sur la plateforme de Roissy-Charles de Gaulle, s'est équipé de bassins pour récupérer les effluents glycolés. Cette solution permet de récupérer les effluents pour soulager l'unité qui s'occupe des eaux pluviales sur la plateforme.

Plusieurs techniques pour traiter les effluents glycolés sont utilisées par les aéroports dans le monde mais leur forte variabilité en concentration et en volume rend la sélection de solutions complexe. De plus, chaque aéroport est unique en termes de climat, de gestion et de trafic. C'est donc un travail minutieux que de choisir une solution adaptée pour un aéroport donné.

Les opérations qui concernent le traitement des effluents glycolés, effectuées par le pôle Viabilité Hivernale de l'aéroport, occupent un budget conséquent et un temps d'action non négligeable. Le but de cette étude est donc d'optimiser le traitement des effluents glycolés de l'aéroport de Roissy-Charles de Gaulle, le plus grand aéroport de France et le deuxième d'Europe en coûts et en opération, entre autres, pour soulager le pôle Viabilité Hivernale.

Pour répondre à cette problématique, le contexte de l'étude sera d'abord présenté. En second lieu, des analyses seront étudiées pour définir la direction de l'étude et poser les hypothèses. Ensuite, un travail bibliographique sera mené pour rendre compte de l'état de l'art des techniques de traitement et la gestion des effluents sur les autres aéroports. Enfin, les solutions les plus pertinentes seront proposées.

# I- Contexte et mise en situation

## 1) Contexte de l'étude

### A. L'entreprise

- *ADP*

Aéroports De Paris (ADP), nouvellement *Groupe ADP* depuis 2016, est une entreprise créée en 1945 spécialisée dans la construction, gestion et exploitation aéroportuaire. Elle compte 17 422 employés. La marque *Paris Aéroports* découle du changement de nom en 2016 et gère les trois grands aéroports parisiens : Paris-Orly, Le Bourget et Roissy-Charles de Gaulle (CDG). L'entreprise a su se développer dans le monde entier au travers de ses filiales : ADP ingénierie et ADP Management. Elle gère actuellement 26 aéroports en France et dans le monde. Avec un chiffre d'affaire de 3 617 M€, le Groupe ADP est le 3$^{e}$ acteur mondial dans le secteur aéroportuaire et le premier en Europe grâce notamment au transport de fret et de courrier qui s'effectuent à Roissy-Charles de Gaulle.

En 2017, ce sont 101,5 M de passagers qui ont transité dans les aéroports parisiens et 228,2 M de passagers dans les aéroports d'ADP [Groupe ADP, 2017]

- *L'aéroport Roissy-Charles de Gaulle*

La plateforme de Paris Roissy-Charles de Gaulle (CDG) est l'aéroport français le plus important, le deuxième aéroport européen (après London Heathrow) et le 10$^{ème}$ aéroport mondial avec près de 70 millions de passagers en 2017 (Groupe ADP, Document de référence et rapport financier annuel, 2017). La plateforme reçoit tous les vols commerciaux, de fret et courrier avec des vols longs, moyens et courts courriers. L'aéroport a donc des infrastructures variées pour accueillir tout type d'avion. Paris étant la ville la plus visitée du monde, l'aéroport se trouve à une place stratégique, 25 km au nord de Paris, comme montré sur la carte (**figure 1**) ci-dessous :

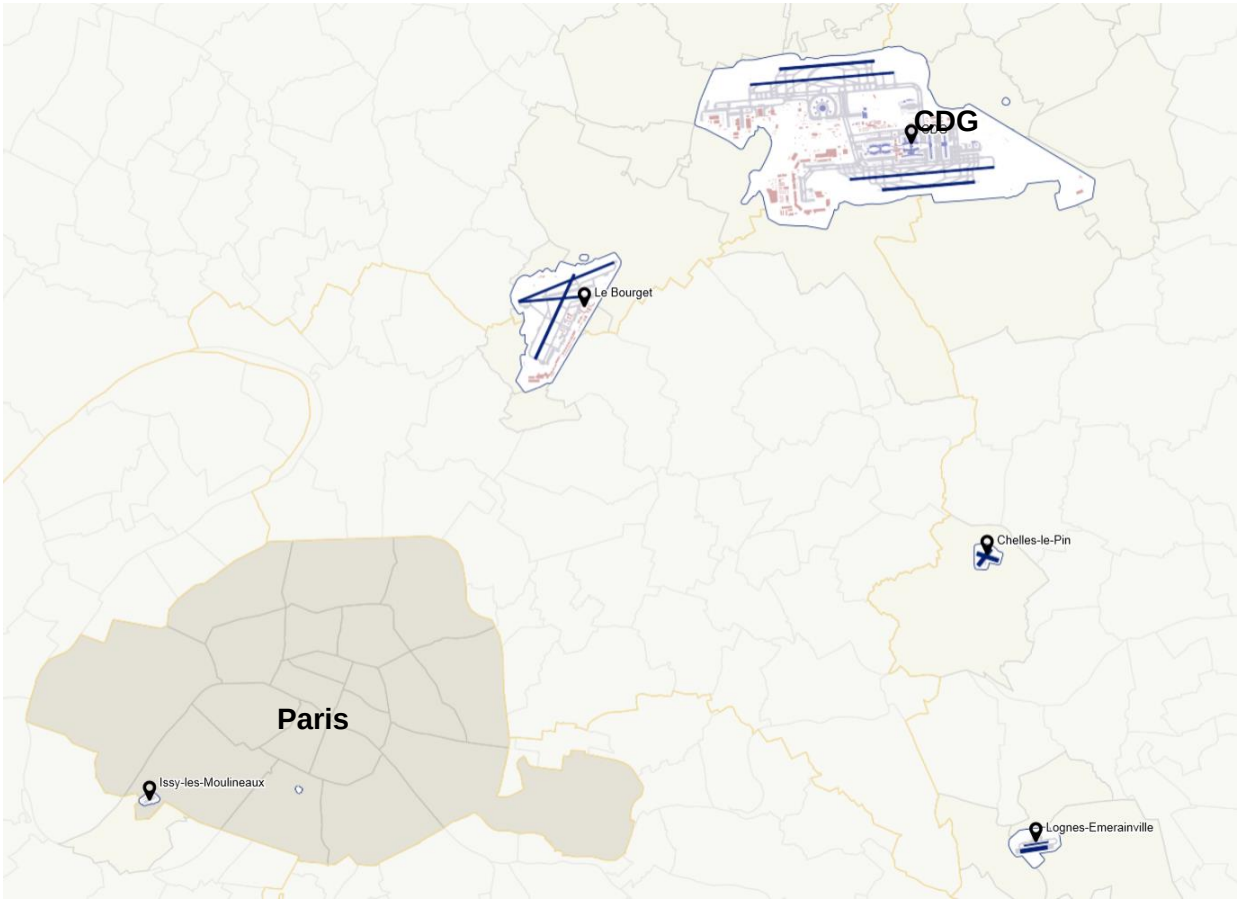



*Figure 1 : Situation géographique de l'aéroport Roissy-Charles de Gaulle*

La plateforme a une surface de 3 257 ha. Un plan de masse de la plateforme est donné en **annexe 1**. L'activité au sein de l'aéroport est divisée en plusieurs Unités Opérationnelles (UO). L'une d'elles en particulier est en charge des activités dites "Aires aéronautiques" et gère tout ce qui concerne les avions (pistes, voies de circulation, etc) et se nomme CDG-R. Le pôle viabilité hivernale (VH) en fait partie. Ce pôle a été créé en 2011 à la suite d'un hiver particulièrement rigoureux qui a grandement perturbé le trafic. Depuis la création du pôle, le trafic aérien reste régulier, même en hiver.

- *Le pôle Viabilité hivernale*

Le pôle Viabilité Hivernale (VH), comptant 16 employés, est composé de deux équipes : l'équipe logistique et l'équipe opérationnelle. L'équipe logistique doit mettre à disposition les moyens techniques (stocks produits et parc engin entre autres) pour l'équipe opérationnelle qui est en charge d'assurer le déverglaçage et le dégivrage/antigivrage (qui seront expliqués dans la suite du rapport). Les missions du pôle sont bien entendu d'assurer la viabilité

hivernale de l'aéroport mais aussi de gérer les eaux de dilacération (eaux usées des avions de ligne) et "l'eau chlorée" (nom qui est donné à l'eau potable des avions de ligne).

Pour gérer la viabilité hivernale, les produits majoritairement utilisés sont les liquides de dégivrages / antigivrages à base de glycol et les fondants hivernaux (liquide et solide) à base de formiate de potassium. Les liquides de dégivrages / antigivrages sont récupérés dans des bassins et il appartient au pôle VH, plus particulièrement à l'équipe logistique, de gérer ces effluents glycolés.

## B. La sécurité sur l'aéroport

La sécurité dans un aéroport est primordiale pour permettre aux employés de la plateforme d'évoluer sans danger dans leur activité respective. C'est donc un composant important à prendre en compte dans le choix d'une solution pour optimiser le traitement des effluents car chaque employé est confronté quotidiennement aux facteurs, normes et régulations liés à la sécurité de l'aéroport.

- *La sécurité des employés*

Pour prévenir des risques sur l'aéroport, un accueil SMI (Système de Management Intégré) a lieu à l'arrivée de chaque employé dans l'entreprise. Cet accueil sert à prévenir et à faire prendre conscience à l'employé des dangers qui sont récurrents dans un aéroport. Le but est de les éviter ou, si ce n'est pas possible, d'avoir la bonne conduite à adopter en cas d'incidents. Cela permet de se familiariser avec le monde et risques aéronautiques auxquels les personnes venant de l'extérieur ne sont pas habituées

- *La lutte animalière*

L'un des problèmes majeurs d'un aéroport est le péril animalier qui a son propre pôle. En effet, les animaux peuvent endommager les avions, notamment les moteurs, ainsi que les infrastructures de l'aéroport. Les animaux présentant le plus de risques sont les oiseaux et sangliers, pour les moteurs d'avion, et les rongeurs qui peuvent endommager les fils des lampes sur pistes, creuser des terriers et donc fragiliser les abords des voies de circulation avions et pistes avions, etc. C'est contre cela que la lutte animalière se bat.

Les parties enherbées de l'aéroport sont composées d'herbe dite "aéronautique". Cette herbe ne produit que très peu de graines qui pourraient attirer les oiseaux et reste basse pour éviter que les oiseaux ou lapins s'y cachent.

Il faut avoir en tête le péril animalier lors d'une étude sur un aéroport car il peut poser problème sur le long terme.

## 2) Le dégivrage/antigivrage

L'hiver est une saison délicate à gérer pour les aéroports. Les aléas de la météo engendrent un certain nombre de problèmes pour la sécurité aux décollages et atterrissages des aéronefs. La neige, glace ou givre altèrent au profil aérodynamique de l'aile et ajoutent du poids. Pour permettre un trafic régulier, ADP a mis en place à l'aéroport de CDG un service de dégivrage/antigivrage. Les commandants de bord des compagnies clientes peuvent en bénéficier à leur demande. Il est cependant imposé par la navigation aérienne sous certaines conditions (météo très mauvaise).

### A. Le fonctionnement

- *La saison hivernale*

La saison hivernale commence sur l'aéroport de CDG du 15 Octobre et finit le 15 Avril. Cependant, les produits et engins doivent être opérationnels du 15 Septembre au 15 Mai pour couvrir tout caprice éventuel de la météo.

- *Les produits utilisés*

Chaque aéroport est libre de choisir ses produits de dégivrages/antigivrages (que l'on appellera ADF pour Aircraft De-icing Fluids dans la suite du rapport), lorsque que ceux-ci sont en charge du service de dégivrage d'aéronefs. Dans certains aéroports, Paris-Orly par exemple, ce sont les compagnies aériennes elles-mêmes qui doivent s'en occuper. Sur la plateforme de Roissy-Charles de Gaulle, certaines s'assurent de leur propre traitement, mais pour la majorité, c'est l'aéroport qui s'en charge. Ainsi, deux types d'ADF sont utilisés :

- Le Type I
- Le Type IV

Ces deux produits ont des missions spécifiques. Ils sont tous deux composés de glycol et d'eau. Dans chacun, des additifs sont ajoutés comme par exemple : des inhibiteurs de corrosion et des tensio-actifs, entre autres. Ces additifs ne sont pas tous connus à cause du

secret industriel. Dans le **tableau 1** ci-dessous sont regroupées les caractéristiques des produits utilisés :

| | Concentration en glycol | Caractéristiques | Utilisation |
|---|---|---|---|
| **Type I** | 80 % | Couleur : Orange<br>Aspect : Liquide | En traitement curatif, dilué[1] avec de l'eau à plus ou moins forte concentration, chauffé à 60°C |
| **Type IV** | 50 % | Couleur : Vert<br>Aspect : Visqueux | En traitement préventif, utilisé pur et froid |

*Tableau 1 : Caractéristiques des produits de dégivrage/antigivrage utilisés sur la plateforme aéroportuaire Roissy-Charles de Gaulle*

A l'aéroport de Roissy-Charles de Gaulle, deux fournisseurs assurent l'approvisionnement en ADF : Abax et Clariant. Cette diversité assure un approvisionnement durant tout l'hiver. Le stock permet d'être autonome pendant 10 jours. Les produits utilisés portent les noms suivants (**tableau 2**) :

| | Abax | Clariant |
|---|---|---|
| **Type I** | DE 950 | SAFEWING MP I 1938 ECO (80) |
| **Type IV** | Ecowing AD-49 | SAFEWING MP IV LAUNCH |

*Tableau 2 : Noms commerciaux des produits de dé/anti givrage en fonction du fournisseur*

- *Les types de traitement*

Le produit de Type I est d'aspect liquide. On l'utilise chaud et à forte pression pour enlever la contamination, composée de neige, glace ou givre. C'est par l'effet mécanique de la haute pression que la décontamination se fait. Le produit de Type IV, utilisé pur (à 50 % de glycol)

[1] La dilution pour ce traitement est à faire en plus de celle du produit de base : le glycol est concentré à 80%. Les dilutions sont de : 40/60 ; 45/55 ; 50/50 ; 55/45 ; 60/40 (le premier chiffre concerne le produit).

va prévenir toute contamination pendant un temps donné. La viscosité va permettre au produit de s'accrocher au fuselage de l'avion.

Deux sortes de traitement sont possibles pour rendre un aéronef "propre" :

- Traitement en une phase : Type I, ce traitement est curatif
- Traitement en deux phases : Type I et IV, ce traitement est à la fois curatif et préventif.

En moyenne, un traitement en une phase peut prendre jusqu'à 21 minutes et le traitement en deux phases jusqu'à 30 minutes (données CDGR, pôle VH)

Enfin, le produit de Type IV peut assurer à l'aéronef traité un temps de protection contre la contamination qui peut aller jusqu'à 3 heures en fonction du traitement, des températures extérieures et de la météo.

- *Les baies de dégivrage*

En règle générale, pour se faire dégivrer/antigivrer, les aéronefs ont la possibilité d'aller sur des baies de dégivrage ou de rester en poste (reste en place après embarquement). A CDG, ces baies de dégivrage sont largement utilisées. Seul l'antigivrage se fait exceptionnellement en poste, lorsque la situation est dégradée.

L'aéroport CDG compte 20 baies et leur ouverture dépend du trafic, de la météo (situation d'urgence ou non) et du *QFU* (sens de circulation sur l'aéroport dépendant du vent). Elles sont rarement toutes ouvertes au même moment. Elles sont représentées sur le schéma suivant (**figure 2**) :

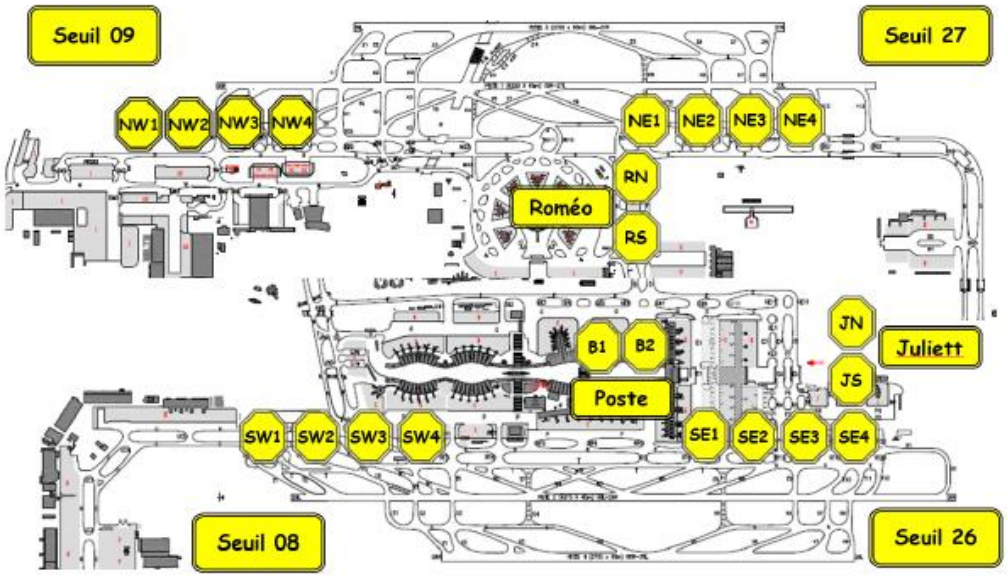



*Figure 2 : Les aires de dégivrage sur la plateforme de Roissy-Charles de Gaulle*

## B. Le traitement des effluents

- *Les Bassins de Récupération des Effluents glycolés*

Après le dégivrage/antigivrage d'un aéronef, la plupart des effluents sont récupérés dans des Bassins de Récupérations des Effluents glycolés (BRE). Ils sont situés aux abords des aires de dégivrage et sont au nombre de 10.

Le reste du glycol est perdu en ruisselant de l'avion sur les voies de circulation et sur les pistes. Cette portion est donc traitée avec les eaux pluviales (EP).

L'ouverture d'un BRE est pilotée par une vanne, elle-même actionnée par le poste de dégivrage relié. Lorsqu'une baie de dégivrage est ouverte, la vanne s'ouvre instantanément. Lorsque la baie est officiellement fermée, la vanne se ferme 30 minutes après, pour permettre le ruissellement et/ou le lessivage du glycol restant sur baie. Ce fonctionnement explique la dilution du glycol que nous verrons par la suite.

Les BRE se remplissent significativement durant la saison hivernale mais sont vidés tout au long de l'année.

L'objectif est de vider entièrement tous les BRE à la sortie de la saison hivernale dans le but de les mettre en maintenance et nettoyage pour qu'ils soient prêts pour la saison suivante.

- *Diagnostics des installations*

Dans le **tableau 3** ci-dessous sont répertoriés les différents BRE ainsi que leur capacité avec une marge d'erreur de 15 % :

| Bassins | Volumes ($m^3$) |
|---|---|
| **BRE 08** | 2627,8 |
| **Juliette** | 229 |
| **BRE 26** | 1700 |
| **BRE 27.1** | 2300 |
| **BRE 27.2** | 910 |
| **BRE 9.1** | 715 |
| **BRE 9.2A** | 680 |
| **BRE 9.2B** | 710 |
| **Roméo Nord** | 670 |
| **Sierra 34** | 322 |
| **Total** | **10 864 ± 1627** |

*Tableau 3 : Capacité en m3 de chaque Bassin de Récupération de la plateforme CDG*

Quelques problèmes sont rencontrés sur ces installations :

→ Les vannes peuvent fuir et laisser rentrer des eaux pluviales qui vont diluer le glycol et affecter la valorisation

→ Une erreur lors de travaux de VRD (Voiries Réseaux Divers) à proximité du réseau VH a engendré un défaut de la vanne d'entrée du BRE 26. Cette faute a eu pour conséquence de remplir ce BRE avec l'eau pluviale pendant plusieurs mois (**annexe 3**). Le pôle VH a donc dû gérer la fin de vie de cette eau pendant cette période.

- *Le traitement des effluents*

Les BRE sont vidés par pompage par la société Cuv'éclair, Suez, et sont traités par SARPIndustrie, filiale de Veolia. La capacité de pompage se situe aux alentours de 45 Tonnes par jour et peut s'étendre jusqu'à 100 T/j si nécessaire. Les deux sociétés travaillent en collaboration.

Basé à Limay, dans les Yvelines (78), le centre de traitement et valorisation de déchets dangereux de SARP Industrie peut traiter tout type de déchet industriel, allant du déchet en petit conditionnement, en passant par les huiles usagées, jusqu'aux déchets les plus lourds. Pour cela, de grosses infrastructures sont mises en place comme 3 fours tournants incinérateurs, une station de traitement biologique par injection d'oxygène liquide, 4 stations d'évapo-condensation, etc.

Les déchets glycolés sont traités de différentes façons en fonction de la concentration en glycol :

- Concentration > 5 % en glycol : le but est de valoriser le glycol autant que possible. Pour cela, un évapo-condensateur est dédié aux eaux glycolées d'ADP. La concentration en sortie est maintenue à 80 %. Plus l'effluent est concentré, moins le temps de traitement est long. Le concentrat (partie concentrée en sortie) est vendu à une entreprise partenaire, Produits Chimiques du Mont-Blanc (PCMB), qui permet d'appliquer un prix de traitement dégressif en fonction de la concentration. Le condensat (partie diluée en sortie) est soit traité en station biologique, soit acheminé dans les fours incinérateurs.

- Concentration < 5 % : L'effluent est trop peu concentré pour être valorisé et part donc en traitement en station biologique. La station se compose de deux bassins type "cheminée" (plus haut que large) pour permettre à l'oxygène d'entrer en contact avec toute la colonne d'eau. Le glycol est dégradé par les bactéries et l'apport d'oxygène liquide. Les eaux traitées sont ensuite envoyées en fours incinérateurs.

Les prix de traitement appliqués par SARP Industrie, Veolia, et d'enlèvement appliqués par Suez, Cuv'éclair, sont donnés en **annexe 4**.

# 3) Mise en situation de la problématique

## A. Le glycol

- *L'aspect chimique du glycol*

Il existe deux types de glycol : le monopopylène glycol et l'éthylène glycol. Nous ne nous intéresserons qu'au monopropylène glycol, utilisé dans les produits de dégivrage/antigivrage sur la plateforme CDG.

Le Mono Propylène Glycol (MPG) est un composé organique, un alcool, de formule brute $C_3H_8O_2$. C'est le composant principal des liquides de dégivrage/antigivrage. En effet, ses caractéristiques lui confèrent un point de congélation relativement bas (-20°C pour le Type I et -36°C pour le Type IV). De plus, il est très miscible avec l'eau (d'après les Fiche de Données Sécurité des produits).

- *La toxicité*

D'après les Fiches de Données de Sécurité (FDS) des 4 produits (Type I et Type IV d'Abax et de Clariant), ces derniers ne présentent pas de danger pour l'Homme. Ils ne sont pas classés dangereux au règlement (CE) No 1272/2008 et les fabricants assurent qu'ils ne contiennent aucun élément considéré comme persistant, bio-accumulable et toxique (PBT).

De plus, un mélange est toxique lorsque sa $CL_{50}$ (concentration létale pour laquelle 5 % d'une population donnée meurt) est inférieur à 100 mg/L (Nations Unies, 2005). Or, d'après les fiches techniques de chacun des produits, leur $CL_{50}$ est au minimum à 976 mg/L et peut aller jusqu'à 10 000 mg/L pour plusieurs populations (poisson, algue, daphnies).

Les FDS indiquent également que le produit est facilement biodégradable et non toxique pour l'environnement.

Cependant, la dégradation est un processus en deux parties (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Lille – STAC, 2006) :

➔ Partie chimique : oxydation par contact avec l'oxygène de l'air ou dissous
➔ Partie biologique : biodégradation par les bactéries.

Or, le MPG a une DCO et $DBO_5$ relativement élevées. A titre d'exemple, la station d'épuration de la Marne Aval a une DBO5 moyenne 0,37 g/L (Service public de l'assainissement Francilien, 2013). Celle du type I non dilué est de 690 g/L et en étant dilué, elle est entre 0,3 g/L pour les moins concentrés et 100 g/L. Cela induit que ce produit a besoin de beaucoup d'oxygène pour se dégrader. La biodégradation suit l'équation chimique de dégradation suivante (BERLAND Jean-Marc, 2014) :

$$C_3H_8O_2 + 4O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O \qquad \textbf{Equation 1}$$

On remarque qu'il faut quatre fois plus d'oxygène que de glycol pour dégrader ce dernier.

Ainsi, le risque principal de rejeter des effluents glycolés dans le milieu naturel, bien qu'ils soient facilement biodégradables et non toxiques, est d'asphyxier les milieux et donc, la faune et la flore y vivant.

## B. Le déchet à traiter

- *Définition du déchet*

Le déchet qu'il faut traiter est nommé "Eau glycolée" et répond au code déchet européen :

190999 : Déchets provenant de la préparation d'eau destinée à la consommation humaine ou d'eau à usage industriel : déchets non spécifiés ailleurs (Assemblée des Chambres Françaises de Commerce et d'Industrie, 2011).

- *Variation des composants*

Le dégivrage/antigivrage a un lien avec la météo comme l'atteste **l'annexe 5**. Cependant, le déchet a une forte variabilité en concentration et en volume. Sa production est étroitement liée à la météo dans son ensemble bien qu'il soit difficile de le démontrer. Sur la **figure 3** est représenté un graphique du poids total d'effluents glycolés pompés sur la saison hivernale depuis plusieurs années en fonction du total de jours de neige et de jours de gel sur chaque saison. On remarque sur cette figure que les variables "neige" et "gel" n'influent pas directement la production de déchet. Il en est de même pour les températures, en **annexe 6**.

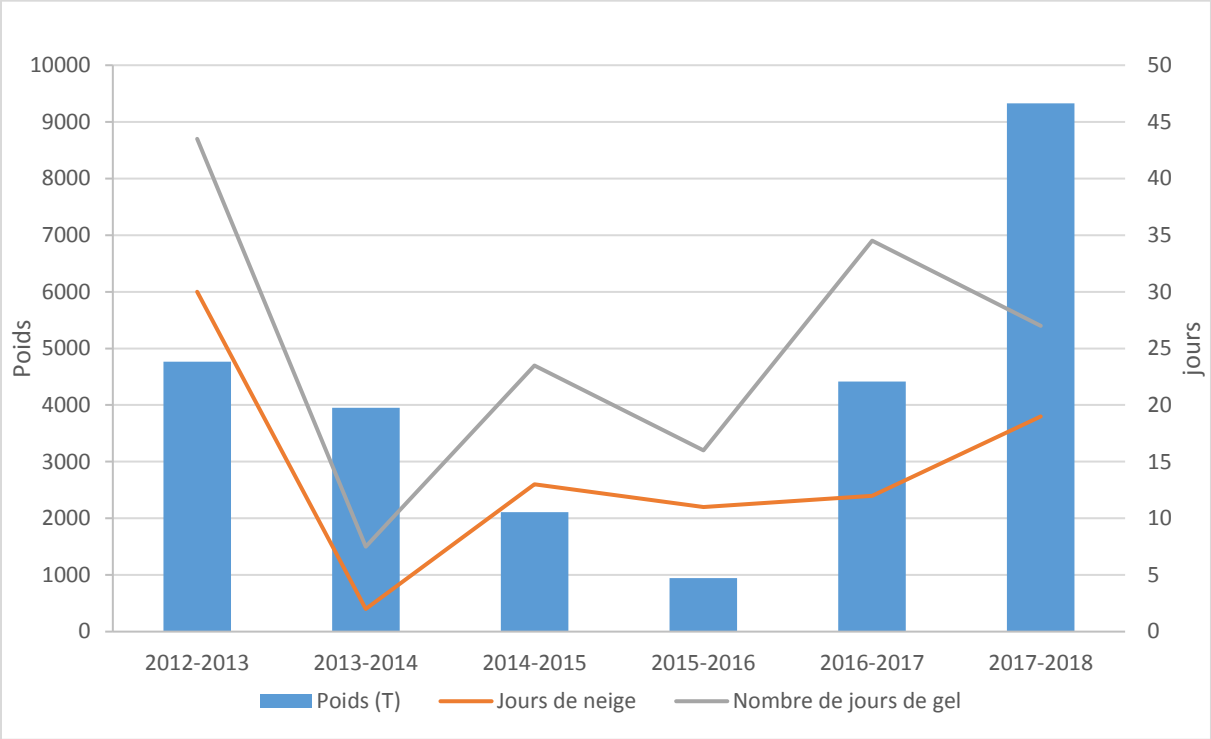



*Figure 3 : Graphique des poids d'effluents glycolés pompés sur une saison hivernale en fonction des jours de neige et de gel depuis 2012*

Le dégivrage/antigivrage a de nombreux facteurs d'influences tels que les températures mais aussi l'humidité dans l'air. En effet, les contaminations peuvent apparaître aux alentours de 0°C avec l'humidité. Au contraire, lors d'un temps très froid (-5°C) avec un air très sec, il ne sera pas toujours nécessaire de dégivrer ou antigivrer.

Il y a beaucoup de composantes à prendre en compte ce qui induit une production aléatoire du déchet.

Sur la **figure 4** est représenté un graphique qui tient compte de la concentration du déchet. Cette dernière, tout comme la production, est aléatoire et aucune prédiction ne peut être faite. Cela va dépendre du nombre d'avions dégivrés mais aussi de présence de précipitations ou non qui peuvent lessiver et diluer le produit.

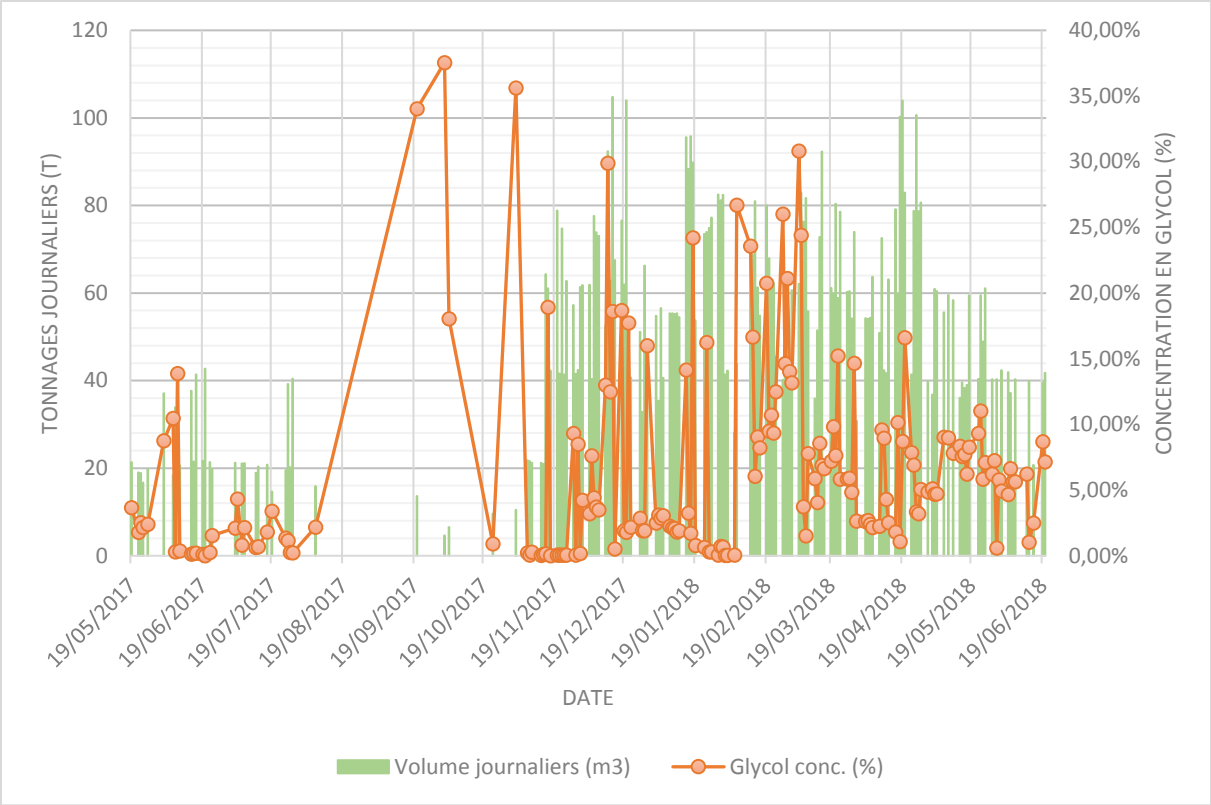



*Figure 4 : Graphique du tonnage journalier envoyé à SARPI superposé aux concentrations en glycol sur une année (du 19/05/2018 au 19/06/2018)*

On remarque sur ce graphique de fortes disparités dans les pompages et les concentrations. Aucun lien ne peut être mis en évidence entre la concentration en glycol et les quantités d'effluents pompées.

## C. Conclusions

- *Problématique principale*

La problématique principale de cette étude est d'améliorer le traitement des effluents glycolés. Ces derniers sont considérés comme des déchets et sont traités comme tels.

Cependant, le traitement coûte cher et n'est pas assez rapide pour permettre aux équipes de préparer la saison hivernale suivante.

Il faut donc améliorer le processus de traitement de ces déchets d'un point de vue économique et opérationnel.

- *Eléments à prendre en compte*

Comme dit précédemment, la difficulté de cette étude est de prévoir une solution d'amélioration pour tous les cas. Or, la production de déchet n'est constante ni en volume ni en concentration de glycol.

De plus, il faut inclure dans l'étude toutes les problématiques aéroportuaires. Il faut, par exemple, éviter de condamner une piste ou voie de circulation avion pour des travaux pendant une longue période. Il est nécessaire de considérer la sécurité, notamment aviaire. De nombreuses problématiques entrent en jeu.

Il faut penser à tous les cas de figure, concentrations faibles comme élevées, et pouvoir prévoir un traitement pour gros volumes et volumes faibles, sans oublier les problématiques liées au trafic aérien qu'il ne faut pas perturber.

- *Déroulé de l'étude*

L'étude se déroulera pendant toute la durée du stage, c'est-à-dire 6 mois. Ci-dessous, une frise chronologique sur le déroulé :

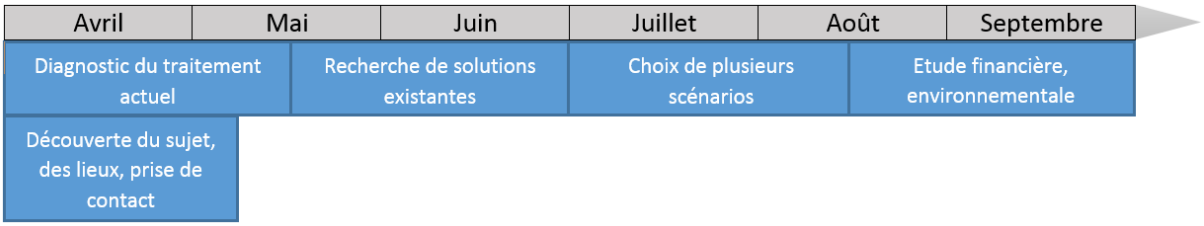



***Figure 5 : Frise chronologique du déroulé de l'étude***

# II- Analyses nécessaires à l'étude

## 1) Analyse du déchet et son traitement

### A. La production du déchet

- *La composition du déchet*

Le déchet traité est composé essentiellement d'eau et de MPG. D'autres composants sont présents mais leur proportion est négligeable par rapport à la masse totale du déchet, comme montré dans l'analyse faite par le laboratoire *Wessling ordonnée par Tecsel*, dont un extrait est représenté en **annexe 7**. On peut comparer la concentration des éléments par rapport aux concentrations seuils de l'arrêté préfectoral (**annexe 8**). Ci-dessous, dans le **tableau 4**, sont données des analyses de DCO qui ont été faites en 2018 :

| *Date* | *18/04* | | | | *16/05* | | | *12/06* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *BRE* | S26 | RN | S 09 2 | S 08 | RN | S26 | Juliette | RN |
| *DCO (mg/L)* | 236 322 | 39 237 | 19 553 | 56 809 | 43643 | 136 497 | 79892 | 27 060 |

***Tableau 4 : Analyses en DCO faites en 2018***

On remarque dans le **tableau 4**, que les concentrations en DCO sont largement supérieures à la concentration limite d'acceptation dans les EP, qui est de 1 200 mg/L (d'après **annexe 8**).

La DCO élevée des effluents prouve le besoin en oxygène important pour la biodégradation de ceux-ci. La charge organique est considérable. C'est donc cette pollution qui doit être prise en compte.

Il est important de retenir que les composants principaux du déchet sont l'eau et le MPG. La charge organique montre une pollution importante qu'il faut chercher à abattre, cette dernière étant directement liée à la présence de glycol.

- *La répartition en concentration*

Le déchet se caractérise par la concentration en glycol qu'il contient. Ce dernier étant un composé organique, c'est la pollution organique que l'on cherche à éliminer. Pour cela, il faut étudier le COT qui est directement en lien avec cette pollution. Ainsi, la concentration en glycol dans l'effluent est donnée par le COT en mg/L.

De plus, d'après SARPI, on a la relation :

$$25\,000\,mg/L = 5\,\%\,de\,glycol \qquad \textbf{Equation 2}$$

SARPI peut recycler le glycol à partir de 5 % de présence de ce dernier dans l'effluent. Le **tableau 5** montre la répartition du COT ainsi que les poids totaux depuis 3 saisons:

| *Saisons* | *2015-2016* | *2016-2017* | *2017-2018* | *Moyennes* | *Ecarts types* |
|---|---|---|---|---|---|
| *Poids total (t)* | 986 | 4 418 | 9 327 | | |
| *< 5 %* | 52 % | 58 % | 64 % | 58 % | 6 % |
| *5 % < X < 10 %* | 14 % | 14 % | 25 % | 18 % | 7 % |
| *10 % < X <20 %* | 6 % | 20 % | 8 % | 11 % | 8 % |
| *20 % < X < 40 %* | 20 % | 8 % | 2 % | 10 % | 9 % |
| *40 % < X < 60 %* | 8 % | 0 % | 0 % | 3 % | 4 % |

***Tableau 5 : Répartition des concentrations en pourcentage et moyennes sur les trois dernières saisons hivernales***

Des moyennes ont pu être calculées à partir des données recueillies. On remarque sur le **tableau 5** que sur la saison hivernale 2017-2018, il y a plus d'effluents faiblement concentrés. L'anomalie du BRE S26, expliqué dans le chapitre *I, 2), B., diagnostic des installations*, peut en être la cause. Sur la **figure 6**, un graphique avec la répartition des concentrations en pourcentage est représenté :

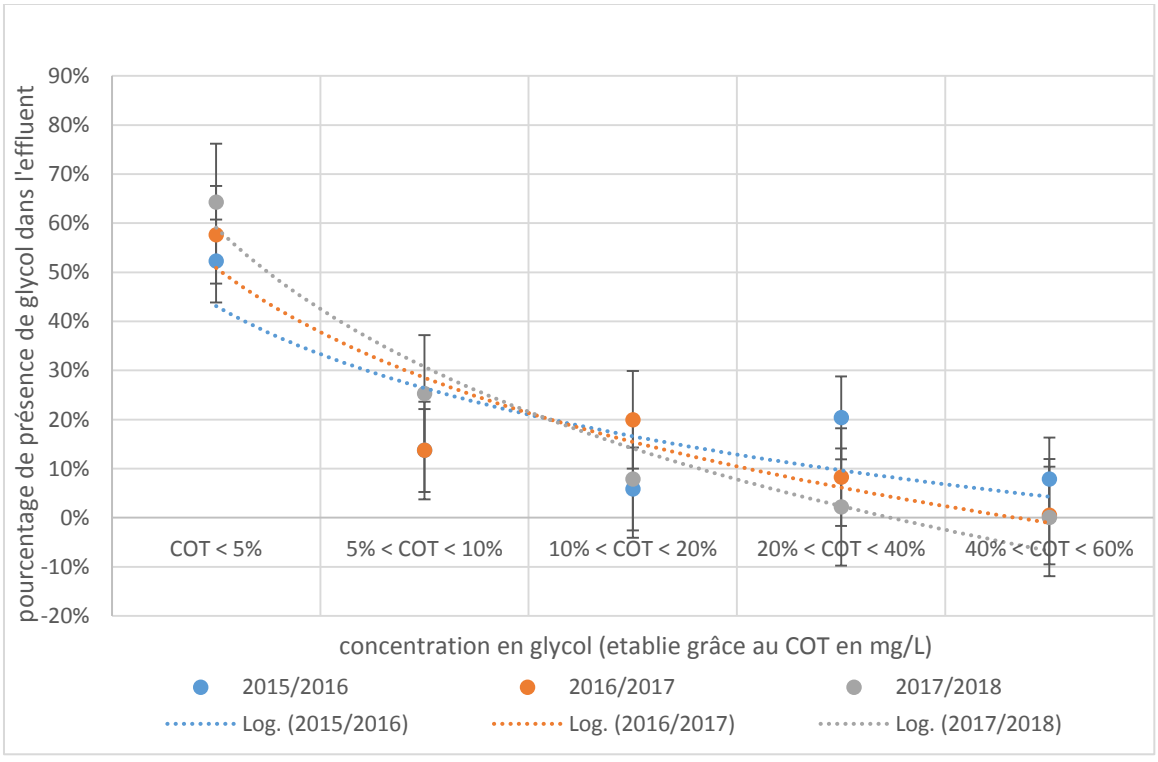



***Figure 6 : graphique de répartition des effluents en fonction du COT sur les 3 dernières années***

On peut remarquer sur le **tableau 5** et la **figure 6** que :

→ Plus de la moitié des effluents a une concentration en COT < 5 % en glycol.
→ Environ un quart des effluents est concentré en COT entre 5 % et 10 % de glycol.
→ Le reste est concentré à plus de 10 % de glycol et donc facilement valorisable.

Il est cependant intéressant de noter que bien qu'un schéma se dessine, des disparités entre les saisons apparaissent. Les saisons n'offrent pas toutes les mêmes concentrations. Les poids totaux en fonction des saisons varient aussi.

En résumé, plus de la moitié des effluents (58 % en moyenne) envoyés en traitement hors site est composée de 95 % d'eau ou plus.

Avec leur forte présence, il apparaît que ces effluents peuvent coûter cher au traitement, notamment sur le transport (composé presque que d'eau).

- *Analyse financière*

Le Bordereau des Prix Unitaires, en **annexe 4**, reprend le marché d'enlèvement des effluents mais aussi leur traitement. De ce BPU peuvent être extraites les répartitions de prix en fonction des catégories. Le détail est en **annexe 4**. Le graphique sur la **figure 7** donne la répartition des prix :

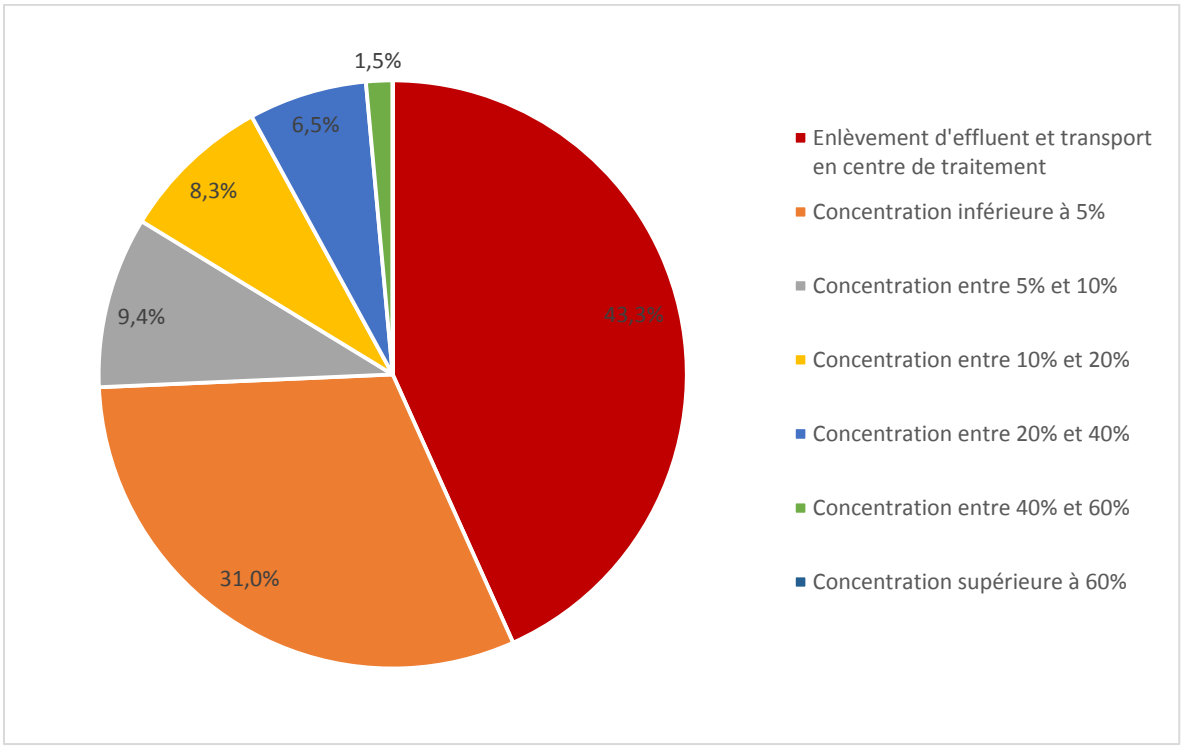



***Figure 7 : Répartition des prix moyens en fonction de leur libellé***

Les prix représentés sur la **figure 7** sont une moyenne des pourcentages de répartition des trois dernières saisons. Les écarts types sont représentés dans le **tableau 6** :

| Libellé | Ecart type |
|---|---|
| **Enlèvement d'effluents en centre de traitement** | 0,004 |
| **Concentration inférieure à 5 %** | 0,020 |
| **Concentration entre 5 % et 10 %** | 0,059 |
| **Concentration entre 10 % et 20 %** | 0,051 |
| **Concentration entre 20 % et 40 %** | 0,054 |
| **Concentration entre 40 % et 60 %** | 0,023 |
| **Concentration supérieure à 60 %** | 0 |

***Tableau 6 : écart type des moyennes sur chaque libellé***

On remarque que 43 % du prix total concerne l'enlèvement des effluents en centre de traitement (transport). Cela peut s'expliquer par l'éloignement du centre de traitement (à environ 80km de l'aéroport) et par le pompage journalier des effluents.

Un tiers environ (31 %) du prix total s'applique au traitement des effluents non valorisables, soit avec une concentration en glycol inférieure à 5 %.

Cela appuie l'hypothèse du paragraphe précédent : les effluents qui coûtent le plus chers sont ceux qui ne sont pas valorisables, d'autant plus que ce sont eux qui, statistiquement, occupent une place plus importante dans le total des effluents produits.

En résumé, moins l'effluent est concentré en glycol, plus il coûte cher. Les transports occupent aussi une place importante dans le coût total.

Un traitement sur site ou plus proche de la source de déchet pourrait réduire le coût des transports ainsi que le traitement des effluents non valorisables (<5 %).

## B. Le coefficient de récupération des BRE

Les BRE permettent la récupération d'une partie importante du glycol mais ne peuvent pas le récupérer dans sa globalité. En effet, lors de l'aspersion du produit, une partie tombe sur le sol et une autre reste sur l'avion. Aussi, on considère que 50 % du produit aspergé sur l'avion ruisselle sur le sol (*Service Technique des Bases Aériennes, 2000*). Les aires de dégivrage et les BRE permettent la récupération de ce pourcentage de produit perdu.

- *Eléments de calcul*

Les données disponibles pour les calculs sont les volumes pompés et leur concentration en COT associée. De plus, chaque saison hivernale dispose de ses propres données telles que le volume d'ADF aspergé et la concentration en glycol associée.

Pour le calcul du coefficient de récupération des BRE, c'est sur la saison hivernale 2017-2018 que reposent les données car elles sont disponibles sur cette période seulement.

Elles sont résumées dans le **tableau 7** :

| Total COT pompé | Total glycol utilisé sur les baies (Type I + Type IV) |
|---|---|
| 185,77 T | 797,57 T |

***Tableau 7 : Données résumant la saison hivernale 2017-2018***

C'est avec ces éléments que le calcul du coefficient de récupération pourra être fait.

- *Relation entre le glycol et le COT*

Pour pouvoir calculer le coefficient, il faut avoir les concentrations du même type (glycol-glycol ou COT-COT). Il est possible de trouver une équation pour faire le lien de l'un à l'autre. Pour cela, il faut :

i. Déterminer le nombre d'atome de carbone dans la solution
ii. En déduire le rapport stœchiométrique
iii. Isoler la masse du COT

Ce qui nous donne :

$$m(COT) = \frac{m\,(MPG)}{M_{MPG}} * M_C * n_C \qquad \textbf{Equation 3}$$

Avec :

m (X) = la masse de l'élément X en g

$M_X$ = la masse molaire de l'élément X en g/mol

$n_C$ = nombre d'atome de carbone dans la solution

La formule du MPG est : $C_3H_8O_2$. Il y a donc 3 atomes de carbone. De plus, la masse molaire du carbone est de **12 g/mol** et celle du MPG est de (12 * 3 + 8 + 2 * 16) = **76 g/mol.**

Donc, pour **1 g** de MPG on a **0,47 g** de COT

- *Détermination du coefficient de récupération des BRE*

Pour déterminer le coefficient R, on utilise la formule :

$$R = \frac{m_{glycol\ récupéré}}{m_{glycol\ consommé}}$$

La masse de glycol consommé et écoulé de l'avion sur le sol (50 %) est de **797,57t** d'après le **tableau 7**. La masse de glycol récupéré est donnée par **l'équation 3** et le **tableau 7.** On a donc, après un produit en croix, **395,26t** de glycol récupéré dans les BRE.

Au final, le coefficient de récupération des BRE est **R = 49,5 %**

Environ la moitié du glycol consommé pur et tombé au sol sera récupéré dans les BRE. A première vue, ce pourcentage semble faible. Cependant, l'excédent reste sur l'avion ou s'écoule sur le sol et est redirigé vers le traitement EP.

L'anomalie détectée sur le BRE S26 ne permet pas de prendre en compte ce coefficient avec exactitude. N'ayant pas de données antérieures, un calcul plus exact ne peut être fait pour le moment. Ce coefficient ne sera donc pas pris en compte pour la suite de l'étude.

## C. Modélisation d'une saison hivernale

Les saisons hivernales sont très différentes d'une année sur l'autre. De ce fait, la logistique est impactée. La consommation de glycol peut changer drastiquement d'une saison à l'autre, ce qui entraîne une variation des effluents pompés et tout ce qui s'en suit (prix, gestion, etc.).

Les facteurs de la météo à prendre en compte sur un hiver sont :

→ La température journalière : un hiver peut être rude ou doux
→ Les précipitations : les précipitations influent sur la concentration des effluents en les diluant
→ Le nombre de jours de gel / neige : Le dégivrage est systématique lors de ces jours ce qui influe sur le poids total pompé.

On peut donc tenter de modéliser une saison hivernale avec les données de l'aéroport et les données météo de *Météo France*.

- *Les saisons passées*

Tout d'abord, il est important de définir les derniers hivers que l'aéroport a connus. Les données météo utilisées sont celles de *Météo France*. Le résonnement a été fait de la manière suivante :

| Données utilisées | Données météo France : précipitations, températures | Données ADP : nombre d'avions dégivrés, produits consommés | Données SARPI : concentration en COT, poids des effluents pompés |
|---|---|---|---|
| **Disponibilités** | • Jour par jour sur les 12 derniers mois<br>• Mois par mois pour les années antérieures | • Jour par jour sur l'année passée | • Jour par jour sur les 12 derniers mois pour la concentration en COT<br>• Jour par jour depuis 2012 |

*Tableau 8 : Résumé de l'utilisation des informations et données pour le raisonnement sur les hivers passés*

Sur la **figure 8** et la **figure 9** sont représentées les normales de saison en température minimales et en précipitations ainsi que ces deux paramètres sur les 3 dernières saisons hivernales :

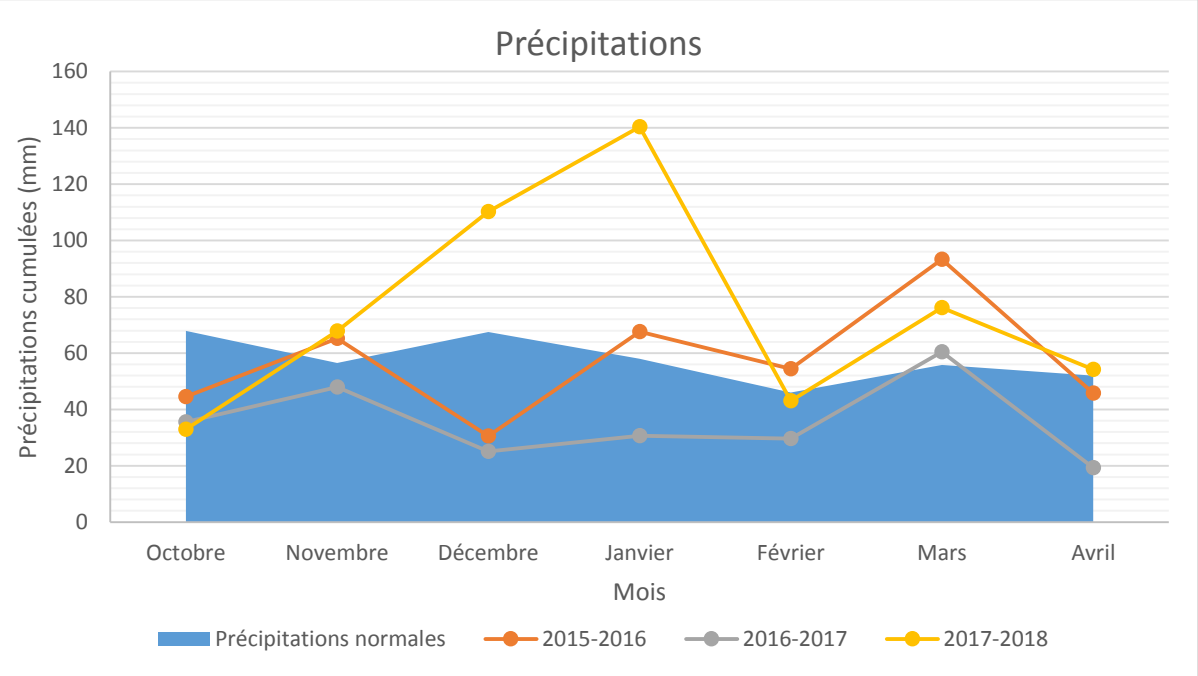



*Figure 8 : Graphique représentant les normales de précipitations (mm) sur une saison en lien avec es précipitations cumulées mensuelles sur les trois dernières saisons*

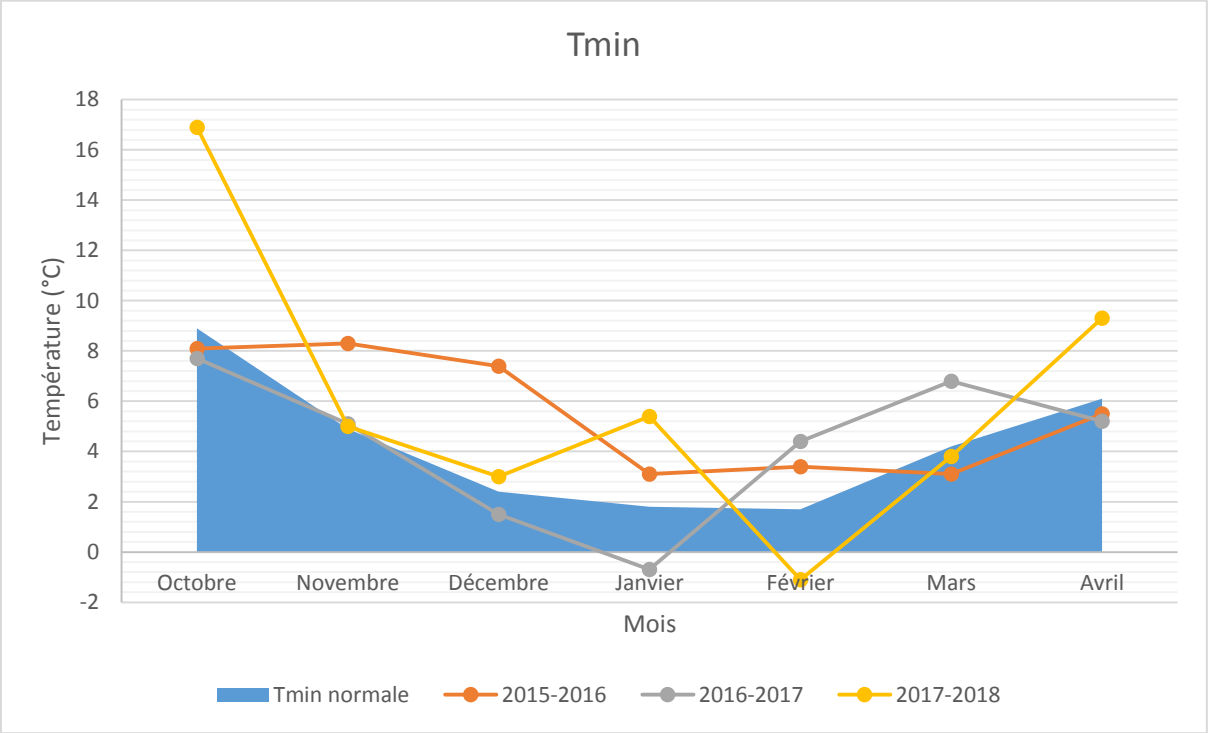



*Figure 9 : Graphique représentant les températures minimum normales (°C) en lien avec les celles des trois dernières saisons*

A l'aide de ces deux graphiques, une interprétation des derniers hivers est possible ce qui nous donnera une tendance :

- Hiver 2015-2016 : chaud et normalement humide. Poids pompé : 986 t.
- Hiver 2016-2017 : sec et froid en début de saison avant que les températures ne remontent en février. Poids pompé : 4 418 t.
- Hiver 2017-2018 : humide et relativement chaud, à l'exception du mois de février où des températures très basses ont été enregistrées. Poids pompé : 9 327 t.

Remarque :

La saison hivernale 2017-2018 est marquée par un problème de raccordement de vanne. Le poids pompé très élevé est dû à la présence d'eaux pluviales dans le BRE 26. Ce problème a depuis été corrigé.

- *Hypothèse sur la production en poids des effluents*

Pour l'étude, il est nécessaire d'avoir une idée des effluents pompés. Pour cela, nous pouvons prendre le poids des deux dernières saisons hivernales qui offrent des possibilités

intéressantes : hiver sec, humide, chaud et froid. Ainsi, le but étant d'avoir une idée grossière du poids à pomper, la discussion avec les managers s'est portée sur une moyenne des deux derniers hivers :

| Saison | Poids (T) | Moyenne | Ecart type |
|---|---|---|---|
| 2016-2017 | 4418 | 6872,5 | 3471,2 |
| 2017-2018 | 9327 | | |

*Tableau 9 : Poids moyen sur les deux dernières saisons*

En conclusion, un poids de référence de **7 000 t** sera l'hypothèse de la production de déchet pour la suite de l'étude. Cette moyenne permet de fixer une limite supérieure (certes rarement atteinte) pour une fourchette de poids pompés (1 000-7 000t). Prendre cette limite haute inclue : les saisons passées, une éventuelle erreur, un hiver très humide et surtout, l'augmentation de trafic à prévoir.

## 2) Le cadre réglementaire

### A. Les principes et hiérarchies dans la loi et sur CDG

- *Principes et hiérarchie dans la loi*

Les solutions proposées pour optimiser le traitement des déchets doivent suivre, dans la mesure où les contextes économique et technologique le permettent, le principe de hiérarchie des modes de traitement imposée par la *Directive Cadre des Déchets n°2008/98/CE* du 19 Novembre 2008 qui est :

i. Prévention/réduction à la source des déchets
ii. Réemploi
iii. Recyclage
iv. Valorisation (matière et énergétique)
v. Elimination des déchets

Cette hiérarchie est dictée dans le cadre de grands principes à suivre, donnés par le *Code de l'environnement Livre V, Partie législative, Titre IV, articles L 541-1 et suivants* :

- Principe de réduction à la source
- Principe de proximité
- Principe de valorisation

- Principe d'information du public

Il faut pouvoir respecter la hiérarchie des modes de traitement, dans la mesure du possible, pour l'optimisation du traitement des déchets.

- *Application à CDG*

i. Réduction à la source

Le premier item (i) de la hiérarchie est déjà appliqué à CDG par l'utilisation de dégivreuses performantes que tous les aéroports ne possèdent pas. Les camions utilisés sont des Elephant BETA ONE MAN OPERATION de la marque VESTERGAARD dont une photo est donnée en **figure 10** :



*Figure 10a : Dégivreuse de la marque Vesteergardt*

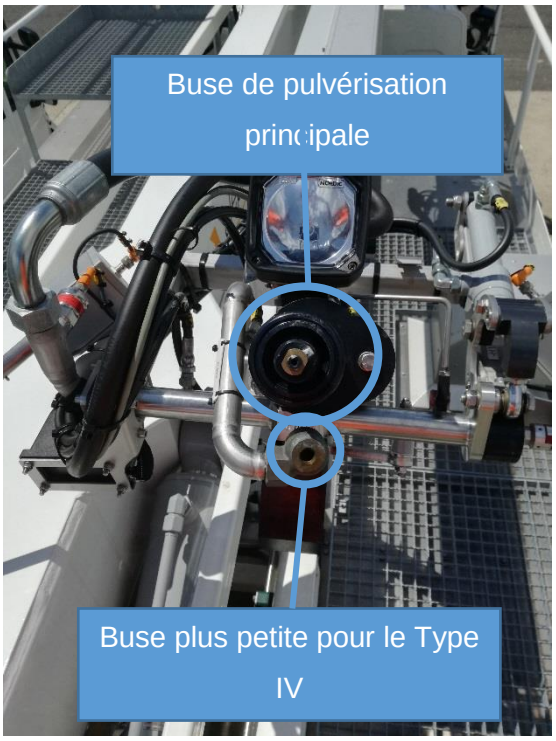



*Figure 10b : Zoom sur l'applicateur de produit*

La buse de contrôle et la haute pression permettent de cibler les pulvérisations de glycol et donc d'en perdre moins. En effet, les jets sont ciblés et la plus petite buse de type IV a un débit moins élevé (car moins utilisé) et permet donc de réduire les consommations.

De plus, les BRE permettent une collecte améliorée des effluents.

#### ii. Réemploi

Le réemploi, par *l'article L 541-1-1 du code de l'environnement, Livre V, Titre IV*, est une opération par laquelle une substance qui n'est pas devenue déchet est utilisée de nouveau pour la fonction pour laquelle elle a été conçue. Le réemploi n'est pas possible car à partir du moment où le produit est dilué, il prend le statut de déchet. Le glycol peut être récupéré, mais on ne parle pas de réemploi.

#### iii. Recyclage

Le recyclage n'est pas mis en place à CDG. Une démarche a été entreprise pour installer une usine de recyclage mais les effluents étant trop peu concentrés et les volumes trop faibles, l'expérience s'est arrêtée.

#### iv. Valorisation

La valorisation matière est faite par la réutilisation des eaux pour les eaux industrielles de SARPI concernant les effluents les moins concentrés (<5 %). L'utilisation des eaux propres pour les fours est aussi faite chez SARPI.

Enfin, la valorisation matière des effluents est opérer chez SARP Industrie pour les effluents concentrés (> 5 %) chez PCMB.

#### v. Elimination

Tous les effluents peu concentrés (<5 %) sont éliminés par voie biologique. Leur valorisation n'est pas possible dans le contexte technologique et économique actuel (très énergivores pour des effluents peu concentrés).

## B. Le cadre réglementaire

- *Les droits et devoirs des entreprises*

Il est écrit dans le *Code de l'environnement* que : "toute personne qui produit ou détient un déchet pouvant […] porter atteinte à l'environnement ou à l'Homme est tenu d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions du présent chapitre (hiérarchisation et principes), dans des conditions propres à éviter les dits effets." *Code de l'environnement, Partie législative, Titre IV, Chapitre 1$^{er}$, Section I.*

Aussi, il est nécessaire pour ADP d'éliminer convenablement les effluents glycolés en suivant les principes inscrits au code de l'environnement.

Il est bien entendu interdit pour une entreprise de jeter ses déchets dans l'environnement qu'ils soient dangereux, pour l'Homme, pour l'environnement, dégradant la nature, causant des nuisances, etc. Les déchets doivent toujours être traités de façon respectueuse, soit dans des centres adaptés, soit en déclarant toute activité de traitement sur site.

- *Pénalités encourues*

Si l'entreprise ne gère pas ses déchets comme la loi le lui indique, des amendes peuvent être encourues.

Si Groupe ADP rejetait ses effluents glycolés directement dans la nature ou dans le réseau public sans autorisation, l'entreprise s'exposerait à une amende de **50 000€.** (*Agence de l'eau Seine-Normandie – CCIT de Troyes et de l'aube, 2009)*

## 3) Conclusions

### A. Hypothèses retenues

- *Hypothèses sur le déchet*

Il a été décidé de s'appuyer sur les trois dernières saisons pour former les hypothèses sur la production du déchet.

→ La pollution à abattre est la pollution organique.
→ 58 % du total des effluents sur une saison ne sont pas valorisables car trop peu concentrés en glycol.
→ Les principaux coûts sont l'enlèvement des effluents et le traitement des effluents peu concentrés (< 5 %).
→ Le poids de référence de production du déchet sur une saison est de 7 000 tonnes pour la suite de l'étude.

## B. Conclusions

Il n'y a pas de solution idéale unique. Le plus intéressant serait de mettre en place une solution hybride capable de traiter tout type d'effluent, les plus concentrés comme les moins concentrés.

Pour cela, il est choisi de se concentrer sur :

→ Détruire les effluents les moins concentrés (< 25 000 mg/L en COT) pour éviter de transporter des effluents presque exclusivement aqueux et les envoyer en destruction. Recycler le glycol dans des eaux très peu concentrée est très cher et énergivore.
→ Valoriser les effluents les plus concentrés du mieux possible.
→ Essayer de concentrer au maximum les effluents à la limite du valorisable.

# III- Horizons des solutions possibles

## 1) Etat de l'art des solutions possibles

Dans la littérature, plusieurs documents offrant un état de l'art pour notamment gérer les eaux pluviales sont disponibles. Ils proposent une méthode aux aéroports pour décider quel moyen technique utiliser.

Les solutions sont catégorisées en deux :

- Les solutions biologiques
- Les solutions physico-chimiques

Ces deux catégories sont elles-mêmes séparées en deux sous-catégories :

- in-situ
- ex-situ

L'état de l'art de ces catégories sera fait dans cette partie pour pouvoir ensuite les comparer dans le but de justifier les choix qui seront proposés dans la suite de ce rapport.

### A. Les solutions biologiques

Les solutions biologiques utilisent la flore bactérienne pour dégrader la matière organique. Une liste non exhaustive des solutions données par l'ouvrage de l'ACRP (*Airport Cooperative Research Programm*. *Report 99, 2013)* est détaillée ci-dessous.

- *Le bassin d'aération (BA)*

Principe :

Le bassin d'aération est un système biologique aérobie actif à culture libre (biomasse se développant librement dans l'eau) dans lequel un système d'aération, de surface ou de fond, agit pour mettre en contact l'eau et les bactéries. Ce système permet aussi l'intégration d'oxygène dans le milieu ce qui permet la biodégradation. C'est un traitement largement répandu dans les stations d'épuration, on le retrouve notamment dans le cadre du traitement par boues activées (cf **figure 11**) ou dans le SBR (Sequencing Batch Reactor).

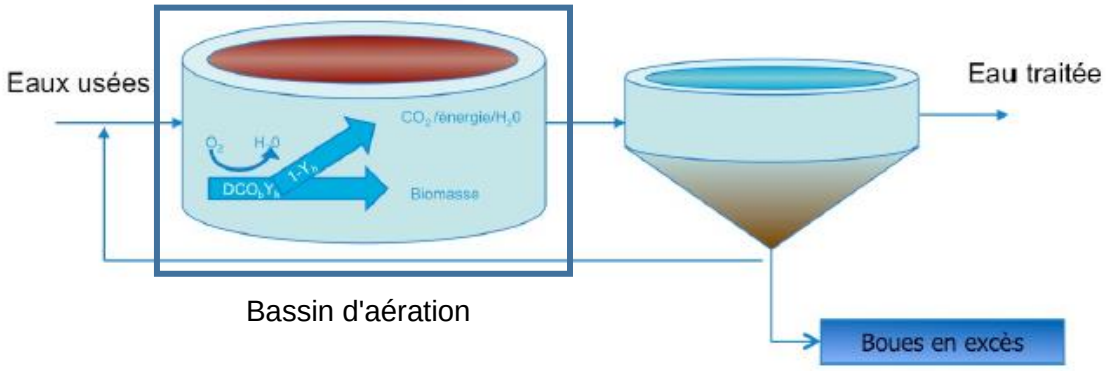



*Figure 11 : Schéma de principe du procédé à boues activées (BOIS P. – LAURENT J, 2015)*

Efficacité :

- Concentration maximale autorisée : 5 000 mg/L en DCO.
- DCO : 80-90 %
- $DBO_5$ : 90-95 %
- MES : 85-95 %

Avis :

Ce système est sujet aux pertes de chaleurs de par sa grande surface. L'intégration paysagère n'est pas bonne et le BA a besoin d'un espace important. Enfin, la concentration en entrée limite les effluents que l'on pourrait y traiter. Pour l'aéroport CDG, cette solution n'est pas appropriée car la concentration en entrée ne suffit pas à traiter les effluents.

- *Lagunage aéré*

Principe :

Le lagunage est un système aérobie passif à culture libre composé de 3 lagunes. Elles permettent de dégrader la pollution organique grâce aux bactéries. La biomasse croît de façon libre dans l'eau et dégrade la pollution grâce à l'oxygène qui est amené par aération artificielle (aérateurs). La dégradation est affinée dans la succession des bassins.

Efficacité :

- Concentration maximale autorisée : 5 000 mg/L en $DBO_5$
- DCO > 80 %
- $DBO_5$ > 90 %
- MES > 85 %

Avis :

Cette technologie est passive, elle est donc plus facile à exploiter car elle demande moins de contraintes. Elle peut aussi s'intégrer facilement dans l'environnement. De plus, d'un point de vue opérationnel, les lagunes peuvent servir de stockage des effluents en plus du traitement. Cependant, elles demandent une grande emprise foncière. Les pertes de chaleur sont importantes ce qui occasionne un fonctionnement dégradé en hiver, la période la plus délicate pour l'aéroport.

- *Filtre planté de roseaux / Marais filtrant (FPR)*

Principe :

Le marais filtrant est un système biologique aérobie à culture fixée (biomasse qui se développe sur la surface d'un solide). Il se définit par un grand marais composé de plusieurs étages. Il peut avoir un écoulement vertical ou horizontal. L'effluent est amené par des buses (**figure 12**) pour répartir la charge sur tout le lit de roseaux (pour l'écoulement vertical) puis il traverse des filtres de graviers grossiers puis fins sur des profondeurs de moins d'un mètre. C'est sur ces filtres que la biomasse se développe. Les plantes n'ont pas un apport épuratoire déterminant, elles servent simplement à aérer le sol et à limiter le colmatage. Une insufflation d'oxygène est tout de même nécessaire pour accélérer la biodégradation.

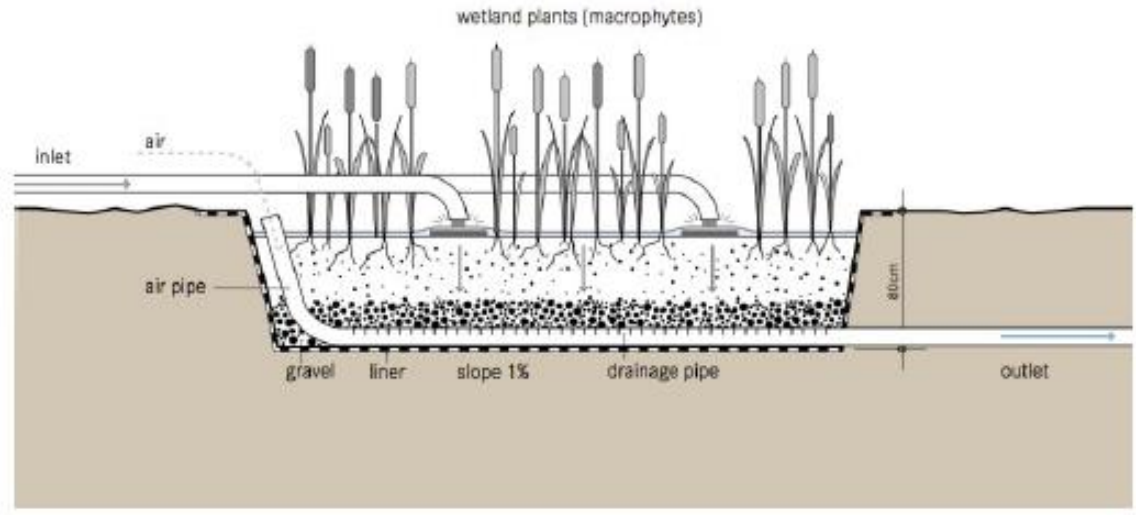



*Figure 12 : Filtre planté de roseaux à écoulement vertical. BOIS P. – LAURENT J, 2015*

Efficacité :

- Concentration maximale autorisée : 200 mg/L en COT environ
- DCO : 85 %
- DBO5 : 90 %
- MES : 90 %

Avis :

Le marais filtrant est un système passif, donc peut énergivore. En plus de sa bonne intégration paysagère, son coût de maintenance est relativement faible puisque qu'il faut opérer un curage tous les 10-15 ans seulement. Cependant, l'emprise foncière est importante. D'après le retour d'expérience de l'Aéroport de *Paris-Orly* (Suez, 2017), le traitement n'est pas très efficace (lent) et ne vient qu'en finalisation pour le rejet en milieu naturel, lorsque cela est nécessaire.

- *Filtre à gravier aéré (FAGA)*

Principe :

Le filtre à gravier aéré est un système biologique aérobie intensif à culture fixée. L'effluent est aspergé sur un bassin de graviers avec des granulométries différentes sur lesquels la biomasse s'est développée. Le filtre à une profondeur d'environ 1,80m. L'oxygène est amené par aération forcée à l'aide d'aérateurs. Les bactéries vont dégrader la pollution organique tandis que les graviers offrent un filtre physique aux MES. Il faut néanmoins faire attention au colmatage. Le bassin peut être enterré et recouvert d'herbe.

Efficacité :

- Concentration maximale autorisée : 6 000-15 000 mg/L en COT
- COT > 90 %
- DBO5 > 90 %
-

Avis :

Cette technologie permet de garder la chaleur en saison hivernale et donc une constance dans son traitement. De plus, le filtre accepte des concentrations variables en entrée et assure une concentration en sortie en moyenne constante. D'après le retour d'expérience de l'aéroport de *Buffalo Niagara Airport* (*Airport Cooperative Research Programm*. *Report 99, 2013)*, le filtre accepte des charges allant jusqu'à 7 000 mg/L en COT et ayant des concentrations en sorties

strictes, proches de celles de CDG. L'aéroport américain en a construit 4 et les a couverts d'un paillis pour garder la chaleur. Ce système biologique pourrait être intéressant pour CDG. De plus, sa construction sous le sol a l'avantage de ne pas entrer dans les *servitudes* de l'aéroport. Une construction proche des pistes est donc possible.

- *Biofiltration*

Principe :

La biofiltration est un système biologique aérobie intensif à culture fixée. L'effluent parcourt de façon ascendante un média filtrant (roches en suspension) comme présenté sur la **figure 13**. C'est sur ce média filtrant que la biomasse se développe. L'oxygène est amené par insufflation d'air. Il faut traiter à l'aide d'air et nettoyer à l'aide de l'eau traitée et d'air pour nettoyer les biofiltres qui seraient colmatés. Les eaux de lavages sont récupérées et traitées comme des boues.

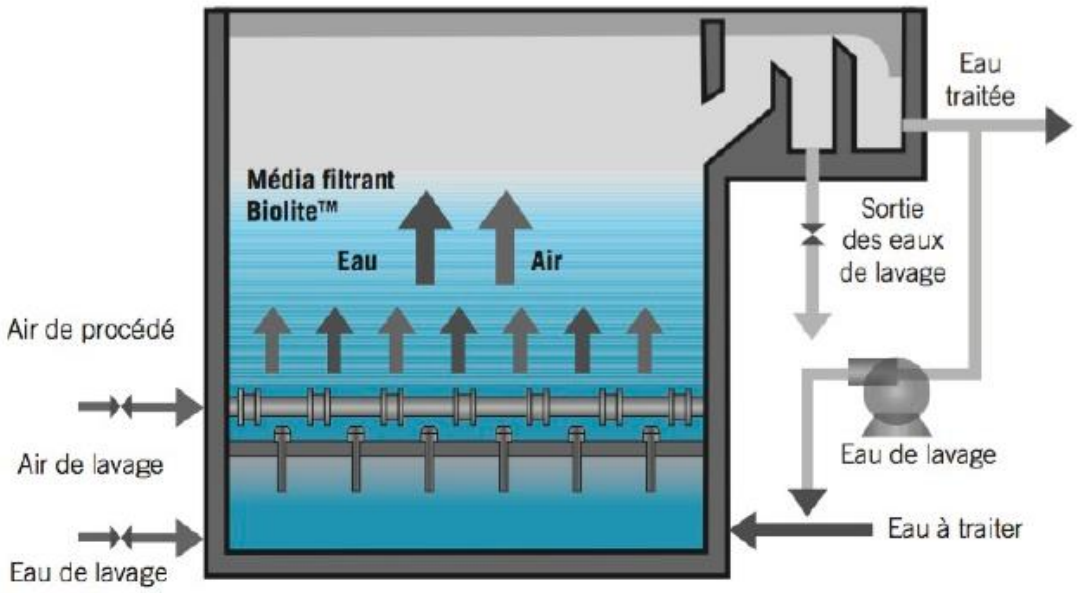



*Figure 13 : Vue en coupe d'un biofiltre de type Biofor. (BOIS P. – LAURENT J, 2015)*

Efficacité :

- Concentration maximale autorisée : 2 100 – 80 000 mg/L en DCO
- COT : /
- DCO > 95 %
- DBO5 > 95 %

Avis:

La biofiltration a de nombreux avantages. Cette solution a peu de pertes de chaleur et est très efficace. Néanmoins, elle nécessite des opérations compliquées car il faut pouvoir gérer les entrées, sorties, eaux de lavage, etc.

- *Raccordement à la station épuration*

Principe :

En se rapprochant de la société Suez, l'une des possibilités est d'envoyer une partie des effluents sur la station d'épuration du Mesnil-Amelot, l'une des communes qui borde l'aéroport. Cette station opère un traitement biologique (aucune information n'a été trouvée pour savoir quel procédé exact est utilisé).

Avis :

Cette solution à l'avantage de coûter très peu cher et d'être très proche de l'aéroport, ce qui limiterait les coûts de transport.

## B. Les solutions physico-chimiques

- *Compression Mécanique Vapeur (CMV)*

Principe :

La CMV est une technique qui permet de séparer l'effluent en deux parties par l'évapo-condensation : une partie sera fortement concentrée en glycol (à hauteur de 80 %) tandis que l'autre sera très faiblement concentrée.

Remarque :

Cette technologie est celle utilisée par SARP Industries. C'est aussi celle utilisée par la société Vilokan, entreprise suédoise vers laquelle nous nous sommes rapprochés, qui nous a proposé diverses solutions. L'une d'elle était de construire une usine de pré-concentration utilisant ce principe.

Avis :

Ce type de technologie est avantageux lorsque le glycol est concentré. Aussi, plus l'effluent est concentré en glycol, moins le temps de traitement sera long et plus il sera efficace.

Cette solution a l'avantage de pouvoir valoriser le glycol. Cependant, des travaux importants pour construire l'usine sont nécessaires.

- *Distillation*

Principe :

Comme précédemment, l'effluent sera concentré au maximum, ce qui donnera le concentrat, pour récupérer un perméat dilué. Seule la méthode change, c'est par distillation que le procédé s'effectue. Il est nécessaire de construire une usine pour utiliser au mieux cette technologie.

Remarque :

Cette solution est proposée par l'entreprise Inland, entreprise canadienne qui s'est également rapprochée de CDG. De la même façon que pour la CMV, plus l'effluent est concentré, plus le traitement sera efficace.

- *Filtration membranaire par Osmose Inverse*

Principe :

L'Osmose Inverse est une technique de filtration membranaire qui requiert beaucoup d'énergie pour être efficace. L'effluent entre dans la machine et est séparé en deux exutoires : l'un, appelé perméat, rejette de l'eau "propre", très peu chargée, l'autre, appelé concentrat, rejette un effluent concentré en glycol (cf. **figure 14**). Une ultra filtration fait office de prétraitement et rejette un effluent chargé qui n'est pas valorisable.

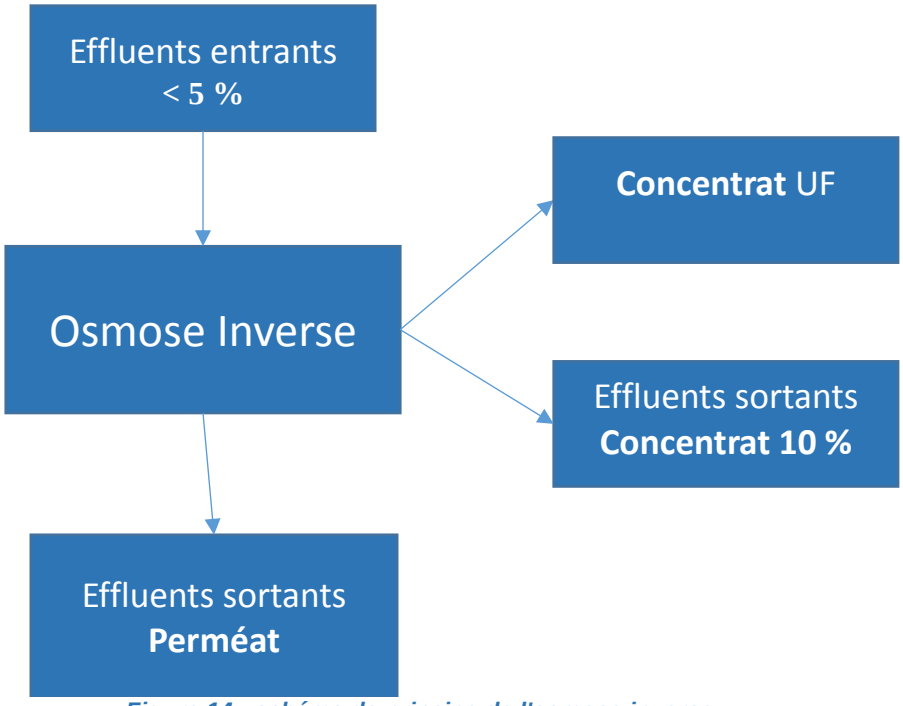



*Figure 14 : schéma de principe de l'osmose inverse*

Avis :

Le prestataire Tecsel propose une unité d'osmose inverse montée sur châssis de camion ce qui a pour avantage sa mobilité. De plus, l'unité possède un prétraitement efficace. Cette solution pourrait être utile à l'aéroport pour valoriser au mieux ses effluents.

## C. Comparatifs des solutions

- *Résumé des solutions*

Le MPG se dégrade plus vite dans un environnement aérobie et sur culture fixée (Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien, 2008*)*. Les solutions biologiques qui ont été sélectionnées ont toutes cette particularité en commun. Le **tableau 10** est un tableau regroupant les solutions citées précédemment et résumant leurs caractéristiques en fonction des besoins de l'aéroport. Seules les solutions biologiques ont été regroupées dans ce tableau.

| | Traitement biologiques | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | BA | Lagunage | FPR | FAGA | Biofiltration |
| DCO | 80-90 % | >80 % | 85 % | / | >95 % |
| DBO5 | 90-95 % | >90 % | 90 % | 90 % | >95 % |
| MES | 85-95 % | >85 % | 90 % | / | / |
| Charges maximale en entrée | 5000 mg/L DCO | 5000 mg/L DBO5 | 200 mg/L COT | 6000 mg/L COT | 2100-80000 mg/L DCO |
| Basses températures | - | - | - | + | + |
| Emprise au sol | +/- | - | - | - | + |
| Intégration paysagère | - | + | + | + | - |
| Type de culture | libre | libre | fixée | fixée | fixée |

*Tableau 10 : résumé des solutions biologiques présentées*

Légende :

- : désavantageux pour le critère
+ : avantageux pour le critère
+/- : moyennement avantageux pour le critère
/ : Donnée non disponible

- *Discussions sur les solutions*

Les solutions physico-chimiques sont plus enclines à valoriser le glycol tandis que les solutions biologiques vont le dégrader. Aussi, pour notre étude, comme les effluents pris en compte ont une concentration < 25 000 mg/L en COT, il est logique de se diriger vers une solution biologique.

L'entreprise SARP Industries ayant engagé des investissements importants pour être en mesure de traiter nos effluents sur leur site par évapo-condensation (même principe que la CMV), l'aéroport et cette entreprise sont liés par un engagement d'honnêteté. Il n'est pas souhaité d'arrêter le marché avec SARP Industries.

En conclusion, une partie des traitements physico-chimiques ne sera pas pris en compte. Les solutions biologiques sur place seront privilégiées.

# 2) Etat des lieux

## A. Etat des lieux à CDG

- *Prototypes de phyto-épuration et FAGA*

L'unité environnement d'ADP a mis au point des prototypes pour tester l'épuration des effluents glycolés par le sol.

- La phyto épuration : ce procédé biologique utilise la rhizosphère des plantes (régions du sol qui sont influencées par les racines des plantes) pour dégrader les charges organiques. Plusieurs tests ont été faits sur plusieurs types de plantes et il s'est avéré que l'herbe aéronautique, présente majoritairement sur l'aéroport, est la plante la plus efficace pour dégrader les pollutions organiques. Le prototype est expliqué en détail en **annexe 9**. Cependant, ce procédé n'est pas assez efficace pour traiter les effluents glycolés produits sur la plateforme CDG.

- Pour pallier l'efficacité de la phyto épuration, un prototype de filtre à gravier a été installé. De même que pour la phyto épuration, tous les chiffres et explications sont donnés en **annexe 9**. Après avoir testé des eaux dopées en glycol, les effluents récupérés dans les BRE de CDG sont testés. Pour cela, le BRE Juliette est laissé à disposition durant cette saison estivale 2018 où les effluents ont un COT de l'ordre de 15g/L.

Ci-dessous est représenté un schéma d'application opérationnel du FAGA et de la phyto épuration :

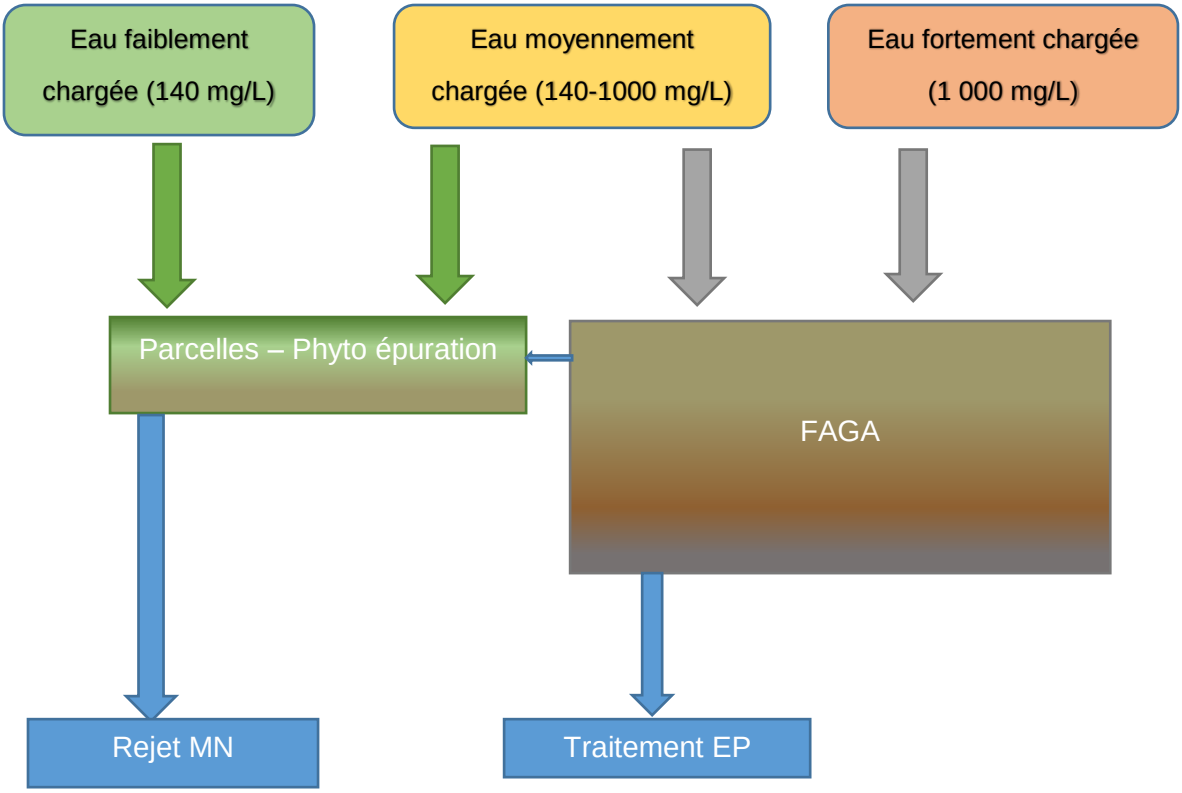



*Figure 15 : Schéma explicatif du lien entre le FAGA et la phyto épuration sur le mode opérationnel*

Ainsi, la phyto épuration est utile pour affiner le traitement. Le FAGA, quant à lui, est un traitement abattant les charges importantes.

Ces prototypes nous sont très utiles pour avoir un retour d'expérience directement lié à notre problématique. L'étude arrive à son terme après plusieurs années d'expérimentation. Des résultats intermédiaires devront arriver en septembre, octobre au plus tard. Ces résultats permettront d'affiner notre connaissance sur cette problématique.

- *Les eaux pluviales*

Parce que les EP contiennent du glycol, il est nécessaire d'en expliquer le fonctionnement du traitement à CDG.

L'UO CDGL s'occupe des eaux pluviales de la plateforme. L'aéroport se trouve sur deux bassins versants (BV) ce qui oblige CDGL à traiter les EP séparément. Les bassins versants

sont le bassin de la Seine, qui prend en compte la zone de fret (voir le plan de masse en **annexe 1**). Le bassin versant Marne prend en compte tout le reste de l'aéroport.

- Sur le côté BV Seine, les EP sont traitées par lagunage.
- Sur le BV Marne, les EP sont traitées par biofiltration. Un principe de ségrégation de la pollution a été mis en place pour améliorer le traitement, notamment en hiver où les charges organiques sont supérieures à cause des fondants hivernaux (déverglaçage). Plusieurs bassins de stockage sont mis en place et le dernier, le plus grand (Bassin des Renardières), est le bassin de stockage où l'usine de traitement pompe pour traiter.

On s'intéresse surtout au traitement du BV Marne car c'est sur ce dernier que le dégivrage/antigivrage est fait. Il est interdit en fret.

Les seuils de rejet sont donnés par l'arrêté préfectoral en **annexe 8**.

Aussi, la station de traitement du BV Marne peut traiter des effluents allant jusqu'à 1 000 mg/L de DCO.

Il est, de plus, possible d'envoyer nos effluents ayant une DCO aux alentours de 150 mg/L pour un prix nettement inférieur que le prix de destruction actuel.

## B. Etat des lieux à l'aéroport d'Orly

### *Le traitement des effluents glycolés*

A l'aéroport d'Orly, les effluents glycolés ne sont pas traités de la même façon qu'à Roissy car le procédé de dégivrage/antigivrage est différent. Pour commencer, le processus se fait sur poste avion et par les compagnies. Ainsi, ces dernières sont responsables de leur processus. Aucune infrastructure n'est mise en place pour récupérer le glycol. En effet, le nombre de dégivrage avion est inférieur à Orly qu'à Roissy. L'aéroport est plus petit et compte donc moins de vols journaliers. Par conséquent, les effluents glycolés sont lessivés et traités avec les EP de l'aéroport. Donc, les charges organiques des EP d'Orly sont plus élevées.

### *Le traitement des EP*

Le Service de Traitement des Eaux Pluviales (STEP) d'Orly possède un bassin biologique et un marais filtrant (principe du filtre planté de roseaux). Les EP arrivent dans un ouvrage accepteur d'eaux et sont redistribuées en fonction de leur charge organique. Pour les fortes charges, les eaux sont dirigées vers un dessableur puis un bassin biologique.



*Figure 16 : Bassin biologique du STEP d'Orly*

Dans ce bassin, la biomasse va dégrader la charge organique. Ici, aucune aération n'est nécessaire. La biodégradation engendre des boues. C'est pourquoi, lorsqu'elle est finie, un temps de 2-3 jours est nécessaire pour laisser décanter les boues. Le COT est d'environ 200 mg/L en sortie.

Pour être apte à rejeter en milieu naturel et respecter l'arrêté préfectoral local, un traitement supplémentaire est fait pour affiner le traitement. C'est le passage sur marais filtrant.



*Figure 17 : Marais filtrant du STEP d'Orly*

Grâce à ce traitement, la charge est suffisamment basse pour que les effluents soient rejetés en milieu naturel. Un prétraitement et des traitements annexes sont mis en place pour s'assurer d'un traitement parfait.

Pour résumer, les effluents ne sont pas traités en tant que déchets mais en tant qu'eau pluviale. Donc, le traitement est différent car les volumes et les concentrations ne sont pas les mêmes (volumes plus importants pour des concentrations plus faibles).

## C. Tour d'horizon des aéroports étrangers

Un travail de bibliographie a également été fourni pour étudier les traitements des aéroports étrangers. Il s'avère que nombre d'entre eux traitent leur effluents avec les eaux pluviales. Trois aéroports ont ainsi été étudiés.

- *Londres Heathrow*

L'aéroport de London Heathrow est l'aéroport européen le plus important en termes de passagers. La plateforme a mis en place en 2001 un système de bassins de lagunage non aéré ainsi que des filtres plantés de roseaux pour affiner le traitement. Avec l'augmentation du trafic ces dernières années, l'aéroport a été contraint d'adapter sa capacité de traitement.

Ainsi, en 2010, un remaniement du système s'est vu :

→ changer les filtres plantés de roseaux en filtre à graviers aérés (12 filtres occupant une surface de 20 800 m²).
→ ajouter un bassin tampon de 30 000 $m^3$ (principe du lagunage aéré).
→ ajouter des canaux aérés avec une partie occupée par des lits de roseaux flottants (sur le principe du lagunage aéré pour la partie sans roseaux).

Un dosage des nutriments est maintenant nécessaire.

A Londres, Heathrow, la concentration en sortie de traitement doit être de 30 mg/L en $DBO_5$[2] pour une concentration moyenne en entrée de 1 000 mg/L. Si la concentration en sortie est trop élevée, les eaux sont réinjectées dans le système.

Le retour d'expérience de cet aéroport montre que les FAGA et canaux aérés avec les lits de roseaux (cultures fixées en milieu aérobie) sont les plus efficaces.

[2] Pour information, elle est de 10 mg/L pour le rejet en milieu naturel à l'aéroport CDG.

En 2001, le système de traitement a coûté à l'aéroport 21,4 M€. En 2011, le coût prévu est de 3,1 M€. Le véritable prix n'est pas donné. De même, le prix annuel de fonctionnement prévu est de 215 600€.

- *Aéroport International de Buffalo Niagara*

L'aéroport de Buffalo Niagara est un petit aéroport américain avec 5,3M de passagers en 2009. Cette même année, l'aéroport a construit 4 FAGA de 4 600 m² chacun avec des bassins aérés pouvant contenir 11 350 $m^3$ en amont.

Le coût de construction est de 10 M US$, soit 8,7 M€.

La biomasse croît sur les graviers pendant la période de dégivrage et se minéralise en été. Les filtres sont couverts d'un paillis enherbé ce qui permet de les isoler des basses températures et maintenir un traitement efficace.

Les concentrations en entrées varient entre 11 et environ 7000 mg/L en COT et sont comprises entre 48 et 357 mg/L en COT en sortie de traitement.

Les charges et l'apport en nutriments doivent être gérés attentivement pour ne pas endommager le filtre.

## 3) Bilans sur les solutions proposées

En résumé, pour traiter des effluents non valorisables, il est préférable de se tourner vers des solutions biologiques à culture fixée et aérobie, qui semblent beaucoup plus efficace que les autres. Les solutions physico-chimique semblent intéressantes pour valoriser le glycol et donc pour des effluents valorisables (concentrés en glycol).

Néanmoins, un traitement par osmose inverse paraît avantageux pour valoriser au mieux le glycol dans les effluents proches des 5 % en concentration.

De plus, une solution biologique sur site permet de réduire significativement les coûts de transports, mais aussi de destruction.

Enfin, le raccordement à la station d'épuration du Mesnil-Amelot est très intéressant de par sa proximité avec l'aéroport et les coûts réduits.

Il est maintenant nécessaire d'étudier les solutions en parallèle, d'un point de vue financier mais aussi réglementaire et environnemental.

# IV- Sélection des solutions et leur étude

A la suite des études précédentes, des scénarios ont été dégagés. Cette partie recense ces scénarios ainsi que leur étude économique et de faisabilité sur la plateforme CDG. Le but est de trouver des solutions de traitement sur site ou proche de la source de production des effluents pour répondre au cadre réglementaire et optimiser les coûts.

L'objectif de ces solutions sera donc de séparer les effluents en fonction des concentrations. Pour cela, le pôle VH va prochainement s'équiper de **matériel de mesure des concentrations** dans les BRE. Grâce à cela, une ségrégation de la pollution pourra être opérer et les traitements, notamment pour les effluents peu concentrés, optimisés.

## 1) Scénario 1

### A. Présentation du scénario 1

- *Principe*

Le premier scénario choisi est le raccordement à la station d'épuration du Mesnil-Amelot. Pour se faire, l'entreprise Suez a été démarchée. Cette dernière a proposé l'exutoire de la station du Mesnil-Amelot et s'en est rapprochée pour obtenir les autorisations officielles.

Ainsi, l'une des solutions envisageable serait de traiter tous les effluents non valorisables sur cette station. Sur un poids référent de 7000t avec environ 58 % des effluents non valorisables (<5 %), **4 060t** seraient envoyés en moyenne sur cette station. Tout le reste des effluents est envoyé en traitement valorisation chez SARPI, comme ce qui est fait actuellement.

Pour le moment, beaucoup d'incertitudes existent et dépendent de la suite de l'étude.

- *Variante possible*

Une variante pourrait être intéressante sur ce scénario. Il s'agirait de traiter sur cette station tous les effluents concentrés <10 %. En effet, d'après **l'annexe 4**, les effluents concentrés entre 5 % et 10 % ont un coût de traitement élevé. Emmener tous ces effluents à la station ferait profiter l'entreprise d'économies non négligeables.

- *Avantages / Inconvénients*

Les avantages de ce scénario sont nombreux mais le plus intéressant reste celui du transport. En effet, la station est sur la ville du Mesnil-Amelot qui est l'une des communes de l'aéroport. Sur la **figure 18** est montré un temps de trajet de l'une des sorties de l'aéroport jusqu'à la station :




*Figure 18 : Capture d'écran Google Map du PARIF 15 I à la station d'épuration du Mesnil-Amelot*

La distance de trajet est de 1,5km (6km au plus loin) contre 80 km à SARPI.

Dans le **tableau 11** ci-dessous sont résumés les avantages et les inconvénients de cette solution :

| Avantages | Inconvénients |
|---|---|
| La proximité de la station rend effectif le principe de proximité et permet de réduire les coûts de transport. | Longue mise en place pour que la station puisse étudier les effluents. Maximum d'un an |
| Aucun investissement n'est à prévoir, seule une réduction des coûts de traitement grâce aux coûts réduits du transport et du traitement sur station (40€/T) apporterait des économies immédiates. | Aucune information n'est donnée pour le moment sur la faisabilité de cette solution ou sur les volumes et concentrations pris en compte. Cependant, l'interlocuteur annonce des échanges positifs et optimistes. |
| Aucun élément opérationnel n'est à prévoir car Suez s'occupe déjà du transport et s'occupera du traitement. | Dépendance de la gestion. Il ne faut pas que la station refuse de prendre certains volumes lors d'une saison hivernale chargée ce qui menacerait le pôle VH et ses opérations. |

*Tableau 11 : tableau résumant les avantages et inconvénients du scénario 1*

## B. Analyses du scénario 1

- *Pour les effluents concentrés < 5 %*

En prenant en compte la tranche de prix donnée par Suez, soit 15-40€/T, une étude préliminaire peut être faite. Pour la suite, on choisira la fourchette haute, la moins avantageuse, soit 40€/T.

Ainsi, après une étude financière, expliquée en détail en **annexe 10**, on remarque que :

→ 4 060 t en moyenne seraient envoyées sur la station d'épuration du Mesnil-Amelot
→ 2 940 t en moyenne seraient envoyées en valorisation chez SARPI
→ Une économie annuelle de **19 %** pourra être observée en moyenne
→ **1,4 M€** seraient économisés après 10 ans

- *Pour les effluents < 10 %*

Dans l'éventualité où la variante du scénario principal (avec traitement en station des effluents concentrés <10%) se produit, il est intéressant d'étudier son aspect financier. Ainsi, le détail est expliqué en **annexe 10** où les mêmes données que le scénario principal sont étudiées avec les mêmes hypothèses.

On obtient :

→ Même tonnage envoyé sur la station et chez SARPI que la solution principale
→ Une économie annuelle de **33%**, en moyenne, est à prévoir
→ **2,5 M€** seraient économisés après 10 ans de traitement sur la station du Mesnil-Amelot

Les économies ne sont pas flagrantes mais aucun investissement n'est à prendre en compte et cette solution peut être mise en place dès la saison prochaine (après accord de la station et marché obtenu).

- *Cadre réglementaire*

Le raccordement à la station d'épuration ne sera possible qu'après autorisation de celle-ci. L'autorisation prend en compte la composition de l'effluent, ses concentrations et paramètres polluants (l'Agence De L'Eau Seine-Normandie – CCIT De Troyes Et De L'aube, 2009). La station vérifie alors qu'elle est en mesure de le recevoir. Un contrat, ou convention de

raccordement, peut alors être signé entre l'entreprise, le gestionnaire de la station (Suez) et la collectivité propriétaire pour le traitement des effluents.

## 2) Scénario 2

Le deuxième scénario sélectionné est proposé dans l'éventualité où le premier serait refusé. Il comporte la voie biologique sur site.

### A. Présentation du scénario 2

- *Principe*

Sur ce deuxième scénario, la solution biologique choisie est le FAGA. C'est le traitement biologique qui correspond au mieux aux besoins de l'aéroport validé par son prototype testé sur place et avec les vraies eaux de dégivrages de l'aéroport.

Cependant, le filtre ne pourrait traiter qu'une petite partie des effluents. Les tests sont faits sur les effluents concentrés à 15 000 mg/L, soit 3 %. Une étude a été menée pour traiter les effluents concentrés <4 %. Au-delà de cette concentration, le filtre pourrait être endommagé. Cela va permettre de sur-dimensionner légèrement le filtre en termes de taille et de prix pour se placer dans le scénario le moins avantageux.

Ainsi, ces effluents seraient traités sur le filtre et le reste, les effluents concentrés > 4 % seraient envoyés en traitement chez SARPI. En termes de tonnage, ce sont **3 780t** qui sont envoyés sur le FAGA en moyenne contre **3 220t** envoyés chez SARPI.

En sortie de filtre, la concentration n'est pas suffisamment basse pour être rejetée en milieu naturel ou dans le réseau public. Un accord avec CDGL, entité qui gère les EP à l'aéroport de CDG, pourra être passé pour rediriger le contenu filtré et finaliser le traitement. En effet, la quantité à traiter représente 1 % de l'activité de CDGL et l'entité possède les infrastructures suffisantes pour traiter ces volumes à une charge maximale de 1 000 mg/L en DCO.

- *Variante possible*

Une variante est possible pour ce scénario. Pour être en mesure de traiter tous les effluents concentrés < 5 %, l'osmose inverse pourrait être mise en place. Tecsel est une entreprise qui

propose des stations mobiles de traitement d'effluents par ce procédé. En **annexe 11** se trouve un extrait du devis et du fonctionnement de la machine.

Le principe de l'osmose inverse serait de séparer l'eau en entrée en deux effluents en sortie : l'un concentré, le concentrat, et l'autre dilué, le perméat. La machine a été dimensionnée pour concentrer l'effluent en sortie à 10 %. Le concentrat permet la valorisation du glycol.

Donc, un poids de **4 060** tonnes serait envoyé sur ces solutions, 3 780t sur le FAGA et 280t sur l'osmoseur, et le reste serait envoyé en traitement chez SARPI.

- *Dimensionnement du scénario 2*

D'après les prototypes testés sur la plateforme, on sait que **155 gCOT/j/m²** peuvent être traités sur le FAGA. On peut en déduire un dimensionnement pour ce filtre. Après un calcul, on en déduit la surface :

| | | |
|---|---|---|
| *Charge à traiter* | 15 | gCOT/L |
| *Volume journalier* | 50 | m3/j |
| | 50000 | L/j |
| *Surface* | 4838,71 | m2 |
| | **0,5** | ha |

***Tableau 12 : Dimensionnement en surface du FAGA pour traiter 15 g/L de COT (3 % de glycol)***

Le FAGA a été dimensionné pour traiter 15 000 mg/L de COT, soit 3 % en glycol, pour 50 $m^3$/j. La surface retenue est donc **0,5 ha**, soit **5 000 m²**. Les effluents concentrés à plus de 3 % (mais inférieure à 4 %) seront réinjectés sur le filtre.

L'une des dimensions possibles pour le filtre serait de 100m de long pour 50m de large.

- *Les avantages et inconvénients*

Pour résumer les avantages et les inconvénients, un tableau est proposé ci-dessous :

| | Avantages | Inconvénients |
|---|---|---|
| **FAGA** | Le caractère sous-sol de cette solution permet de limiter les pertes de chaleur, donc d'améliorer le traitement. De plus, les servitudes avions ne seront pas perturbées ce qui offre une place moins limitée pour sa construction. | Pour traiter les effluents du pôle VH, une emprise foncière importante est nécessaire |
| | Le prototype permet de définir et de tester directement les effluents de CDG. Un retour d'expérience précis sera alors donné. | La gestion des intrants est lourde et devra probablement être sous-traitée, soit par un sous-traitant soit par CDGL. |
| | Le filtre est sur place, donc une réduction des coûts de transport est à prévoir. | |
| **Osmose inverse** | Bonne valorisation des effluents | La maintenance de la machine est lourde |
| | La mobilité de la machine permet une optimisation et une facilité du traitement | Le conditionnement hors saison hivernale ou lors d'une saison faible peut poser le problème du développement bactérien et donc de la maintenance des membranes. |

*Tableau 13 : Avantages et inconvénients du FAGA et de l'osmose inverse*

## B. Analyses du scénario 2

Remarque :

Tous les chiffres et informations seront résumés dans le **tableau 14**.

- *Etude financière du FAGA*

Pour l'étude financière de ce scénario, une estimation du prix a été faite. Le détail se trouve en **annexe 12**. Le coût d'investissement du FAGA de 50mx100m est de **2,8 M€** (3 M€ à +10 %). Ce prix comporte les travaux et l'achat des équipements nécessaire à son bon fonctionnement. Cependant, l'Agence de l'Eau propose des aides au financement de toutes les entreprises qui souhaitent améliorer, d'une quelconque manière, l'état des cours d'eau. Ainsi, la construction du FAGA rentre dans la catégorie "*Epuration des effluents industriels (dispositif de traitement et métrologie)*" (Agence De L'eau Seine-Normandie, 2013*)*. Cette catégorie permet le financement, pour les grandes entreprises, de 40 % par l'Agence de l'Eau. Ainsi, le coût d'investissement revient à **1,7 M€**.

Le prix du traitement annuel, pour un poids de référence de 7 000t, revient à **450 000 €**. Cette solution permet d'économiser **1,5 M€** sur 10 ans pour un retour d'investissement de 5,5 ans.

- *Etude financière de l'osmose inverse*

Le prix d'achat de la machine d'osmose inverse est donné en **annexe 11**. Il comprend l'achat de la machine mais aussi sa mise en route et une formation des opérateurs. Combiné avec le prix du FAGA et l'aide de l'Agence de l'Eau, on obtient un coût d'investissement estimé à **2,25 M€** avec un traitement à l'année au prix de 403 000 €. Cette variante permet d'économiser **1,3 M€** en 10 ans avec un retour sur investissement de 6,5 ans.

- *Etude réglementaire*

Pour la construction sur site d'un procédé traitant des effluents industriels, la réglementation est plus complexe. Si on renvoie les effluents dans le réseau EP de CDGL, aucune déclaration ou autorisation n'est nécessaire au titre de la loi. Il faut cependant l'accord de CDGL. En revanche, si on rejette les effluents dans le milieu naturel ou réseau public, le filtre est soumis à déclaration à l'autorité administrative.

# 3) Etude comparative

## A. Comparaison des solutions

Pour comparer les deux solutions, un premier tableau résumé est présenté ci-dessous :

| | Scénario 1 | Variante 1 | Scénario 2 | Variante 2 |
|---|---|---|---|---|
| **Principes** | Effluents < 5 % à la station de M-A | Effluents < 10 % à la station de M-A | Traiter effluents < 4 % sur FAGA | Traiter effluents < 4 % sur FAGA et 4 % < X < 5 % sur OI |
| **Investissement de départ** | 0 | 0 | 2,8 M€<br>Aides 1,7 M€ | Aides 2,25 M€ |
| **Economies annuelles**[3] | 18,5% | 33% | 41% | 47% |
| **ROI** | 0 | 0 | 5,5 ans | 6,5 ans |

*Tableau 14 : Résumé des deux solutions ainsi que leurs variantes*

La solution préconisée est le scénario 1. Aucun investissement n'est à prévoir et une réduction des coûts de traitement annuel peut être observée rapidement. Le scénario 2, quant à lui, sera plus long à mettre en place, notamment à cause des travaux à prévoir.

## B. Etude multicritère

Afin de choisir le meilleur scénario possible, une étude multicritère a été menée. Une note sur 100 est donnée à chacun des critères, 100 étant la meilleure note, et un poids a été défini. Les critères retenus sont :

→ L'impact financier : prise en compte des économies faites au bout de 10 ans d'exploitation. Les notes sont calculées en partant du principe que 0 % est la situation actuelle et la meilleure note (100 %) est calculée à 20 % d'économies par rapport au scénario le moins cher.

→ L'image environnementale

[3] Se référer à l'annexe 13 pour le détail des calculs sur les économies

→ Limitation des contraintes opérationnelles : il ne faut pas ajouter des opérations à l'équipe du pôle lors d'une saison chargée par exemple

→ L'impact foncier

| | *Scénario 1* | | *Scénario 2* | | *Poids* | *Observations* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Note | Résultat pondéré | Note | Résultat pondéré | | |
| *Impact financier* | 52 | 2080 | 55 | 2200 | 40 | Les notes sont calculées comme expliqué |
| *Environnement* | 40 | 1000 | 60 | 1500 | 25 | On considère que les transports offrent une image environnementale. L'énergie consommée est aussi prise en compte. |
| *Réduction des contraintes opérationnelle* | 85 | 1700 | 25 | 500 | 20 | Ce sont les contraintes opérationnelles en interne qui sont prises en compte. |
| *Impact foncier* | 100 | 1500 | 65 | 975 | 15 | / |
| *Total* | **62,8** | / 100 | **51,8** | / 100 | /100 | |

*Tableau 15 : Tableau d'analyse multicritère*

Le scénario 1 obtient une note de 63 contre 52 pour le scénario 2.

D'après cette analyse multicritère, il serait donc judicieux de choisir le scénario 1. Cette analyse confirme le choix du scénario 1.

## 4) Voies d'amélioration

### A. Sondes Vilokan

Lors de la venue de l'entreprise Vilokan à CDG (brièvement présentée dans la partie III), l'usine de pré-concentration n'a pas été retenue. Cependant, une sonde a été présentée et semble intéressante pour améliorer la collecte des effluents.

- *Principe*

La sonde *Sensotech* est une sonde qui mesure instantanément la concentration de glycol dans l'effluent et pilote une vanne aval. Sur la **figure 19** est présenté un schéma de principe :

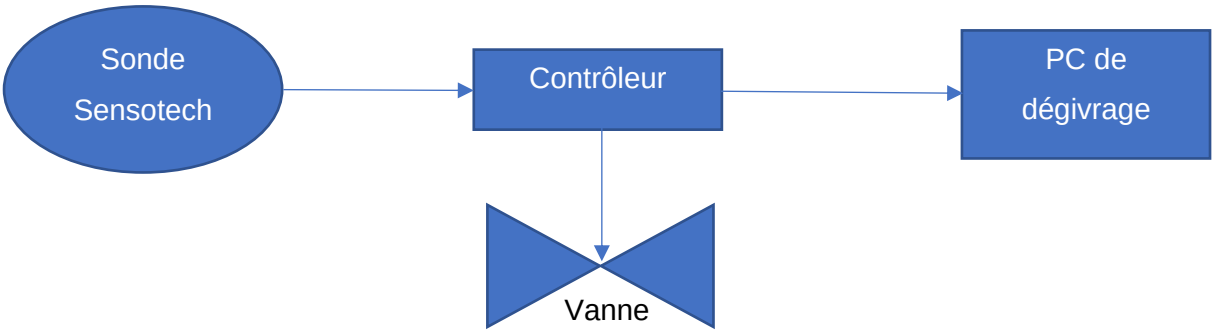



***Figure 19 : Schéma de principe de la sonde sensotech***

La sonde mesure la concentration de glycol par ultrason. L'information est envoyée au *Contrôleur*, un boîtier faisant l'interface entre l'opérateur et la sonde, sur lequel on peut définir la concentration de glycol que l'on souhaite dans le BRE. Le contrôleur est aussi relié au PC de dégivrage ou à une personne responsable des baies pour vérifier les informations. Enfin, le contrôleur est en mesure de piloter la vanne en fonction de la concentration mesurée.

- *Avis*

Cette solution a l'avantage d'être mis en place rapidement. Il est possible de mettre les sondes dans les chambres à vanne des BRE en amont des vannes. Peu de travaux sont donc à prévoir et les sondes sont vendues clé-en-main.

- *Coûts des sondes*

A titre indicatif, les sondes sont au prix de 15 000€. Une aide de l'Agence de l'Eau peut être demandée dans la catégorie : "*Amélioration de la collecte des effluents"* à hauteur de 30 %.

Le prix des sondes revient donc à 10 500€.

- *Mise en place*

En premier lieu, une sonde devra équiper un seul bassin, utilisé comme bassin test, pour avoir une première expérience. On pourrait penser au BRE du seuil 08 car il est l'unique bassin pour les baies de dégivrage du même seuil. Cela permet d'acheter une sonde (à l'inverse des seuils composés de plusieurs petits BRE).

Si un retour positif est observé, tant au point de vue de la concentration de glycol dans les BRE qu'au point de vue de la pollution dans les EP, plusieurs sondes pourront être achetées pour équiper les BRE de la plateforme.

## B. Sujets à approfondir

Un recyclage des effluents paraît être la meilleure solution du point de vue environnemental. Cependant, une rapide étude fait par l'entreprise Vilokan a conclu que les effluents de l'aéroport étaient trop peu concentrés pour construire une usine viable.

L'un des points à approfondir serait la construction de cette usine hors site. En créant un partenariat avec les aéroports d'Orly et Le Bourget, il pourrait être possible de les pré-concentrer et de les recycler. Le partenariat apporterait une augmentation des concentrations puisque tous les effluents seraient rassemblés.

En revanche, pour que cela fonctionne, il faut que les trois aéroports utilisent les mêmes procédés de récupération des effluents. D'importants travaux seront don à envisager dans chacun des aéroports.

# Conclusion et amélioration

Mon Travail de Fin d'Etude portait sur l'optimisation du traitement des effluents glycolés. C'est un projet combinant le traitement des déchets mais aussi de l'eau.

L'étude s'est portée sur 3 axes principaux :

- Le diagnostic des installations et de la production du déchet (prix, quantités produites, concentration)
- Un état des lieux des solutions et techniques existantes
- Un dégagement de deux solutions pertinentes et adaptées à l'aéroport.

Après avoir analysé le déchet, des hypothèses en sont ressorties pour affiner la compréhension du sujet.

Le travail bibliographique a permis de trier les nombreuses techniques disponibles pour n'en sélectionner que les plus adaptées au sujet.

Il est primordial d'équiper les bassins avec des instruments de mesure de COT pour savoir où envoyer quel effluent et faire de la ségrégation de pollution.

Deux solutions sont apparues comme les plus pertinentes. Le scénario 1 qui envoie les effluents peu concentrés à la station d'épuration la plus proche semble être un bon compromis entre le coût de traitement et l'image environnementale. Le manque d'information pose problème et nous empêche de savoir si cette solution pourra être menée à terme. Si ce scénario est possible, une économie annuelle de 18,5% pourra être réalisée. Il évite les contraintes opérationnelles du FAGA par exemple. De plus, aucun investissement de départ n'est nécessaire. L'économie du traitement se fait donc rapidement. Le scénario 2, qui comporte la construction d'un FAGA sur site, nécessite plus de gestion formant plus de contraintes opérationnelles pour les équipes. Bien que cette solution soit efficace, un investissement d'environ 3 M€ est nécessaire. Le retour sur investissement ne se fera qu'au bout de 6,5 ans.

L'étude a été réalisée dans un contexte de restructuration. En effet, l'aéroport compte de grands projets qui vont voir le jour prochainement :

- CDG 2020 : une restructuration totale de l'aéroport, de sa hiérarchie. Les aires de trafic ne seront plus les même et le pôle VH en est impacté par les voies à déneiger. Le dégivrage

ne sera pas impacté. Cette restructuration doit voir le jour, comme son nom l'indique, en 2020.

- Le terminal 4 : la construction d'un nouveau terminal impacte fortement l'aéroport et le pôle VH. En effet, les installations seront déplacées mais surtout, pour faire face à une augmentation de trafic importante, de nouvelles aires de dégivrage seront construite. Il est important de prendre cela en compte pour la suite. On peut notamment, profiter des travaux pour y inclure la construction du FAGA. Ce projet doit voir le jour normalement en 2024
- Le Grand Paris : dans le cadre de l'organisation des JO à Paris en 2024, le Groupe ADP et la SNCF prévoient des travaux de grande envergure pour améliorer le transport de l'aéroport jusqu'à Paris. La plateforme sera alors impactée par ces travaux. Ces derniers doivent être terminés pour 2024.

Il faudra prendre en compte tous ces nouveaux éléments dans la mise en place des solutions. La référence de 7 000t d'effluents à traiter a été prise volontairement haute pour inclure ces nouveaux changements. L'étude d'impact de tous ces travaux demeurent impossibles pour le moment, trop peu d'informations et de données sont accessibles.

# Glossaire

*Aires aéronautiques* : Le côté de l'aéroport en zone réservée où tous les avions sont situés et évoluent. Cela comprend les pistes d'atterrissage et de décollage, les voies de circulation avion et les point de parking avions.

*COT* : Carbone Organique Total. Quantité de carbone dans l'eau présente dans la matière organique sous forme dissoute.

*Contamination* : toute forme de dépôt solide susceptible d'altérer au profile aérodynamique d'un aéronef comme le givre, la neige, le slush ou la glace.

*$DBO_5$* : Demande Biologique en Oxygène en 5 jours. La $DBO_5$ représente la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes dans l'eau. C'est un indicateur important de pollution dans le traitement de l'eau.

*DCO* : Demande Chimique en Oxygène. La DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader la matière organique. Elle représente tout ce qui est susceptible de consommer de l'oxygène dans l'eau. C'est un indicateur de pollution important dans le traitement de l'eau.

*Milieu aérobie* : milieu dans lequel la présence d'air est nécessaire au développement des êtres vivants.

*QFU* : configuration est / ouest du décollage / atterrissage en fonction du sens du vent. La circulation sur les voies change.

*Servitudes* : les servitudes d'un avion définissent une enveloppe virtuelle de sécurité autour de l'aéronef permettant à tous les opérateurs de se mettre en sécurité lorsqu'ils la respectent.

# Bibliographie

ACRP (Airport Cooperative Research Programm). *Report 99*. **Guidance for Treatment of Airport Stormwater Containing Deicers**. Washington, D.C, 2013. 96p.

AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE. **Les aides financières destinées aux entreprises**. *10e Programme 2013 -> 2018*. Ministère de la transition écologique et solidaire. 2013.

AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE – CCIT DE TROYES ET DE L'AUBE. **L'eau et votre entreprise**. *Les rejets d'eaux usées*. Fiche n°4. Novembre 2009.

ASSEMBLEE DES CHAMBRES FRANCAISES DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE. **Classification des déchets, Code de l'environnement, Partie réglementaire, Livre V, Titre IV, Chapitre Ier, Section1, Sous-section 2**. Novembre 2011 [en ligne]. [Consulté le 14/09/2018] https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/nomenclature_dechets.pdf

BERLAND JEAN-MARC. **Traitement des eaux résiduaires des agglomérations-Filière extensives**. *Techniques de l'ingénieur,* Février 2014, C5223 V1, 32p.

BOIS P. – LAURENT J. **Panorama des procédés de traitement biologique des eaux usées**. Strasbourg, ENGEES, Décembre 2015. 45p.

FRANCE. **Code de l'environnement. Partie réglementaire, Livre II, Titre Ier, Chapitre IV, Section 1, Sous-section 1, Article R214-1**. [en ligne]. [Consulté le 14/092018] https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000018440419&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20100305&oldAction=rechCodeArticle

GROUPE ADP. **Document de référence et rapport financier annuel 2017**. 2017.

LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS ET CHAUSSEES DE LILLE - STAC (Service Technique de l'Aviation Civile) DIVISION ENVIRONNEMENT. **Etude des Impacts environnementaux et sanitaires des dégivrants, des déverglaçants et de leurs additifs utilisés sur les plates-formes aéroportuaires**. *Rapport d'étude*. Ministère des transports, de l'équipement, du Tourisme et de la Mer. Décembre 2006. 52p.

LROP (Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien). **Etude sur l'optimisation des processus physico-chimiques et biologiques de dégradation des produits de viabilité hivernale**. Trappes en Yvelines, DGAC, Juin 2008. 43p.

NATIONS UNIES. **Système général harmonié de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH)**. *Première édition révisée.* New York et Genève, 2005. Partie 4 : Dangers pour l'environnement, page 227. ISBN 92-1-216480-3

SIAAP (Service public de l'assainissement Francilien). **Usine d'épuration Marne aval**. *Fiches Usines.* 2013.

SERVICE TECHNIQUE DES BASES AERIENNES (STAB). **Eau et Aéroport**. *Conception et dimensionnement des réseaux de drainage des aérodromes*. Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement. 2000. Les différentes formes d'atteinte, chapitre 2 : Pollution des eaux de ruissellement, p.16. ISBN 2-11-091539-0.

SUEZ. **Retour d'exploitation annuel**. *Période hivernale 2016-2017, STEP d'ADP Orly*. Suez le Lyre. Juin 2017. 23p

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Diplôme(s) : Ingénieur de l'ENGEES**

**Spécialité : Certificat d'Etude Supérieure : Master spécialisé GEDE option Déchets Industriels à l'ENSMN**

**Auteur : Alexandra MARRAUD DES GROTTES**

**2018**

**Titre : Optimisation du traitement des effluents glycolés sur la plateforme Aéroportuaire de Roissy-Charles de Gaulle**

**Nombre de pages texte : 65 annexes : 22**

**Nombre de références bibliographiques : 14**

**Structure d'accueil : Groupe ADP**

**Maître de stage : Michel LANDELLE**

**Résumé :**

La présente étude a pour but d'optimiser le traitement des effluents glycolés déjà mis en place sur la plateforme de Roissy-Charles de Gaulle.

L'étude se compose d'une analyse des déchets produits (effluents glycolés), d'une étude bibliographique pour sélectionner des solutions et d'une proposition de scénarios possibles.

Les deux scénarios retenus seront le raccordement à la station du Mesnil-Amelot et la construction d'un filtre à gravier aéré.

**Mots-clés :** Déchets, Aéroport, Dégivrage, Antigivrage, Effluents, Glycol, Optimisation, Retraitement, Filtre à Gravier Aéré, Eaux pluviales, COT, Charge Organique.