

POLITECNICO DI TORINO
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA GESTIONALE E DELLA PRODUZIONE

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale



Tesi di laurea

**Optimisation de la collecte des huiles alimentaires usagées et valorisation en
Biodiesel**

RELATORE

Prof. Salvatore Manco'

LAUREANDO

Alessandro Rosati

A.A 2017/2018

INDEX

1-	<i>INTRODUCTION</i>	1
2-	<i>VEOLIA ENVIRONNEMENT</i>	2
	2.1- SARP INDUSTRIES	3
	2.2- PRESENTATION & HISTOIRE DE DIESELIX.....	5
	2.3- HISTOIRE DE DIESELIX	5
3-	<i>ANALYSE DU MARCHE BIODIESEL</i>	7
	3.1- LA NAISSANCE D'USINES DE DEUXIEME GENERATION.....	10
	3.2- INFLUENCE NORMATIVE EUROPEENE	10
	3.2.1 - INFLUENCE NORMATIF NATIONAL EN FRANCE	10
	3.3- UN NOUVEAU MARCHE POUR DIESELIX	11
4-	<i>ACTIVITES DE DIESELIX</i>	13
	4.1- COLLECTE HAU (Huiles alimentaires usagées)	13
	4.2- PROCEDE DE VALORISATION EN BIODIESEL	16
5-	<i>DES HUILES ALIMENTAIRES USAGEES JUSQ'A LE BIODIESEL</i>	20
	5.1- QU'EST-CE QU'UNE HUILE ?.....	20
	5.2- PRODUCTION ET CONSOMMATION D'HUILE	20
	5.3- BIO DIESEL	21
6-	<i>PRODUCTION DE BIODIESEL CHEZ DIESELIX</i>	23
	6.1- PRESENTATION DU PROCEDE	23
	6.1.1- RECUPERATION DU METHANOL	28
	6.1.2- MINIMISATION DES DECHETS.....	30
	6.1.3- QUALITE ET COUT DE PRODUCTION DU BIODIESEL: B100 & B8.....	30
7-	<i>ETUDE RELATIONS ENTRE VARIABLE DE PRODUCTION</i>	36
	7.1- MATRICE DE CORRELATION ENTRE LES VARIABLES DE PRODUCTION	37
8-	<i>PARAMETRES REACTION ESTERIFICATION</i>	42
	8.1- RELATION ACIDE SULFURIQUE & NIVEAU FFA INITIAL.....	45
	8.1.2- B100: RELATION H2SO4 INJECTEE & FFA INITIAL	45
	8.1.3- B8 : RELATION H2SO4 INJECTEE & FFA INITIAL	49
	8.1.4- CONCLUSIONS & MODIFICATIONS DANS LA PRODUCTION	53
	SUGGESTION POUR LA PRODUCTION.....	55
	8.2- RELATION AVEC LE TIMING D'ESTERIFICATION.....	56
9-	<i>PARAMETRES REACTION TRANSESTERIFICATION</i>	60
	9.1- RELATION QUANTITE DE KOME & FFA INITIAL	62
	9.1.2- B8 : RELATION KOME & FFA INITIAL	64

9.2- RELATION KOH & MEOH	65
9.3- CONCLUSIONS & MODIFICATIONS DANS LA PRODUCTION.....	66
10- <i>ANALYSE RENDEMENT BIODIESEL</i>	70
10.1- ANALYSE RENDEMENT QUALITE B 100.....	70
10.1.1 CONCLUSIONS RENDEMENT B100	73
10.2- ANALYSE RENDEMENT QUALITE B8.....	73
10.2.1 CONCLUSIONS RENDEMENT B8	75
11- <i>PRESENTATION PROJECT POMPE EMBARQUEE</i>	76
11.1- PROBLEMATIQUES TECHNIQUES SKID ACTUEL.....	76
11.1.2 - BESOINS CHAFFEUR	79
11.1.3- CHOIX PRELIMINAIRE	84
12- <i>LISTE DU MATERIEL SKID DE POMPAGE</i>	86
13- <i>ANALYSE DES COMPOSANTS PRINCIPAUX</i>	88
13.1- MOTO POMPE	88
13.2- GROUPE ELECTROGENE	91
13.3- ENROULEUR ELECTRIQUE.....	94
14- <i>MAINTENANCE DU SKID DE POMPAGE</i>	97
15- <i>DISPOSITION DES COMPOSANTS</i>	98
16- <i>CHASSIS</i>	103
17- <i>TUYAUTERIE</i>	106
18- <i>MESURES DE PRECAUTION SUPPLEMENTAIRES</i>	110
19- <i>ANALYSE ELECTRIQUE & COMMANDE</i>	111
19.1- SCHEMA CABLAGE GENERAL.....	115
19.2- COMPOSITION BOITE ELECTRIQUE	115
20- <i>BUDGET</i>	119
21- <i>STRATEGIE ECONOMIQUE</i>	121
22- <i>RETOUR SUR INVESTISSEMENT</i>	128
22.1- COUT LAVAGE FUT VS IBC	134
22.2- MAINTENANCE ET DEPANNAGE.....	138
23- <i>CALCUL RETOUR SUR INVESTISSEMENT DEUX CAS</i>	143
23.1- RETOUR SUR INVESTISSEMENT PREMIER CAS AS IS (1).....	143
23.2- RETOUR SUR INVESTISSEMENT DEUXIEME CAS AS IS (2).....	146
24- <i>CONCLUSIONS ET POSSIBLES AMELIORATIONS</i>	149
25- <i>MODE D'EMPLOI</i>	152
<i>Bibliografia</i>	157

1- INTRODUCTION

Mon essai de fin d'étude a été réalisé en collaboration avec l'usine SARP INDUSTRIES filiale du colosse VEOLIA qui compte de 300 000 salariés dans les 5 continents où j'ai été hôte pour 7 mois.

L'établissement où j'ai réalisé ma première expérience de travail est l'établissement productif de biodiesel situé à Limay Porcheville (78200) située à 60 Kilomètres à Nord de Paris.

Dans mon essai on verra que j'ai conduit deux projets en parallèle qui regardent le Core business de l'usine où j'ai travaillé qui s'appelle DIELIX : société au sein de SARP INDUSTRIES effectuant la collecte des huiles alimentaires usagées et par conséquent la valorisation en biodiesel dans l'établissement de Porcheville.

Tout d'abord avant de commencer à parler des thèmes de mon essai je pense qu'il soit nécessaire de présenter brièvement l'usine et le groupe dont elle appartient, le marché et le secteur du biodiesel en comprenant bien les influences normatives qui ont accéléré et amené à la création des nouveaux scénarios et opportunités de business.

2- VEOLIA ENVIRONNEMENT

Veolia (autrefois Veolia Environnement, Vivendi Environnement et précédemment Compagnie générale des eaux) est une multinationale française, chef de file mondial des services collectifs. Veolia propose à ses clients, collectivités locales et entreprises, une expertise dans trois domaines qui sont complémentaires : gestion du cycle de l'eau, gestion et valorisation des déchets et gestion de l'énergie.

L'entreprise est actuellement cotée à la bourse de Paris et était aussi cotée à la bourse de New York jusqu'à son retrait volontaire en 2014.

Veolia actuellement emploie plus de 300 000 salariés sur les cinq continents.

ORGANISATION VEOLIA

L'organisation de cette multinationale peut être divisée dans le suivant moyenne :



Figura 1: Structure interne de Veolia

On peut donc noter que les secteurs avec plus de revenus sont ceux dans lesquels la multinationale se positionne respectivement comme première et deuxième au monde c'est à dire dans le secteur de l'eau et de la gestion des déchets qui s'appelle aussi Veolia propreté.

Veolia propreté s'occupe principalement du recyclage et de la valorisation des déchets. Il y a plusieurs matières qui sont traitées dans ce contexte : PSE (polystyrène expansé), DEEE (Déchets d'équipements électriques et électroniques), déchets dangereux, DASTRI, amiante, bois, métaux ferreux et non ferreux, papier et cartons, bio déchet.

Spécialiste dans le traitement et valorisation des déchets spéciaux il y a la division de Veolia propreté/environnemental services sous l'entité Sarp industries.

2.1- SARP INDUSTRIES

Sarp industries fait partie du groupe Veolia et représente la première référence européenne des solutions pour déchets spéciaux.

Dans plusieurs sites (68 dans le 2015) répartis en France, en Europe et à travers le monde SARPI accompagne les industriels pour le traitement de leurs déchets.

Cette filiale de Veolia s'est affirmée pendant les années pour la qualité de ses traitements et le respect rigoureux de l'environnement. Ses caractéristiques ont permis à Sarpi de se poser comme leader européenne pour le traitement et valorisation des déchets industriels dangereux.

Depuis 1975, SARPI a traité plus de 35 millions de tonnes de matières dangereuses.

LES MISSIONS DE SARPI

La première mission est de proposer une solution durable pour maîtriser les risques environnementaux et sanitaires liés aux déchets spéciaux.

SARPI cherche à donner une solution pour chaque typologie de risque (toxique, corrosif, inflammable). L'usine a toujours eu des convictions environnementales fortes et pour le développer

Depuis 1975, il y a eu le traitement de plus de 35 millions de tonnes de matières dangereuses chez Sarpi.

La deuxième mission de Sarpi est de concilier traitement et valorisation des déchets spéciaux.

Pour faire ça il faut traiter, confiner et tracer la charge polluante résiduelle de chaque type de déchet afin d'éviter des dispersions dans l'environnement. Après avoir fait ça SARPI s'engage à extraire et recycler la partie valorisable du déchet grâce au développement de nouvelles filières et à l'optimisation des procès afin de préserver les ressources naturelles et les matières premières.

Pour réussir SARPI a trois engagements fondamentaux :

- Non dilution: aucun déchet n'est mélangé avant d'être orienté vers une filière de traitement.
- Décontamination: Les procédés de traitement ont toujours une étape afin de séparer et traiter la partie polluante
- Traçabilité : tous les déchets sont tracés à chaque étape de traitement.

INSTITUTIONS DE SARPI

Déchets ou pollution à caractériser SARPI propose à ses clients une activité d'indentification et sécurisation

Déchets chimiques liés aux activités de laboratoire

Déchets médicaux des centres hospitaliers

Sites orphelins et déchets abandonnés

Chantiers complexes à l'étranger

Déchets pyrotechniques

Interventions en milieu radioactif

Déchets portuaires et des navires

Huiles moteurs usagées

Huiles alimentaires usagées (HAU) → DIELIX

2.2- PRESENTATION & HISTOIRE DE DIELIX

Dans le domaine de traitement et valorisation des huiles alimentaire usagées (HAU) qui est un des principales institutions de SARPI se pose DIELIX.

Donc DIELIX assure au seine de SARPI la collecte des HAU et leur valorisation en Biodiesel. La Société se compose de 50 employées et l'établissement de production est situé à Limay Porcheville 78200.

C'est une de première usine de production du biodiesel de deuxième génération. C'est à dire que le biodiesel n'est pas produit à partir des huiles vierges mais à partir des huiles alimentaires usagées. Dans l'établissement on produit du biodiesel qui est uniquement constitué d'esters méthyliques d'huiles usagées (EMHU ou en anglais FAME).

Production 2017 :

DIELIX 2017	
Chiffre d' affaires	20,30 M€
Tonnage huiles collectées	12061 tonnes
Tonnage EMHU produit	20089 tonnes

Figura 2 : Chiffres d'affaires et tonnes de HAU collectées par Dielix

2.3- HISTOIRE DE DIELIX

- 2005 : Après plusieurs années de recherche et développement, Sarp industries dépose sa candidature auprès du ministère de l'agriculture et de la pêche dans le cadre de projets de production de biocarburant sur le territoire français. Le projet concerne l'installation d'une usine avec une capacité productive de 80 000 tonnes de biodiesel par an à construire sur le port de Limay Porcheville (78200)
- 2006 : Le gouvernement accepte le projet de SARPI qui obtient son agreement d'unité de production de Biocarburant

- 2008 : La préfecture des Yvelines valide l'arrêté Préfectoral d'autorisation
- 2009 : Après 18 mois de travaux ou Sarpi assurait la mise en œuvre de l'établissement productif l'usine obtient de la part de la direction général des douanes l'autorisation d'exploiter sous le régime de l'entrepôt fiscal de produit énergétiques(EFPE)
- 2016 : La société Eco gras (Group Sarp/ Veolia Propreté) qui assurent la collecte des huiles usagées par toute la France et Sarp Biocarburant qui en valorise la transformation en biodiesel sont regroupées pour former une seule entité : DIELIX.

Donc on peut voir le schéma définitif ci-dessous pour mieux comprendre ou DIELIX se place à l'intérieur de Sarpi Industries qui à son tour se place à l'intérieur du colosse Veolia.

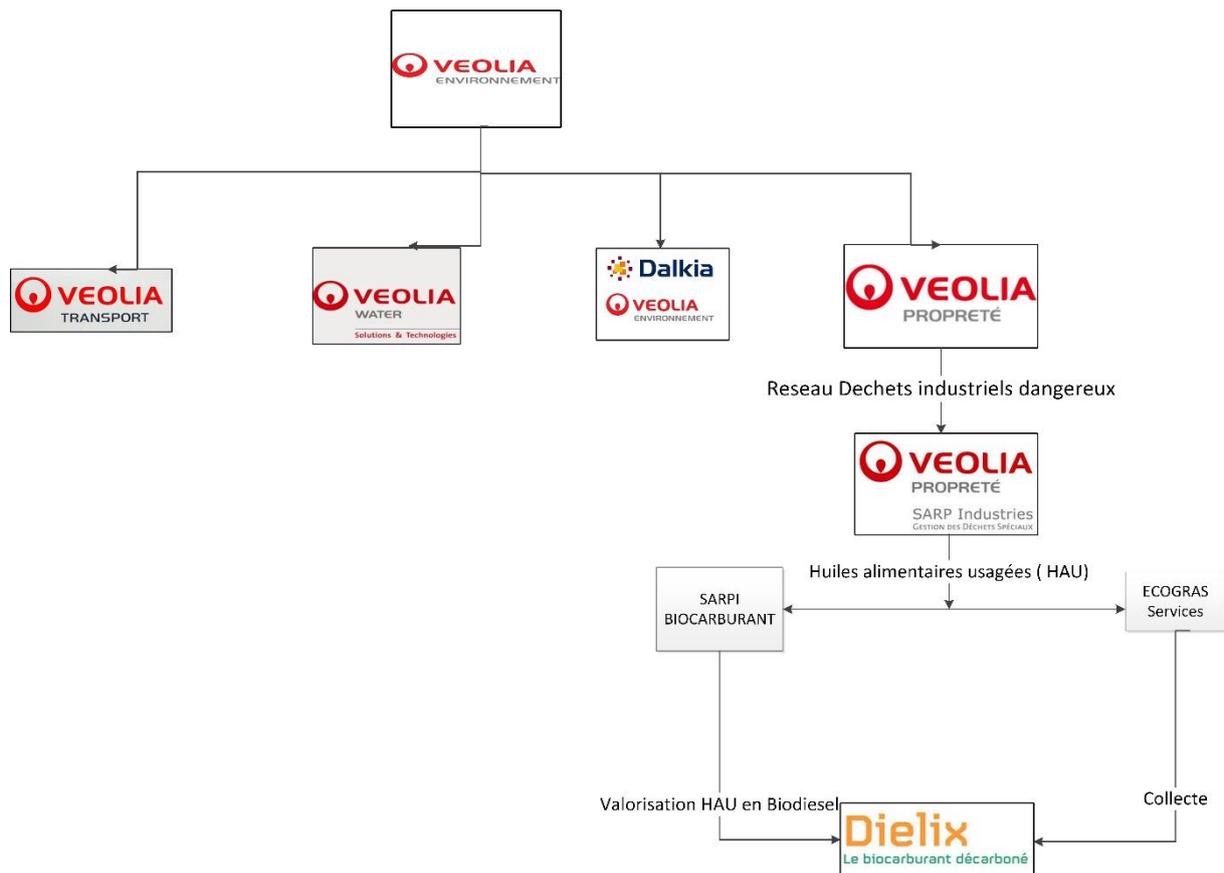


Figura 3 : Positionnement de Dielix au sein du Groupe Veolia

3- ANALYSE DU MARCHE BIODIESEL

La norme qui spécifie les requis et les paramètres du biodiesel à utiliser seul ou mélangé avec du gazole est l'EN14214 publié en 2003. Dans ce cas on ne parle pas de Biodiesel mais on parle spécifiquement de FAME (acronyme anglais de Fatty acid methyl esters) c'est-à-dire biodiesel produit en utilisant le méthanol comme réactif.

L'Europe est le plus grand consommateur et producteur de Biodiesel dans le monde entier et toutes les transactions commerciales se basent sur la normatif EN14214.

En 2010 la production a été de 10 millions de tonnes et c'est incroyable si on pense que au début des années 2000, elle était inférieure à 1 millions de tonnes. Donc la croissance du secteur a été très rapide.

Dans le graphique que je vais présenter ci-dessous on peut voir comment la croissance de production de biodiesel a augmenté jusqu'à le 2011 pour avoir un petit point de flexion.

On peut voir ceux qui sont les pays plus actifs dans ce secteur : France et Allemagne surtout, à suivre l'Espagne et Italie.

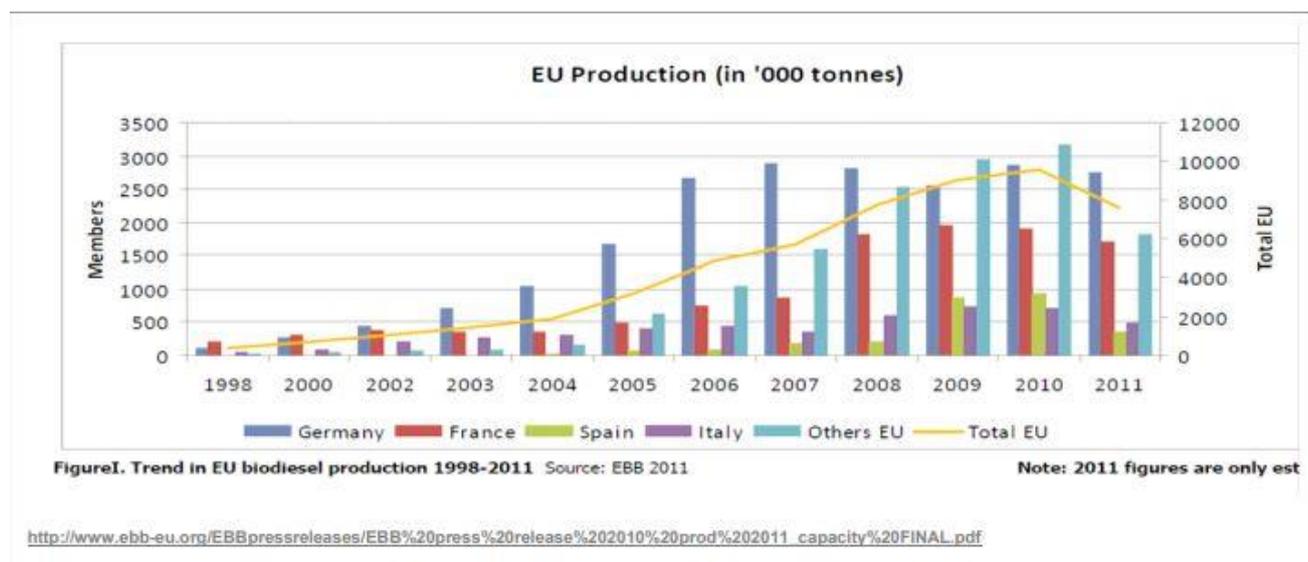


Figura 4 : Production de biodiesel en Europe de 1998 à 2011

Le développement du secteur a été naturellement lié aux actions législatives européennes de diminution de gaz à effet de serre et de diversification des sources énergétiques. Dans ce cadre il est important de nommer plusieurs directives européennes qui ont pour objectif de stimuler l'utilisation des biocarburants ou des autres carburants renouvelables dans le secteur du transport. La commission européenne a commandé au CEN le mandat pour poursuivre une augmentation de la consommation de biodiesel. Dans les dernières actions du CEN il y a la révision de la spécification technique EN 590 qui concerne le gazole à injecter dans le moteur à diesel qui a étendu le pourcentage de volume de biodiesel à mélanger avec le gazole de 7 à 10%.

La croissance et le développement de ce secteur au niveau nationale et européenne est partiellement freinée par :

- 1) Les constructeurs de voiture ou moment ou développer des moteurs qui peuvent permettre une concentration de biodiesel plus haut est trop coûteux.
- 2) Concurrence des produits extra européens ou la matière première est beaucoup moins chère et ça permet aux producteurs extra UE d'accéder au marché global avec des prix très compétitifs mais on attend quand même une relance avec des mesures réglementaires qui auront le but de favoriser la filière nationale et européenne

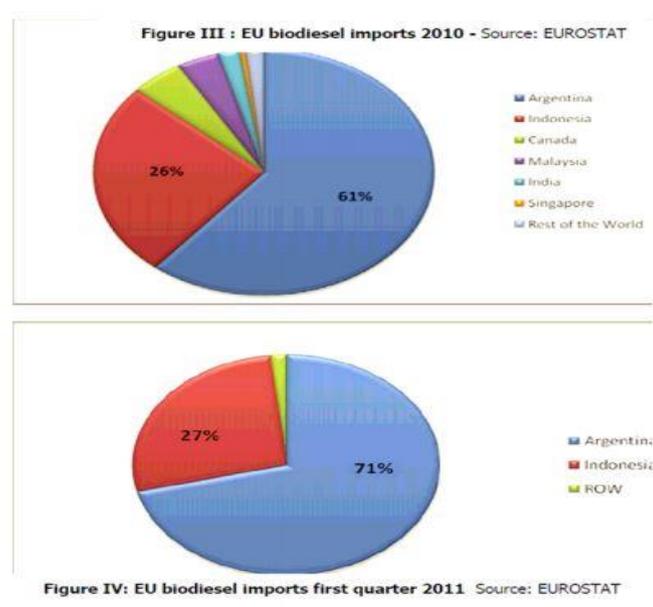


Figura 5 : Importation de biodiesel en Europe

Comme on peut noter immédiatement du graphique, l'importation de biocarburant par des pays extra européens est assez haut : l'Argentine surtout et à suivre l'Indonésie se présentent comme le premier exportateur de biodiesel.

NOUVELLES PROBLEMATIQUES DU DEVELOPPEMENT DU BIODIESEL

En 2012 il y a eu la révision de la norme EN 14214 parce qu'il y a eu des problèmes relatifs à la formation des précipités et donc à la filtrabilité du carburant. Cette problématique c'est passée dans plusieurs pays européens où la loi a établi un croissant pourcentage de biodiesel à mélanger avec le gazole. Mais à cause des températures qui restent basses en effet les experts ont vu la formation d'un précipité qui peut obstruer le filtre de la voiture à gazole. Ces précipités ont été causés par la présence de mono glycérides saturés présent dans le biodiesel normalement avec une limite maximale du 0,7% en masse.

Temporairement il y a eu la réintroduction des requis saisonniers du biodiesel en mélange avec le gazole. Il y a eu aussi l'addition des indicateurs qui concernent le niveau de mono glycéride saturé. La norme distingue entre l'utilisation du biodiesel à la concentration du 100% (B100) comme gazole de traction et son mélange avec le gazole. Il y a eu l'introduction d'un tableau avec l'indication des gradations saisonnières à fixer au niveau national, les pays doivent indiquer des classes climatiques fondées sur :

- Cloud point : point de trouble
- Température et limite de filtrabilité
- Niveau de mono glycérides total

Actuellement il y a eu aussi l'introduction au-delà du niveau des mono glycérides acceptable la stabilité oxydative. La stabilité oxydative est une mesure de l'influence de l'air sur le biodiesel. En effet à cause de sa composition le FAME est sujet à dégradation oxydative, la limite qui est de 8 heures peut être respectée grâce à l'utilisation d'antioxydants. Les antioxydants peuvent être présents à l'intérieur du FAME s'il n'y a pas de distillation pendant le procès.

3.1- LA NAISSANCE D'USINES DE DEUXIEME GENERATION

La naissance du marché des implantations de deuxième génération comme DIELIX nées pour la récupération des Huiles alimentaire usagées et la valorisation en biodiesel a été surement stimulé par des lois précises au niveau européenne mais surtout au niveau national français.

3.2- INFLUENCE NORMATIVE EUROPEENE

Aussi au niveau européen il y a eu des directives ou des règlements qui ont stimulé la naissance du marché de la valorisation des huiles usagées. On peut ici résumer les plus importants qui sont :

- Le règlement CE 1774/2002 qui interdit l'utilisation des huiles usagées pour l'alimentation des animaux
- CE 2008/98 qui concerne les déchets privilégie la prévention et la récupération des déchets
- Norme sur les sources renouvelables qui prévoit avant le 2020 d'utiliser le biocarburant dans la mesure du 10% du totale des carburants.

3.2.1 - INFLUENCE NORMATIF NATIONAL EN FRANCE

- La plus importante en France est celle qui affirme qu'un restaurateur qui détient plus de 60 kg des huiles alimentaire a l'obligation de la faire récupérer par une société sous agreement comme DIELIX, par exemple.

-Ensuite du côté des acheteurs de biodiesel il y a eu une loi très importante au niveau national dans laquelle tous les distributeurs de gazole étaient obligés de mélanger dans leur gazole au minimum le 0,35% du biodiesel obtenu à partir de certaines matières premières comme les huiles alimentaires usagées, graisses animales (catégories C1, C2), marcs de raisin, lies de vin, matières cellulosiques d'origine non alimentaire et matières ligne-cellulosiques.

Cette loi a été approuvée dans le but de diminuer l'émission de CO₂. En effet, le biodiesel produit avec des HAU est soumis au double comptage c'est-à-dire qu'on a deux fois moins d'émission pour créer du biodiesel de deuxième génération par rapport à celui qu'on peut obtenir avec la production de biodiesel en partant des huiles vierge (premier génération). Cette loi permis aussi aux acheteurs de biodiesel produit avec ces matières premières la minoration de la TGAP (taxe général sur les activités polluantes).

3.3- UN NOUVEAU MARCHÉ POUR DIESELIX

Donc on peut voir comme le besoins du côté de l'offre c'est à dire des restaurateurs qui étaient obligés de valoriser leur huiles alimentaires usagées a amené l'opportunité pour développer des établissements de deuxième génération pour en permettre la valorisation. La compétition dans le secteur du biodiesel a donc changé : à côté des producteurs de premiers génération il y a eu l'entrée de celui de deuxième comme DIESELIX.

DIESELIX peut proposer sur le marché un biodiesel plus cher mais produit avec des émissions beaucoup plus inférieure et ça donne des incitations fiscales pour le client qui achète ce type de biodiesel, par exemple la réduction de la taxe TGAP dont on vient de parler.

Pour mieux comprendre la position compétitive de DIESELIX dans le secteur, la force de la compétition et la force contractuelle des principaux agents dans la chaîne d'approvisionnement on peut amener une analyse des 5 forces de Porter qui est reporté ci-dessous :

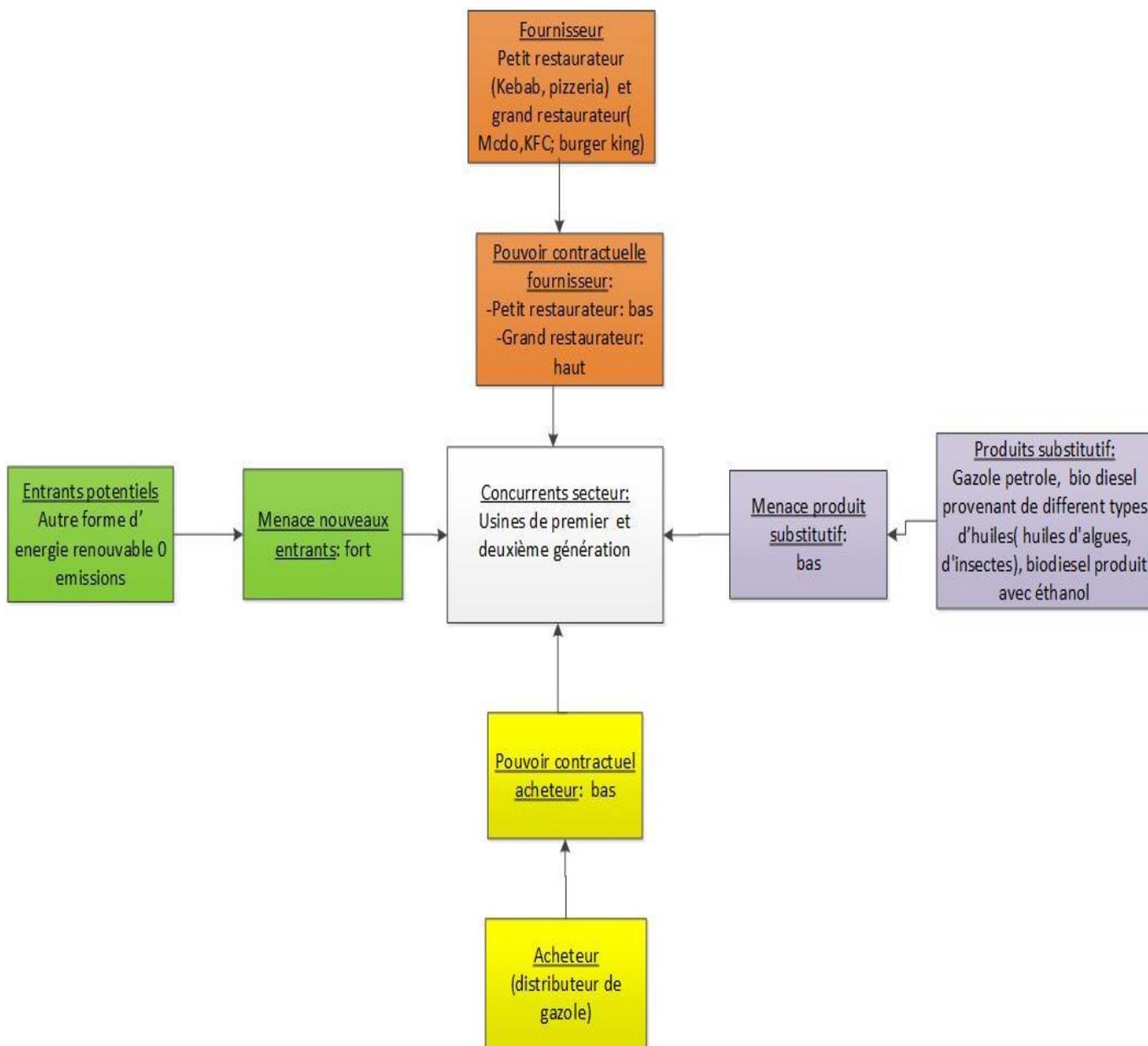


Figura 6 : Model des 5 efforts de Porter

4- ACTIVITES DE DIELIX

4.1- COLLECTE HAU (Huiles alimentaires usagées)

DIELIX assure la collecte des Huiles usagées chez le petit et grand restaurateur grâce à sa marque ECOGRAS service qui met à disposition sa flotte de 30 camions

En 2017 15000 clients ont fait confiance à DIELIX pour la collecte des huiles alimentaires usagées, ça a permis à l'entreprise de collecter plus de 12000 tonnes d'HAU en une année.

Les restaurateurs ont été stimulés ou parfois obligés de donner leurs huiles usagées à DIELIX ou à une autre usine de second génération après la loi qui affirmait qu'un restaurateur qui détient plus de 60 kg d'huiles est obligé de valoriser chez une société sous agrément.

On peut voir dans l'image suivante les principaux restaurateurs qui ont fait confiance sur DIELIX pour la collecte et valorisation de leurs huiles alimentaires usagées.



Figura 7 : Principaux clients de Dielix

Entre eux on peut noter qu'il y a des petits restaurateurs comme kebab, pizzeria mais aussi des grandes chaînes comme KFC Burger King, McDonald.

Dans ce cadre en ce qui concerne le producteur d'une grande quantité des huiles alimentaires on a vu la naissance d'un marché : En effet McDonald avec sa quantité énorme d'huiles usagées a créé une compétition entre les différentes usines de deuxième génération. Dans ce cas maintenant pour obtenir l'huile de MC do les usines doivent payer un prix et en échange McDonald paie le service de collecte ainsi il se crée un équilibre entre les deux transactions. Naturellement les huiles qui sont payées sont soumises à des analyses en entrée par le laboratoire car les huiles doivent respecter des paramètres établis. Au contraire pour le petit restaurateur DIELIX collecte gratuitement leurs huiles usagées. La traçabilité des HAU est assurée tout au long du processus de collecte.

La collecte chez les différents clients peut se passer à travers l'enlèvement des futs plein d'huiles alimentaires usagées ou bien clients qui font beaucoup de volumes d huiles comme par exemple McDonald, Burger King qui collecte les huiles directement dans des bassins ou des cuves à pomper. C'est possible aussi pomper les fûts qu'on collecte chez le client.

Donc il faut différencier ces deux cas parce que la collecte se passe différemment mais quand même la traçabilité des HAU est assurée tout au long du processus de collecte.

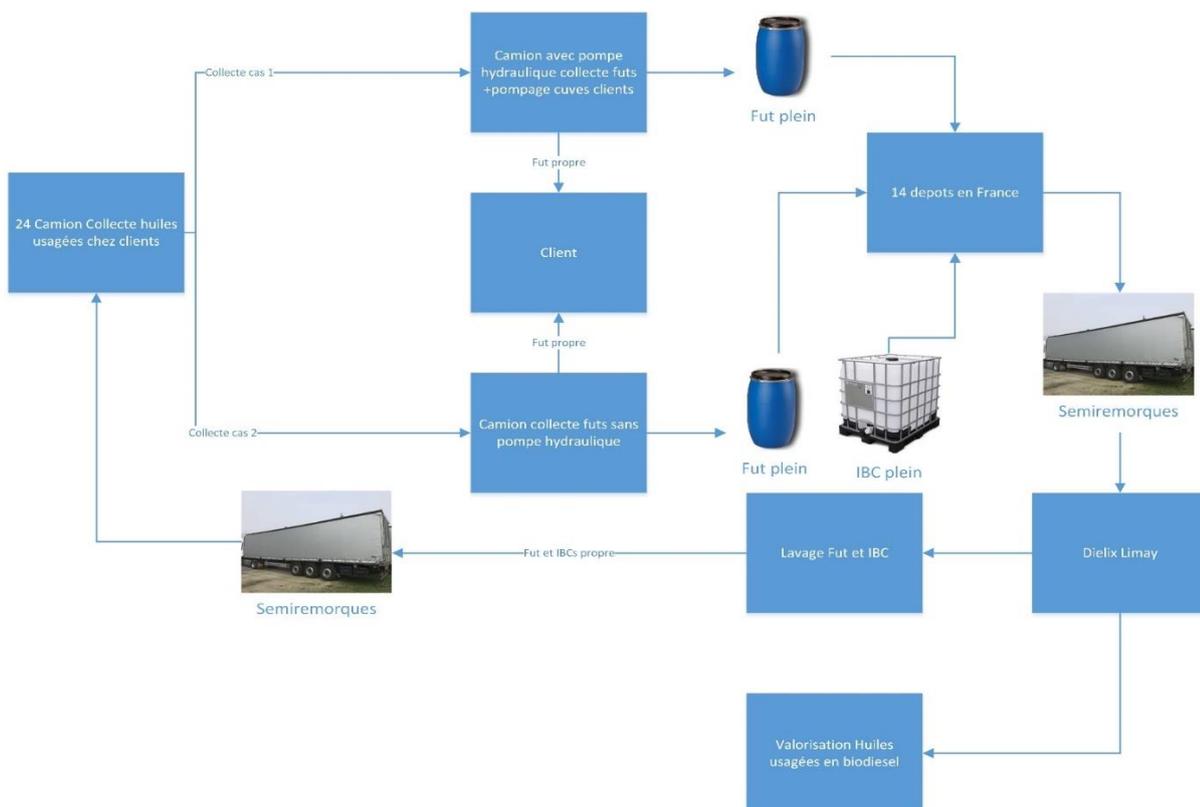


Figura 8: Rappresentazione schematica processo raccolta oli esausti alimentari

Cas 1) Collecte des fûts d'huiles alimentaires usagées se développe en plusieurs étapes :



Figura 9 : Fut de plastique capacité max 100 Litres

- 1) Dépose du fût propre chez le client
- 2) Enlèvement du fut plein
- 3) Traçage du déchet à travers des étiquettes qui sont attachées par le chauffeur à chaque fût
- 4) Transit jusqu'à l'usine de valorisation à Limay

Cas 2) Collecte à travers le pompage des huiles alimentaires usagées directement dans la cuve du client



Figura 10 : IBC/cuve capacité max 1100 litres

- 1) Les camions dotés d'un système de pompage embarqué branchent directement sur la cuve du client et remplit les cuves de 1100 litres placées dans le camion
- 2) Après avoir pompé les huiles dans une ou plusieurs cuves il y a le traçage du déchet collecté à travers des étiquettes qui sont attachées à chaque cuves.
- 3) Transit jusqu'à l'usine de valorisation à Limay

La collecte se passe dans toute la France du Nord et du sud à travers 14 dépôts où arrivent les camions pour décharger les cuves ou les fûts d'huile collectés qui après seront chargés sur des semi-remorque ou pompés directement dans de citerne de 30 m³ qui partent en direction de l'établissement de valorisation de Limay.

Les 14 dépôts sont situés à : Strasbourg, Metz, Limay, Bonneuil, Grain court, Asnières, Caen, Nantes, Bordeaux, Lyon, Limoges, Toulouse, Montpellier, Dijon.

Pour donner des chiffres de la collecte de 2017 :

Collecte 2017	Nombre
Futs collectés	71863
Cuves pompées	4979

Figura 11 : Données collecte 2017

Au-delà de la collecte qui amène plus de 12000 tonnes d'HAU par an, DIELIX achète des huiles alimentaires aussi chez des autres collecteurs ou fournisseurs comme par exemple ADM, Ecoleum, Oleo recycling, Sarp industries , Valoleique, Olivet, Echalièr , collecto'leo.

4.2- PROCEDE DE VALORISATION EN BIODIESEL

L'unité de production de Biodiesel située à Limay (78200) est autorisée à traiter jusqu'à 80 000 tonnes de matières premières grasses. Actuellement les matières premières utilisées pour l'élaboration du biodiesel sont uniquement les huiles alimentaires usagées.

L'Usine est située à l'Ouest de Paris, sur les bords de la seine, à proximité de l'usine de traitement de déchets dangereux de Sarp industries. Les deux sites cote à cote sont en symbiose dans un model écologique. En effet tout l'ensemble d'énergie thermique nécessaire pour valoriser les HAU dérive du système de refroidissement des fumées des fours d'incinération des déchets dangereux. De cette façon cette usine de deuxième génération n'a besoin d'aucune énergie fossile pour fonctionner et le déchet du procédé sont directement traité chez Sarpi.



Figura 12 : Photo panoramique port de Porcheville

Comme on peut noter sur la photo, le positionnement de l'usine en face de la seine a été étudié pour réduire l'impact écologique à travers le développement du transport fluvial en permettant moins d'émission de gaz à effet de serre. En effet il y a beaucoup client qui arrive directement en bateaux à l'usine et charge directement le biodiesel.

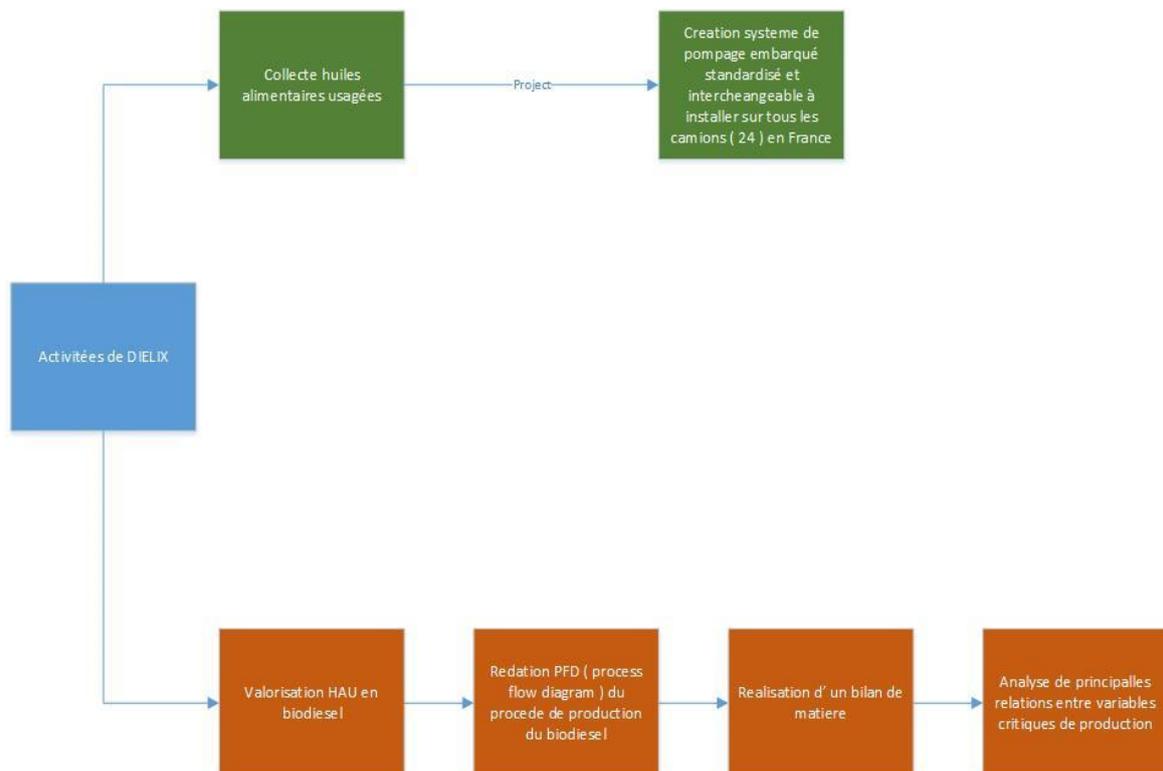


Figura 13: Projects conduits au sein des principales activités de Dielix

Donc à l'intérieur de l'entreprise j'ai travaillé dans les deux domaines d'activités principales de DIELIX qui constitue son core business.

Dans une cote pour ce qui concerne la première activité de DIELIX c'est-à-dire la collecte des HAU (huiles usagées) pour l'optimiser sous un point de vue de disposition du système de pompage embarquée sur le camion la société m'a demandé de réaliser en toute indépendance un système de pompage standardisé et interchangeable complètement détaché du camion. Dans cette façon en créant un système de pompage embarquée on réussit à éviter l'indisposition du système de pompage soit à cause de l'indisposition des camions pour des problèmes de maintenance ou de non fonctionnement soit pour l'indisposition du système de pompage lui-même. Les autres avantages de ce système de pompage qu'on veut installer sur tous les camions de collecte (24) qu'on a en France permet aussi de pomper les futs dans les IBCs et comme le coût du lavage des IBCs est inférieur à celui des futs on aura des avantages aussi au niveau économique comme verra ensuite.

De l'autre cote pour ce qui concerne l'autre activité fondamentale de DIELIX c'est-à-dire la valorisation de l'input de production collectés (les huiles usagées) en output (le biodiesel) qui est vendu sur le marché.

Pour faire ça j'ai précédemment réalisé un PFD (process flow diagram) et réalisé un bilan de matière de l'entier procédé de production du biodiesel. Ça a été très important et utile pour comprendre toutes les matières premières qu'on utilise dans le procédé et en composant un bilan de matière première j'ai aussi étudié quelle devrait être la relation théorique entre les variables de production. Ça a été une partie fondamentale pour ma recherche parce que en connaissant le procédé je suis allé chercher tout de suite la relation directe qu'il devrait avoir entre les variables. Ensuite après avoir réalisé un Bilan de matière théorique je l'ai comparé avec le bilan empirique réel et en faisant comme ça on a eu une idée des relations qui ne sont pas bien respecté dans la réalité à cause de plusieurs facteurs omis.

J'ai donc réalisé une analyse statistique sur des variables de production critique dans le procédé soit pour le cout prépondérant soit pour les effets détériorant de leur utilisation et stockage.

Mon analyse a le but de trouver des relations connues (possiblement des fonctions) qui réussissent à bien moduler la relation entre les variables de production en analysant des données historiques de plusieurs campagnes de biodiesel de deux différents qualités (B100 et B8). Les données de production étaient indiquées dans un file de l'entreprise et était inséré manuellement par les opérateurs qui décidé comme modifier le variables pendant que le procédé de production avance. Chercher et trouver des relations significatives entre les variables peut aider soit à régulariser et automatiser la production en faisant moins d'erreur qui comportent de production difficile de biodiesel.

5- DES HUILES ALIMENTAIRES USAGEES JUSQ'À LE BIODIESEL

5.1- QU'EST-CE QU'UNE HUILE ?

L'huile est formée par triglycérides et acides gras libre (FFA free fatty acids) et à température ambiante elle se trouve à l'état liquide.

Il y a plusieurs typologie d'huiles (Palme, olive, colza, tournesol, arachide) et pour chaque typologie on aura une différente masse molaire différente et aussi densité différente

La Masse molaire(Mmol) peut varier entre 879 (colza, tournesol, noix) - 626 g/mol (coco)

La densité peut varier de 898(huile de palme) -925 (tournesol)

L'huile se dégrade principalement par hydrolyse et oxydation donc les principales causes peuvent être l'eau ou la température haute qui font donc augmenter le niveau d'acide gras libre qui se détache des longues chaînes de triglycérides. C'est pour cette raison que les huiles usagées alimentaires ont un niveau de FFA beaucoup plus haut par rapport aux huiles vierges.

La facilité de dégradation d'une huile dépend de la constitution de son acide gras :

-Acide gras saturés (acide palmitique) avec un température de fusion élevées (70-80°C)

-Acide gras insaturé (linoléine) se dégrade dans l'air

5.2- PRODUCTION ET CONSOMMATION D'HUILE

En 2012 dans le monde il y a eu la production de 190 millions de tonnes d'huiles par ans.

La France de son côté produit 90% du colza.

Au niveau mondial la production peut être répartie de la manière suivante:

Soja : 31 %

Palme : 27%

Colza : 12%

Tournesol : 9%

Arachide : 4%

Coton : 4%

Olive ; 3%

Autre : 10%

En ce qui concerne la consommation en France il y a la consommation de 59 % de colza et tournesol à suivre l'huile de palme (17%).

5.3- BIO DIESEL

Le biodiesel peut être produit à partir d'huile végétale ou animal. L'huile est convertie en méthyle/éthyle ester à travers la transesterification des triglycérides de l'huile.. Pour faire passer cette conversion l'huile est traitée avec un méthyl/éthyle alcool avec la présence d'un catalyseur. Pendant le procès on voit la formation de glycérol qui est insoluble dans l'ester. Le rendement du biodiesel est 1-1 c'est à dire pour chaque litre d'huile on aura en sortie la même quantité de biodiesel.

La réaction peut donc être résumée comme suivant :

Triglycérides (huile) + 3 méthanol (réactif) → 3 Méthyl ester (biodiesel) + glycérol

Comme catalyseur de la réaction, on utilise souvent le KOH hydroxyde de potasse.

Le méthyle ester ou biodiesel a des caractéristiques similaires au gazole de pétrole et peut être utilisé directement dans un moteur diesel de dernière génération.

DESCRIPTION PROCEDE BIODIESEL

Les huiles alimentaires usagées ont souvent un niveau de FFA très haut parce que comme on a déjà vu les causes d'hydrolyse d'acide gras libres sont l'eau et les hautes températures et comme les huiles usagées sont soumises à des températures hautes on voit que les acides gras se libèrent de la chaîne de triglycérides.

Les acides gras libres inhibent la séparation EMAG-Glycérol.

Un haut niveau de FFA peut aussi causer le phénomène de saponification pendant la transesterification et ca amène a une perte d'huiles très grande.

Donc la solution optimale pour réduire au minimum la perte d'huile et faire une bonne transesterification est d'utiliser un catalyseur acide pour transesterifier les FFA dans méthyl ester.

Ce procédé est nommé estérification et ce passe donc avant la transesterification, pendant l'estérification on va mesurer le niveau de FFA et on peut terminer l'estérification quand on a joint un niveau de FFA inférieur au 1%. Cette valeur a été indiquée par la loi empirique parce qu'ils ont noté que le niveau haut de FFA causé de problèmes dans le filtre des voitures comme on a déjà vu précédemment.

FFA + Méthanol (réactif) + H₂SO₄ (catalyseur) → Méthyl ester + eau

6- PRODUCTION DE BIODIESEL CHEZ DIELIX

6.1- PRESENTATION DU PROCÉDE

Ci-dessous j'ai rédigé un PFD (process flow diagram) du procédé de production du biodiesel en indiquant toutes les matières qui sont utilisées et qui entrent dans le procédé à partir de l'entrée de l'huile jusqu'à la sortie du Biodiesel à stocker.

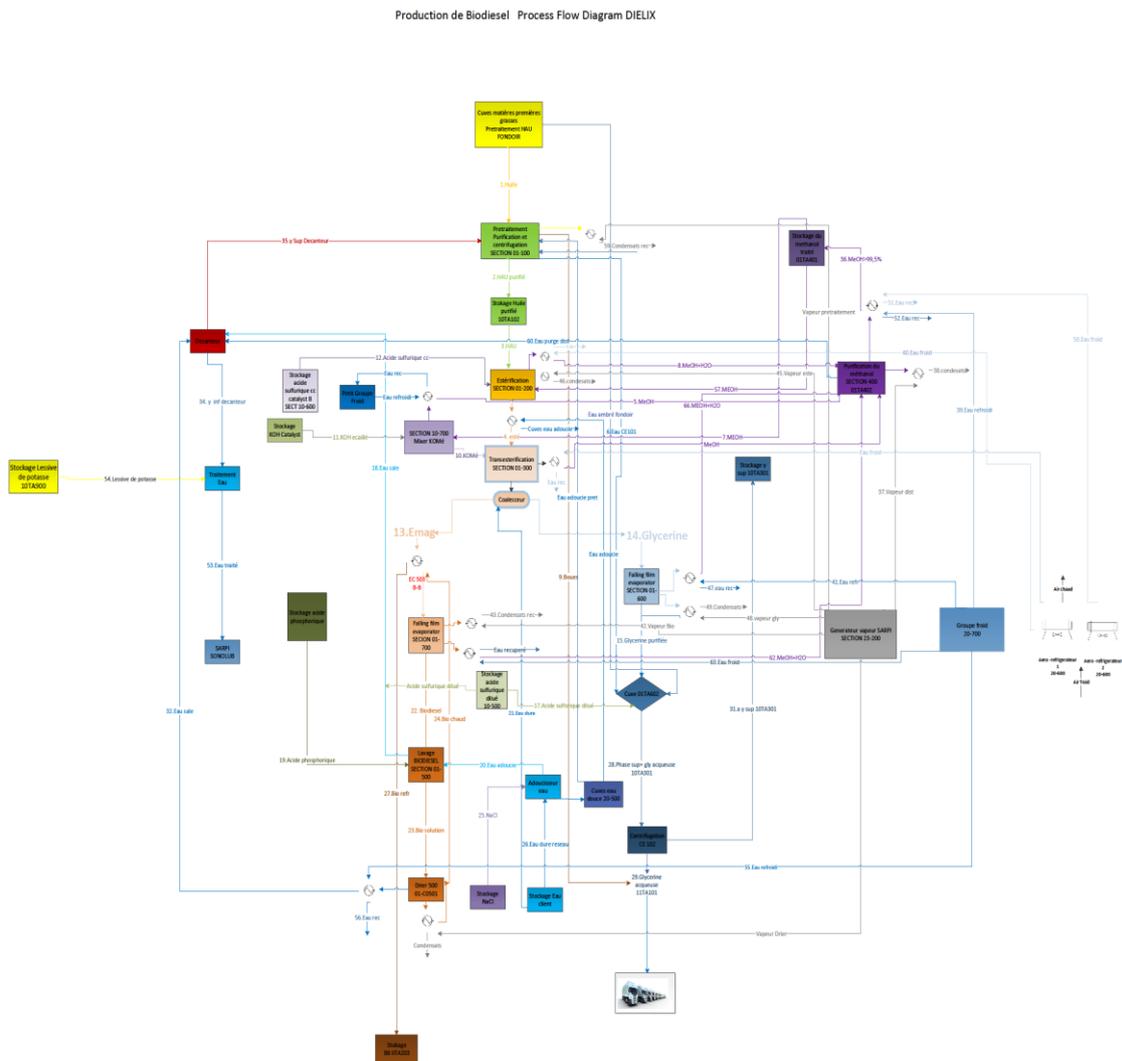


Figura 14: PFD (process flow diagram) procédé de production de biodiesel

Naturellement, il est assez compliqué de le lire tout d'abord mais on peut l'analyser pour macro areas et diviser le procédé pour section pour comprendre bien ce qui se passe sans aller dans le détail tout de suite. On peut suivre le bloc diagramme général ci-dessous :

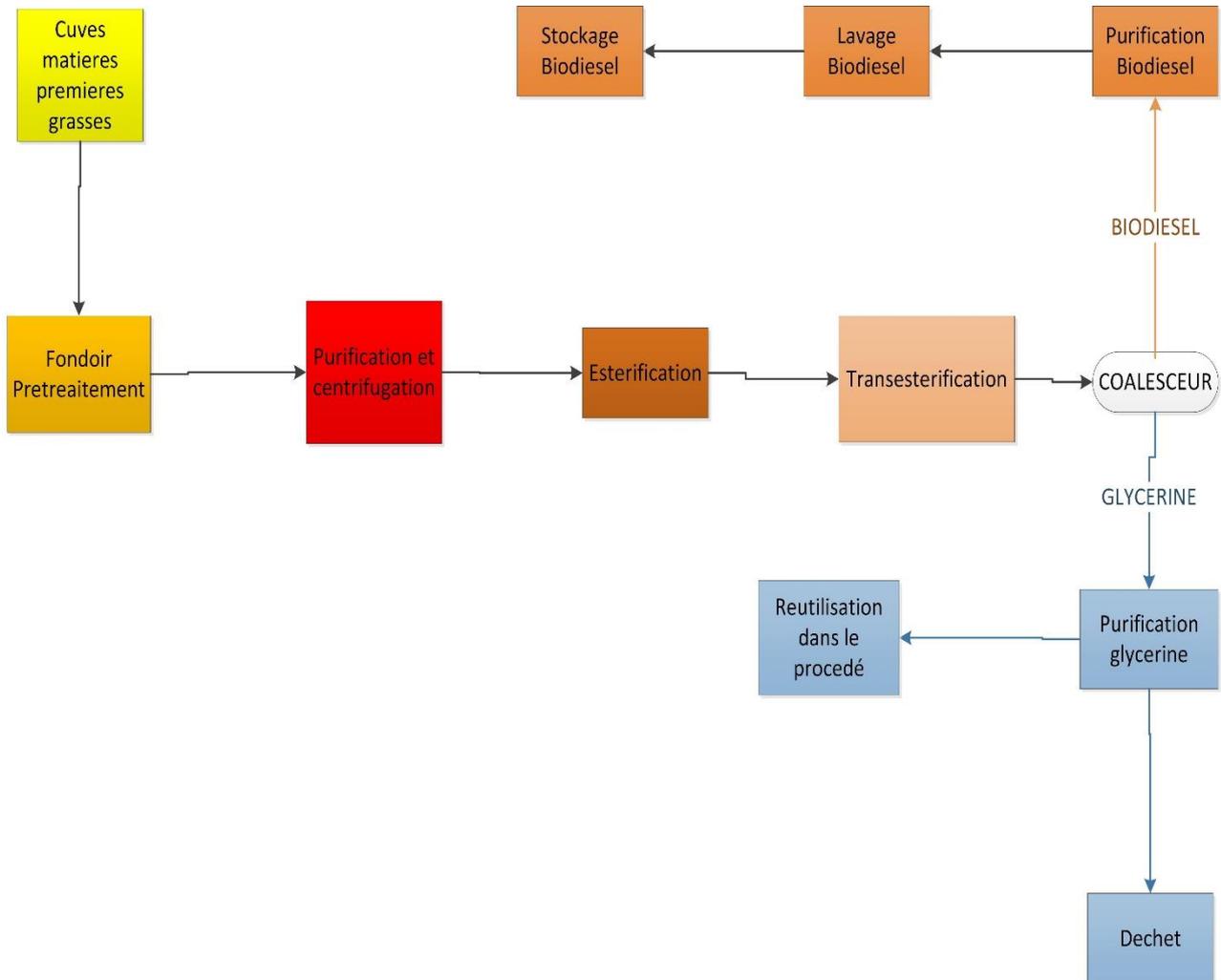
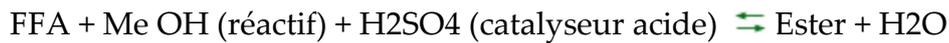


Figura 15 : Simplification PFD (process flow diagram) du procede de production du biodiesel

- 1) Prétraitement HAU fondoir : les huiles usagées (HAU) subissent tout d'abord un prétraitement de chauffage et filtration, décantation et déshydratation par tricantation afin d'enlever l'eau et les impuretés solides qui peuvent être présentes
- 2) Prétraitement, purification et centrifugation HAU : Les matières premiers grasse une fois avoir terminé le prétraitement au fondoir sont soumises à un procédé centrifugation (SECTION 01-100)

3) Après le prétraitement de purification l'huile est prêt à être soumis à l'estérification dans la Section 01-200. La réaction d'estérification a la finalité de transformer les FFA en méthyle ester. Dans ce cas on utilise comme réactif le méthanol et comme catalyseur l'acide sulfurique, on peut voir ci-dessous la réaction :



Le double trait signifie que la réaction est réversible donc pour déplacer l'équilibre vers la droite il faut ou augmenter le réactif (c'est pour ça qu'on met une quantité du méthanol plus importants ou prélever des produits pendant la réaction et dans ce cas le moyen optimal est de réussir à prélever de l'eau.

La réaction se passe dans 3 réacteurs et a une durée moyenne de 3-4 heures. Ci-après on peut voir la photo de 3 réacteurs d'estérification.



Figura 16 : Photo des 3 reacteurs d'esterification

- 4) Après avoir complété la réaction d'estérification on continue avec la réaction de transestérification qui se passe dans 3 réacteurs qui se trouve dans l'établissement juste au-dessous des réacteurs d'estérification. Pendant cette réaction on verra la production de glycérol et ester, en étant deux matières insolubles entre elles il est possible de bien les distinguer. On peut voir ci-dessous la réaction chimique :



La réaction de transesterification a une durée variable de 20 min à 1 heure.

Ci-dessous on peut voir le 3 reacteurs de transesterification.



Figura 17 : Photo 3 réacteurs de transesterification

- 5) A la sortie de la transesterification le glycérol et le méthyle ester (biodiesel) sont mis dans un grand coalesceur. Ça c'est la partie la plus critique où il y a la séparation entre la glycérine et le biodiesel. Cette séparation se passe avec une moyenne totalement statique c'est-à-dire pour différence de densité entre les deux matières. Le bio qui a une densité plus basse que la glycérine occupera la section supérieure du coalesceur et la glycérine plus lourde sera attirée vers le bas. Avec l'avance de la séparation entre les deux le bio est pompé et d'ici le bio et la glycérine se séparent complètement comme leur procédé. S'il y a des problèmes à procéder avec la séparation entre les deux parties surtout à l'interface on rajoutet souvent de l'eau.

Ici suivant on peut voir la photo du coalesceur et noter la partie bio et la partie glycérine dans le tuyau qui signifie que la séparation statique entre bio et glycérine est en train de se développer.



Figura 18 : Photo colonne séparation statique biodiesel-glycérine



Figura 19 : Photo coalesceur séparation statique biodiesel et glycérine

- 6) Après la séparation il y a le lavage. Le biodiesel est lavé avec de l'eau adoucie et la glycérine est stockée dans la cuve 01TA602 ou il y a la rémission d'eau ambrée provenant du fondoir et de l'eau récupérée de la centrifugation pendant le prétraitement.

- 7) Après le lavage et le séchage (Drier CO-500) est prêt à être stocké. Pour ce qui concerne la glycérine qui est une glycérine sale après un cassage acide et un centrifugation une partie (glycérine aqueuse) départ avec des camions (25 tonnes

par jour) pour être traité comme déchet chez Sarpi et l'autre autre partie (nommée phase sup) est stockée pour être réutilisée dans le procédé comme on verra après.

6.1.1- RECUPERATION DU METHANOL

Comme on peut voir dans le schéma ci-dessous pendant le procédé il y a plusieurs récupérations du méthanol. Ça se passe principalement parce que le méthanol dans le procédé est utilisé en grande quantité en tant que réactif des deux réactions d'estérification et de transesterification et est avec la vapeur le cout prépondérant du procédé. En plus le méthanol est toujours injecté en excès pour essayer de balancer l'équilibre vers les produits et donc il n'est jamais complètement utilisé dans les réactions.

Le méthanol qui se trouve sous forme de liquide à température ambiante a un point d'ébullition assez bas (64°C) donc il est facile de le séparer à travers l'ébullition et puis un refroidissement qui en permet la condensation en forme liquide.

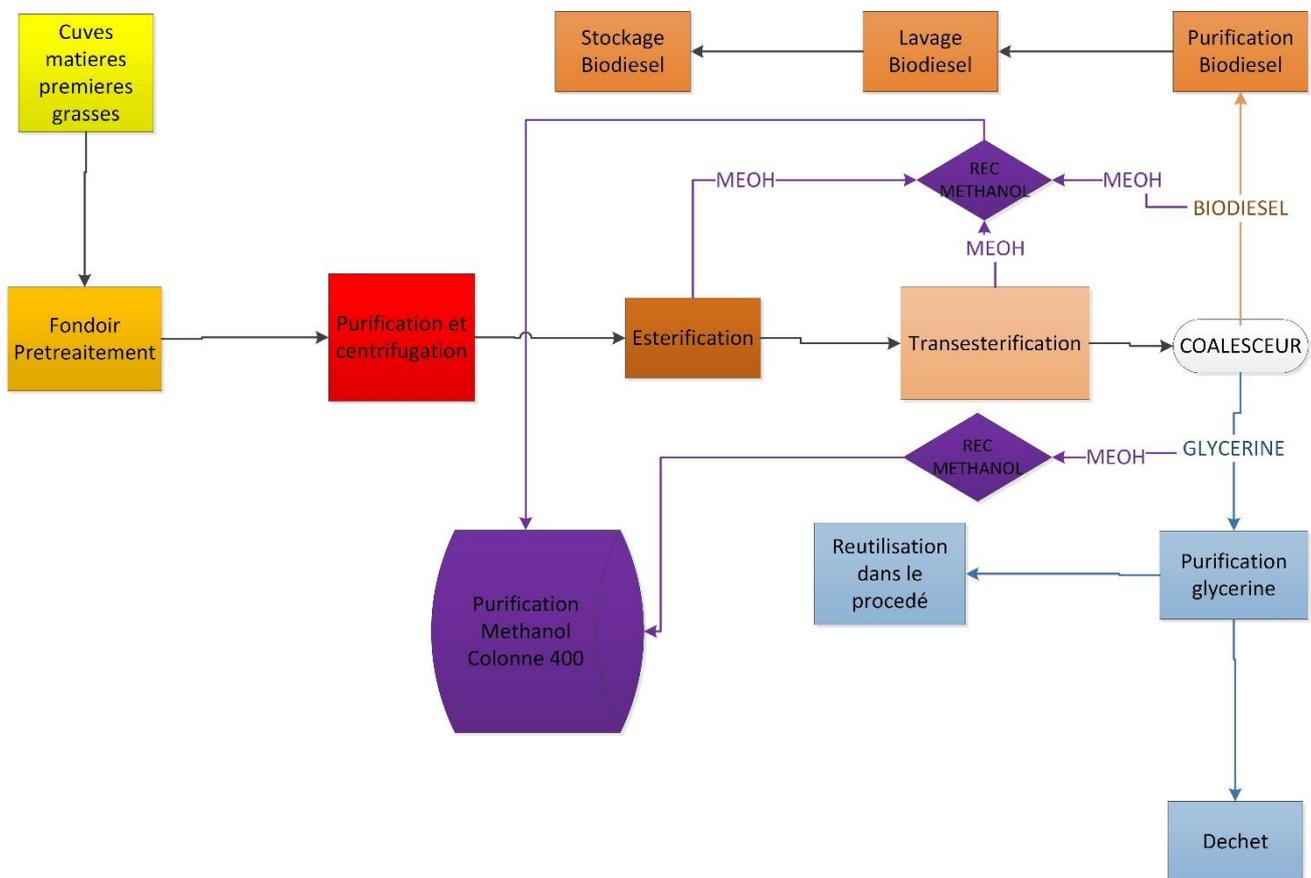


Figura 20 : Schema simplifié de recuperation du methanol pendant le procede

Dans le procès on voit la récupération du Méthanol en plusieurs points du procédé : après être récupéré le méthanol doit être purifié à la colonne distillation 400. On voit la récupération du méthanol :

- Après l'estérification le méthanol est évaporé avec l'eau et ensuite condensé pour repartir vers la colonne 400
- Pendant la transesterification le méthanol est évaporé ; une fois refroidi et condensé est envoyé toujours à la colonne 400 pour être purifié
- Après la séparation entre bio et glycérine tous les deux sont soumis à un falling film evaporator respectivement dans la section 01-700 et dans la section 01-600 où ils sont surchauffés afin de récupérer le méthanol en excès qui est resté
- Dans la section où il y a le mélange entre KOH (hydroxyde de potasse) et Me OH (Méthanol) une partie de méthanol qui est injectée en excès et fait évaporer et puis condensé à travers un petit groupe froid.

Après être récupéré le Méthanol est purifié à travers la séparation entre le méthanol pur et l'eau.

Dans la colonne de distillation 400 et puis il est prêt pour être remis dans le procédé.

Ci-dessous la photo de la colonne 400 où il y a la purification du méthanol et on va décharger de l'eau condensé.



Figura 21 : columns de distillation du methanol

6.1.2- MINIMISATION DES DECHETS

En observant le PDF complet du procès on peut noter que les seuls déchets du procès sont :

-la glycérine aqueuse et les boues qui sont pris par des camions et traité (20 tonnes par jour)

-La partie d'eau qui dérive de la phase inférieure du décanteur qui après avoir été traité avec le lessive de potasse est amené chez Sarpi pour le traitement final

A ce propos on peut voir aussi le décanteur comme solution pour réduire au minimum les déchets, on voit que le décanteur reçoit les eaux sales provenant de la distillation de purification du méthanol et du lavage de biodiesel et prend la partie supérieure qui est remise dans le procédé comme matières premières avec les huiles.

6.1.3- QUALITE ET COUT DE PRODUCTION DU BIODIESEL: B100 & B8

Comme la demande du marché est flexible et variable DIESELIX amène deux qualités différentes de Biodiesel le B8 et le B100.

Le B8 est biodiesel qui ne peut pas être mis tout seul comme carburant mais doit être mélangé avec le gazole au maximum à 8% du volume. Actuellement la demande du B8 est assez haut parce que dans plusieurs pays comme par exemple la France il n'est pas possible d'utiliser entièrement le biodiesel comme carburant mais il est obligatoire de le mélanger avec le gazole.

Dans des autres pays par contre il est possible d'utiliser entièrement biodiesel comme carburant et c'est le cas du B100.

Actuellement DIESELIX alterne campagnes de production de B100 a campagne de production de B8.

La qualité du B 100 est supérieure à celle du B 8, avec le B 100 on part d'huiles plus fines avec des niveaux de FFA en moyenne inférieurs en comparant aux huiles utilisées pour produire le B 8.

Au niveau de production comme on peut noter en comparant le PDF du B8 et du B 100 la seule différence est la rémission de la phase sup comme matières première dans le procès. En effet la quantité de matières premières utilisées est la même soit pour le B 100 que pour le B 8 seulement que le B8 contient une partie de phase sup et donc utilise moins d'huiles. C'est un bon moyen pour la société différencier le marché et les différents clients et dans le même temps réutiliser la phase sup qui autrement serait un déchet à côté de la glycérine aqueuse.

Donc en faisant les 2 PDFs différents avec le bilan de matière du B8 et B100 j'ai trouvé tous les débits de matière qui sont utilisé dans le procédé de production.

Les données les plus significatif et récapitulatif qui nous montre la consommation de matière pendant le procédé rapporté par Kg d'output (biodiesel) sont montrées ci-dessous divisé par B100 et B8 comme on a noté qu'il y avait de différences entre les deux procédés j'ai décidé de les analyser séparément. Donc on peut voir ci-dessous une consommation moyenne en considérant un niveau de FFA initial des huiles alimentaires usagées fixée à 15,10% du poids.

B100 IITA203	Kg/tonnes bio
Consommation MEOH méthanol	130
Consommation vapeur	1736
Consommation acide sulfurique	6
Consommation KOH hydroxyde de potasse	45
Production glycérine aqueuse	300
Consommation eau	3308
Consommation eau sale	1
Consommation acide phosphorique H ₂ P ₂ O ₅	119
Consommation eau adoucie	784

Figura 22 : Consommation des inputs pour obtenir la production de biodiesel qualité B100

B8 IITA202	Kg/tonnes bio
Consommation MEOH méthanol	138
Consommation vapeur	2064
Consommation acide sulfurique	10
Consommation KOH hydroxyde de potasse	48
Production glycérine aqueuse	350
Consommation eau	3500
Consommation eau sale	1
Consommation acide phosphorique H ₂ P ₂ O ₅	100
Consommation eau adoucie	1565

Figura 23 : Consommation des inputs pour obtenir la production de biodiesel qualité B8

Donc dans ces deux tableaux j'ai résumé les consommables dont le débit est plus fort dans le procédé. On peut aussi voir ci-dessous le cout du matière qu'on produit ou qu'on utilise comme input dans le procédé. Dans notre cas on aura comme seul output du procédé la production de glycérine qui représente pour nous un pourcentage de déchet comme une partie sera utilisée pour produire la phase supérieure réutilisé comme input dans le procédé de production du B8 mais l'autre partie qu'on appelle glycérine aqueuse sera un déchet de notre procédé : chaque semaine il y a des camions qui arrive chez DIELIX à récupérer la glycérine aqueuse et vont la traiter comme déchet industrielle. En effet il ne faut pas oublier que la glycérine produit en partant des huiles alimentaires usagées c'est glycérol sale pas glycérol qui est possible utiliser dans le monde du cosmétique comment ça passe pour les usines de premières générations. Ci-dessous dans le tableau à suivre j'ai résumé le cout de principales matières qu'on vient d'analyser le débit :

Prix matière première		
METHANOL MEOH	€/T	303,000
H ₂ SO ₄ acide sulfurique	€/T	115,00
KOH Hydroxyde de potasse	€/T	798,00

H2P2O5 Acide phosphorique	€/T	900,00
EAU	€/T	3,000
SEL	€/T	280,00
VAPEUR	€/T	15,0
EAU SALE	€/T	45,00
DECHET/Glycérine aqueuse	€/T	15,00

Figura 24 : Prix des principales matières premières pour la production de biodiesel

Donc après avoir retrouvé le cout principal et le débit prépondérant dans le procédé on peut voir pour chaque tonne de Biodiesel comment ça passe la répartition de cout de matière première qu'on utilise ou des déchets du procédé qui sont pour nous des couts additionnels parce qu'on doit payer pour le faire traiter.

Cout production B100 par tonnes de Biodiesel		
Méthanol MEOH	39,39	€/Tonnes bio
Acide sulfurique H2SO4	0,69	€/Tonnes bio
Hydroxyde de potasse KOH	35,91	€/Tonnes bio
Acide phosphorique H2P2O5	90,96	€/Tonnes bio
Eau	9,924	€/Tonnes bio
Sel	1,68	€/Tonnes bio
Vapeur	26,04	€/Tonnes bio
Eau sale	0,045	€/Tonnes bio
Déchet/glycérine aqueuse	4,5	€/Tonnes bio
Cout principal de production	213,14	€/Tonnes bio

Figura 25 : Cout de production par tonne de biodiesel qualité B100

Cout production B8 par tonnes de Biodiesel		
Méthanol MEOH	41,814	€/Tonnes bio
Acide sulfurique H ₂ SO ₄	1,15	€/Tonnes bio
Hydroxyde de potasse KOH	38,304	€/Tonnes bio
Acide phosphorique H ₂ P ₂ O ₅	95,00	€/Tonnes bio
Eau	10,797	€/Tonnes bio
Sel	1,12	€/Tonnes bio
Vapeur	30,96	€/Tonnes bio
Eau sale	0,045	€/Tonnes bio
Dechet/glycerine aqueuse	5,25	€/Tonnes bio
Cout principal de production	225,26	€/Tonnes bio

Figura 26 : Cout de production par tonne de biodiesel qualité B8

En analysant les couts prépondérants on peut voir que le Méthanol, la potasse, la vapeur et l'acide phosphorique sont les plus importants dans le procédé de production. Mais il faut considérer aussi l'acide sulfurique qu'on doit minimiser l'utilisation parce que il est hautement corrosif et amène à la corrosion des tuyauteries qui va représenter un cout très grand pour DIELIX.

Le cout très haut c'est à cause du cout unitaire haut comme par exemple se passe pour l'acide phosphorique ou autrement par un grand débit de la matière comme par exemple dans le cas de la vapeur qui est utilisé en grand quantité pour chauffer les réactions en augmentant la température.

On va résumer ci-dessous les fonctions principales des matières premières qu'on a nommé qu'on utilise dans le procédé de production et qui nous amènes donc à cause de leur débit et leur cout unitaire.

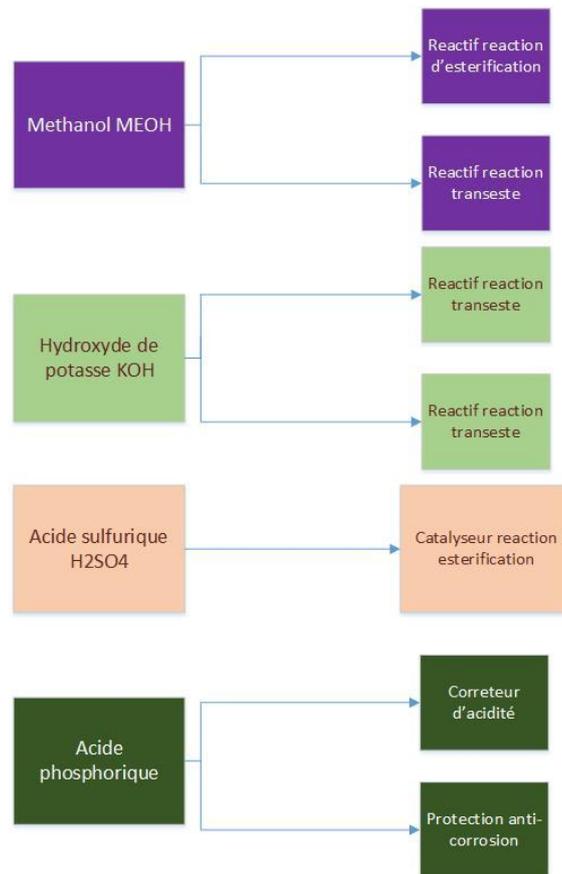


Figura 27 : Explication de l'utilisation des différents matières premières pendant le procédé

Donc on peut voir que tous ces matières premières ont des buts fondamentaux pour la production correcte du biodiesel. On peut tout de suite noter par exemple qu'en utilisant moins d'acide sulfurique en excès on peut réduire l'utilisation d'acide phosphorique et aussi d'hydroxyde de potasse pour neutraliser la quantité d'acide qui est restée en excès après l'estérification.

7- ETUDE RELATIONS ENTRE VARIABLE DE PRODUCTION

Objectif de l'analyse : Je vais conduire une analyse sur les données empiriques de production pour essayer de trouver des fonctions qui réussissent à bien moduler les relations entre les principales variables en jeu pendant les deux réactions d'estérification et transestérification qui amènent à la création du Biodiesel. Les fonctions qu'on va chercher seront trouvées à travers la méthode de régression linéaire multiple en utilisant la méthode des moindres carrés c'est-à-dire on va chercher une fonction qui réussit à minimiser la distance entre valeur réel et valeur prévue par la fonction de régression.

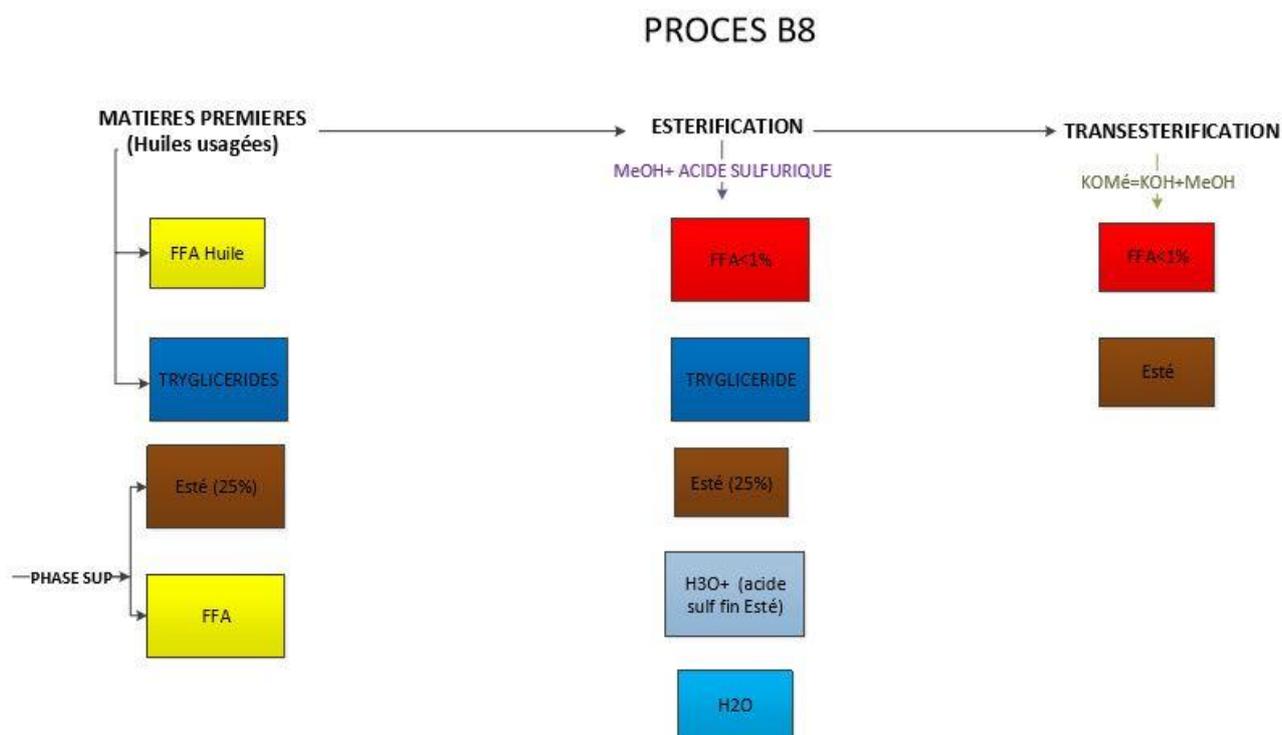


Figura 28 : Variable en jeu pendant production biodiesel qualité B8

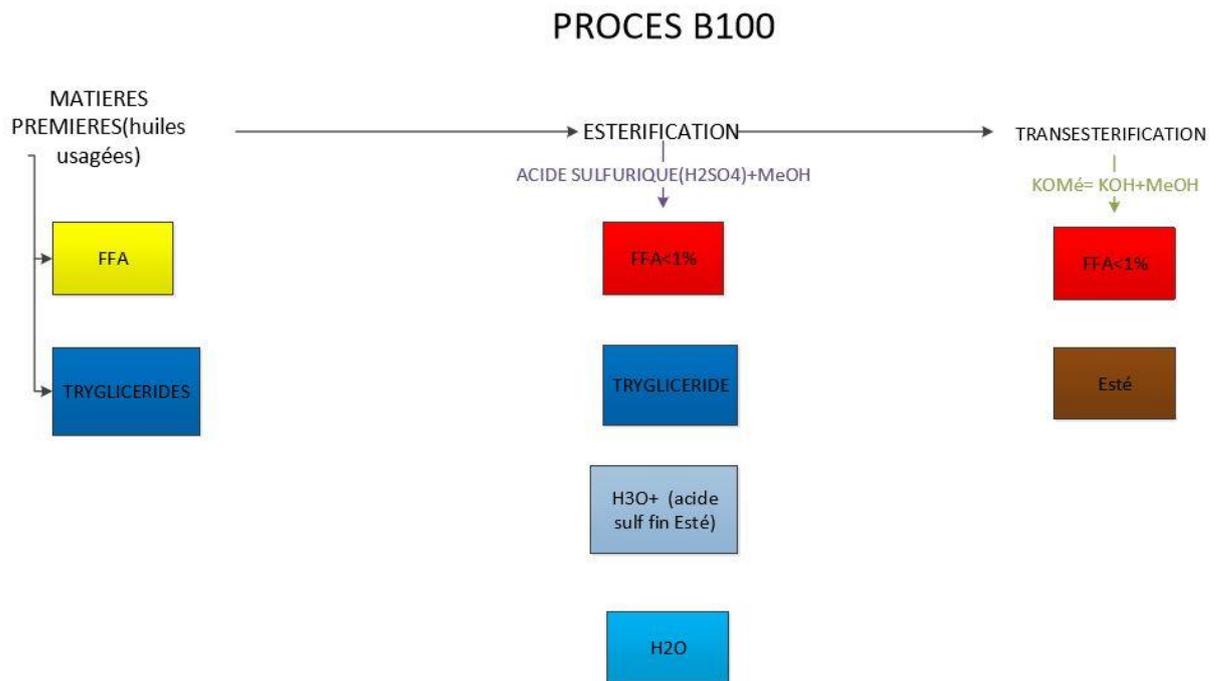


Figura 29 : Variable en jeux pendant la production biodisele qualité B100

Tout d'abord comme on peut voir dans le schéma pour le B 8 et le B 100 on part d'une matière première différente, c'est à dire que pour le B100 on utilise que des huiles usagées et pour le B8 on a aussi la phase sup qui entre dans le procès avec les huiles usagées. Pour cette raison j'ai décidé de diviser l'analyse entre B 100 et B 8 pour le comparer et comprendre s'il est possible de le traiter également avec une unique fonction pour les relations qu'on va analyser ou s'il est nécessaire de différencier les deux. Donc on départ toutes les fois en analysant séparément les deux différentes qualités de Biodiesel qu'actuellement ils sont traités pareils.

Comme on a noté une différence d'input j'ai considéré plus propre les analyser et puis comparer les résultats pour voir si est possible de le considérer pareil.

7.1- MATRICE DE CORRELATION ENTRE LES VARIABLES DE PRODUCTION

Pour commencer à analyser les relations entre les variables de production j'ai divisé entre B8 et B 100 et j'ai calculé dans une matrice symétrique le coefficient de corrélation entre les

variables de production dont j'avais des valeurs mesurées. De cette façon je me suis concentré sur les relations entre les variables ou on peut trouver une corrélation significative pour commencer. On peut analyser ci-dessous les données historique disponible pour chaque campagne de Biodiesel sur lesquelles j'ai pu faire des analyses statistiques. Comme on verra Il y a plusieurs variables et informations intéressantes qui n'ont pas été noté pendant les campagne de biodiesel soit pour négligence soit pour l'absence de personnel. Donc j'ai cherché de trouver de relations entre les variables à partir des données qui ont été enregistré pour chaque campagne, ci-dessous je vais analyser les variables en donnant une explication et en plus l'unité de mesure qui permet de le définir et de le placer dans un système cartésien à 2 ou plus axes : ça dépend ou cas ou on aura des relations entre 2 ou plus variable (regression monovariable ou multiple).

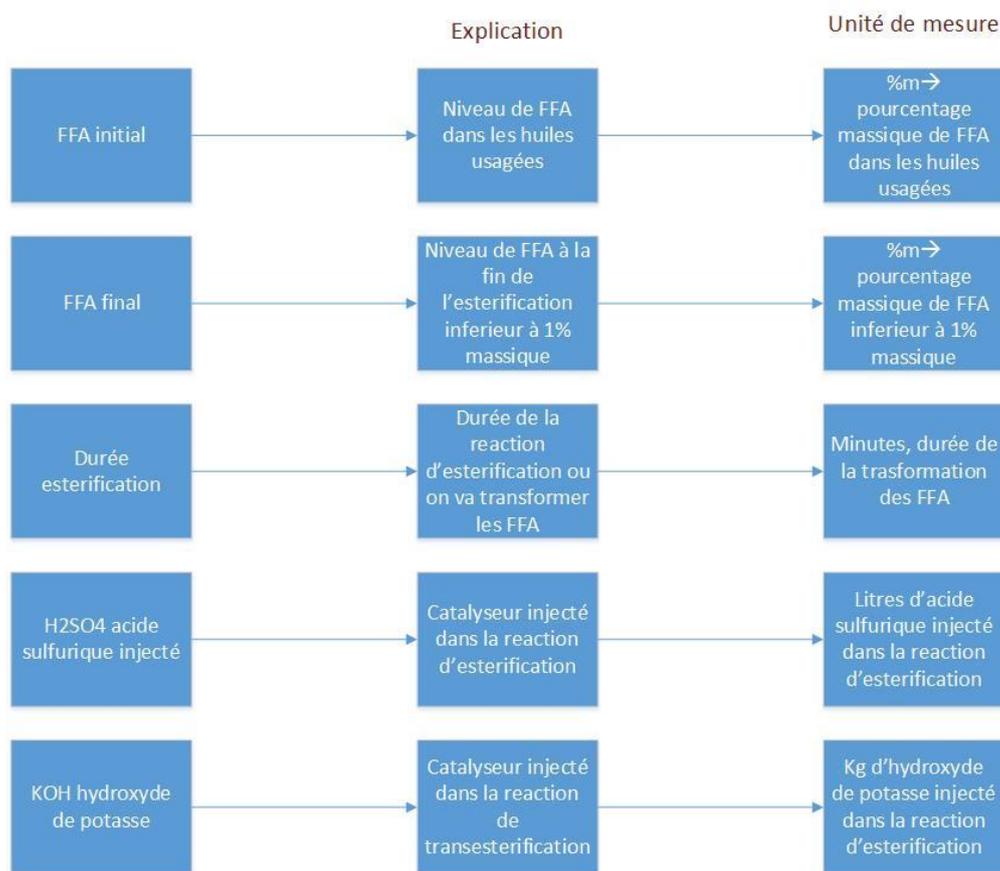


Figura 30 : Données historiques enregistrées dans le système pour chaque campagne de B8 et B100

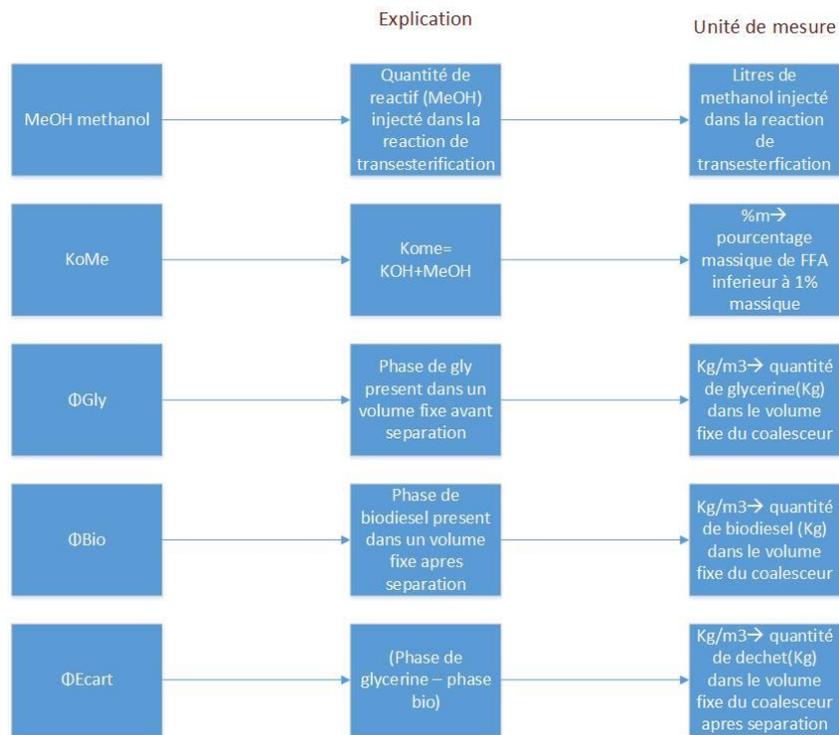


Figura 31 : Données historiques enregistrées dans le système pour chaque campagne de B8 et B100

Donc après avoir présenté les différentes variables qu'on veut mettre en relation en cherchant des relations significatives entre eux on a créé une matrice de corrélation en divisant entre la campagne de B8 et de B 100. La matrice de corrélation est une matrice symétrique dans laquelle il est indiqué le coefficient de corrélation entre deux variable. On peut noter que dans la diagonale il y a la valeur 1 parce que la valeur du coefficient de corrélation entre une variable et soit même est égal à 1 et la matrice est symétrique

La matrice est comme une mappe qui réussit à nous montrer tout de suite quelle sont les relations directes plus significatives entre les variables de production. En plus j'ai aussi demandé aux spécialistes les relations théoriques qu'on devait retrouver.

Dans le rapport donc je vais procéder en analysant les principales relations entre les variables qui entrent en jeu pendant l'estérification et la Trans estérification. Je cherche de moduler les relations les plus significatives avec des fonctions obtenues avec la technique de la régression en utilisant la méthode des moindres carrés c'est à dire qu'on va prendre la fonction qui minimise la distance entre la valeur estimée et la valeur réelle effective pour moduler la relation

Pour considérer les relations entre les variables à analyser on va regarder tout d'abord la matrice de corrélation et on va analyser les corrélations significatives, c'est à dire les corrélations qui ont une valeur supérieures ou égal à 0,30. En plus en sachant déjà en théorie ce qui devront être le relation entre les variables on peut voir si ça est confirmé ou pas par les données empiriques et aussi faire attention ou cas ou on aura des relations entre variables qui n'ont aucun lien logique. La connaissance théorique du procédé est aussi fondamentale pour différentier entre la variable dépendante et la variable indépendante à choisir pour faire la régression, ça évite de se tromper et on fait gagner beaucoup plus de temps par rapport à une approche complètement "black box".

Matrice coefficient
 corrélation B8:

Production B8	FFA initial (%m)	Durée esterification (min)	H2SO4 injecté(litres)	H2SO4 final(litre s)	KOH (Kg)	MEOH (litres)	KOME (litres)	FFA final (%m)	Φgly (Kg/m 3)	Φbio (kg/m 3)	Φecart (kg/m3)
FFA initial (%m)	1	0,3	0,5	0,2	-0,6	-0,6	-0,6	0,2	0,1	0	0,2
Durée esterification (min)	0,3	1	0,1	0,1	-0,2	-0,4	-0,4	0,2	-0,1	0	0
H2SO4 injecté (litres)	0,5	0,1	1	0,3	0,1	0	0	0,3	0	0,3	0
H2SO4 final (litres)	0,2	0,1	0,3	1	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0
KOH (Kg)	-0,6	-0,4	0,1	0	1	1	1	0,2	-0,6	-0,4	-0,4
MEOH (litres)	-0,6	-0,4	0,1	0	1	1	1	0,2	-0,6	-0,4	-0,4
KOME (litres)	-0,6	-0,4	0	0	1	1	1	0,2	-0,6	-0,4	-0,4
FFA final (%m)	0,2	0,2	0	0	0,2	0,2	0,2	1	0,5	-0,3	-0,3
Φgly (Kg/m3)	0,3	0	0,3	0	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	1	0,3	0,8
Φbio (kg/m3)	0	0	-0,1	0	0	0	0	-0,3	0,5	1	-0,3
Φecart (kg/m3)	0,2	0	0	0,2	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	0,8	-0,3	1

Legend:	
Correlation entre variables	
Correlation fort	
Correlation moyenne	
Faible correlation	
No correlation	

Figura 32: Matrice coefficient correlation lineaire entre variables de production biodiesel qualité B8

Matrice coefficient
corrélation B100

Production B100	FFA initial (%m)	Durée esterification (min)	H2SO4 injecté(litres)	H2SO4 final(litre s)	KOH (Kg)	MeOH (litres)	KOME (litres)	FFA final (%m)	Φgly (Kg/m 3)	Φbio (kg/m 3)	Φecart (kg/m3)
FFA initial (%m)	1	0,1	0,9	0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	0,1	0	0,2
Durée esterification (min)	0,1	1	0	0	-0,2	-0,2	-0,2	0,2	-0,1	0,2	0
H2SO4 injecté (litres)	0,9	0	1	0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,3	0	-0,1	0
H2SO4 final (litres)	0,3	0	0,4	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0	0
KOH (Kg)	-0,3	-0,2	-0,3	0,2	1	1	1	0,3	-0,6	-0,1	-0,4
MEOH (litres)	-0,3	-0,2	0,2	0,2	1	1	1	0,3	-0,6	-0,1	-0,4
KOME (litres)	-0,3	-0,2	-0,2	0,2	1	1	1	0,3	-0,6	-0,1	-0,4
FFA final (%m)	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	1	0,5	0	-0,3
Φgly (Kg/m3)	0,1	-0,1	0	0,1	-0,6	-0,6	-0,6	0	1	0,5	0,8
Φbio (kg/m3)	0	0,2	-0,1	0	-0,1	-0,1	-0,1	0	0,5	1	-0,3
Φecart (kg/m3)	0,2	0	0	0	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	0,8	-0,3	1
Legend:											
Correlation entre variables											
Correlation fort											
Correlation moyenne											
Faible correlation											
No correlation											

Figura 33: Matrice coefficient correlation lineaire entre variables de production biodiesel qualité B100

8- PARAMETRES REACTION ESTERIFICATION

Pour la réaction d'estérification si on regarde le procédé du B8 et B100 on peut noter que les variables principales en jeu à prendre en considération sont : le niveau de FFA initial, les triglycérides, le niveau de FFA final qui doit être inférieur à 1%, l'acide sulfurique et le méthanol injectés comme réactifs et catalyseur de la réaction. On peut reprendre ci-dessous la réaction chimique :



MeOH=methanol= reactif

H₂SO₄= acide sulfurique= catalyseur

Pour le B8 c'est un peu différent parce qu'on a aussi l'apport de la phase sup avec les huiles usagées comme matière première. La phase sup contiens FFA mais aussi de l'ester qui est déjà un produit de la réaction d'estérification et transesterification. Donc la présence de la phase sup peut influencer les deux réactions par exemple au moment où la phase sup contiens de l'ester il est légitime de penser qu'il va ralentir la réaction en déplaçant l'équilibre de la réaction réversible vers gauche (l'ester comment on peut voir de la réaction est déjà un produit)

Pendant la réaction d'Estérification il y a la transformation de FFA qui était coupé pendant la cuisson à haut température des huiles usagées. Dans ce cas on verra la réaction entre l'acide gras et le méthanol comme alcool qui est mis en excès pour déplacer l'équilibre vers la droite. Pour rendre plus vite la réaction on va utiliser comme catalyseur de l'acide sulfurique (H₂SO₄). Donc la première relation directe à analyser sera entre la quantité d'acide sulfurique utilisée et le niveau de FFA initial. En observant la matrice de corrélation on peut déjà voir qu'il y a une relation positive entre les deux variables : c'est à dire que plus est haut le niveau de FFA plus d'acide on devra injecter pour transformer le FFA.

Ensuite pour ce qui concerne l'estérification on a comme variable considérable du procès le temps de la réaction : c'est à dire le temps pour transformer les FFA et terminer la

réaction d'estérification et pour ça on cherchera une relation entre le temps d'estérification et niveau de FFA initial, et avec la quantité de H₂SO₄ injectée comme catalyseur de la réaction.

La première relation qu'on va analyser pour ce qui concerne la réactions d'estérification est la relation la quantité utilisée du catalyseur et les autres variables de production.

Actuellement le laboratoire utilise une formule très compliquée on départ du niveau de FFA et puis on change dans la formule la quantité d'acide en fonction du temps de l'estérification, du niveau de FFA final.

Ce que l'entreprise il m'a demandé de faire est trouver un fonction plus simple connu pour réussir à expliquer cette relation soit avec deux ou plusieurs variables (régression multiple).

Donc dans ce cas comme dans les autres j'ai commencé en regardant si était possible proposer une relation multi variables ou mono variable en posant comme variable dépendante(Y) la quantité en litre d'acide sulfurique injecté et comme variable indépendante (Xi) le niveau de FFA initial, la durée de l'estérification, le niveau d'acide à la fin de l'estérification.

Mais en essayant de faire des régressions multiples entre les différentes variables j'ai noté que la valeur de R² correct aller diminuer et la valeur la plus grand je l'ai obtenu avec une régression entre le niveau de FFA initial et la quantité d'acide injecté soit dans le cas du biodiesel soit dans le cas du B100.

Donc j'ai proposé toutes les fois les mêmes considérations que j'ai résumés ci-dessous :

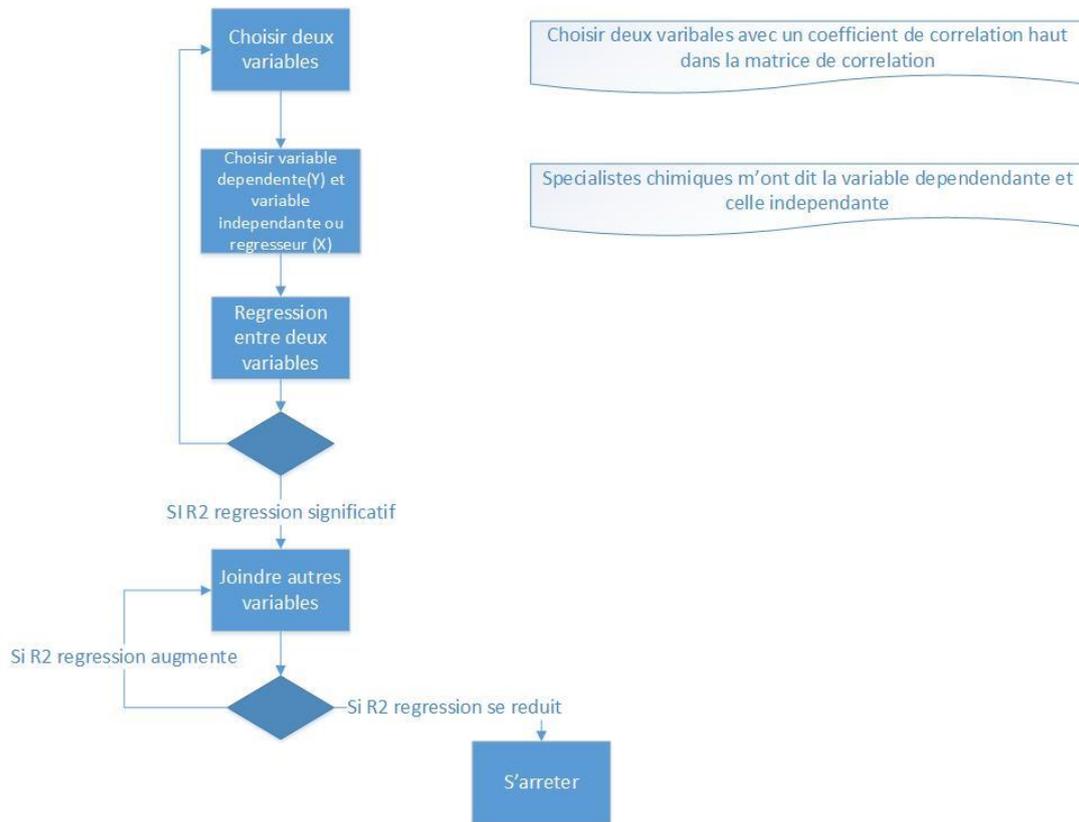


Figura 34 : Procédé suivi pour chercher des relations significatives entre variables de production

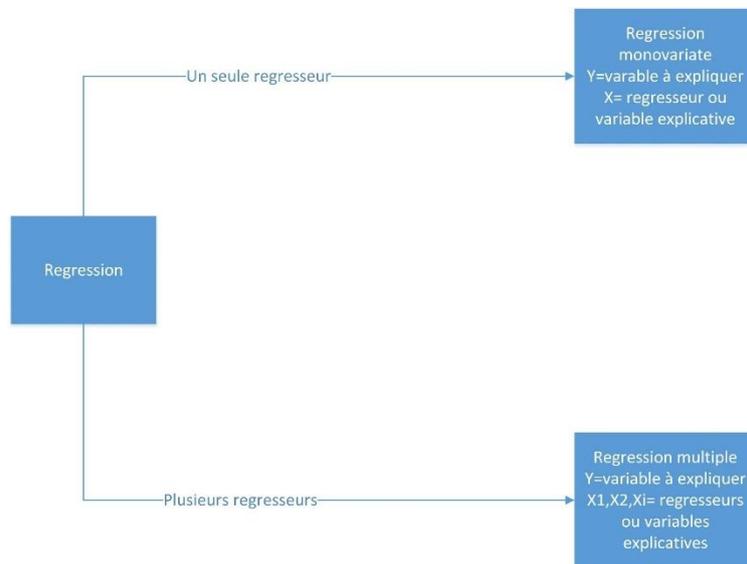


Figura 35: Scelta tra regressione mono variata o regressione multipla

On peut noter les inconvénients ci-dessous qu'un excès ou un défaut de quantité d'acide injecté pendant l'estérification peuvent causer :

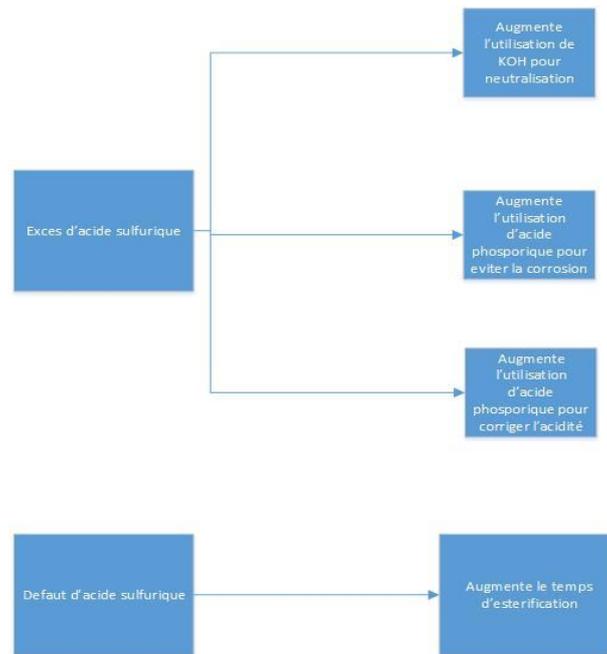


Figura 36 : Problématiques dans le procédé excès ou défaut d'acide sulfurique

Donc après avoir vu que la variable qui explique mieux la variation de notre variable dépendante (Y c'est-à-dire la quantité d'acide sulfurique) est le niveau de FFA initial j'ai pris les données de plusieurs campagnes de B8 et B100 pour voir quel est la fonction qui mieux réussit à expliquer cette relation. J'ai essayé à joindre les autres variables de production à l'analyse mais la valeur de R2 n'augmente pas dans plusieurs cas reste pareil ça veut dire que la variable qu'on rajoute n'est pas explicative de notre variable dépendante que dans notre cas est la quantité d'acide sulfurique.

8.1- RELATION ACIDE SULFURIQUE & NIVEAU FFA INITIAL

8.1.2- B100: RELATION H₂SO₄ INJECTEE & FFA INITIAL

J'ai commencé en analysant plusieurs campagnes de B100 j'ai ramassé les données empiriques de production et je les ai mis dans un graphique ou j'ai indiqué comme variable dépendante (Y) la quantité d'acide sulfurique sous conseil des spécialistes chimiques et comme variable indépendante (X) le niveau de FFA initial des huiles usagées utilisé dans la campagne de B100. Le niveau de FFA initial et final c'est-à-dire à la fin de

l'estérification est toujours contrôlé parce que pour la loi le niveau doit être inférieur à 1 1% du poids de l'huile

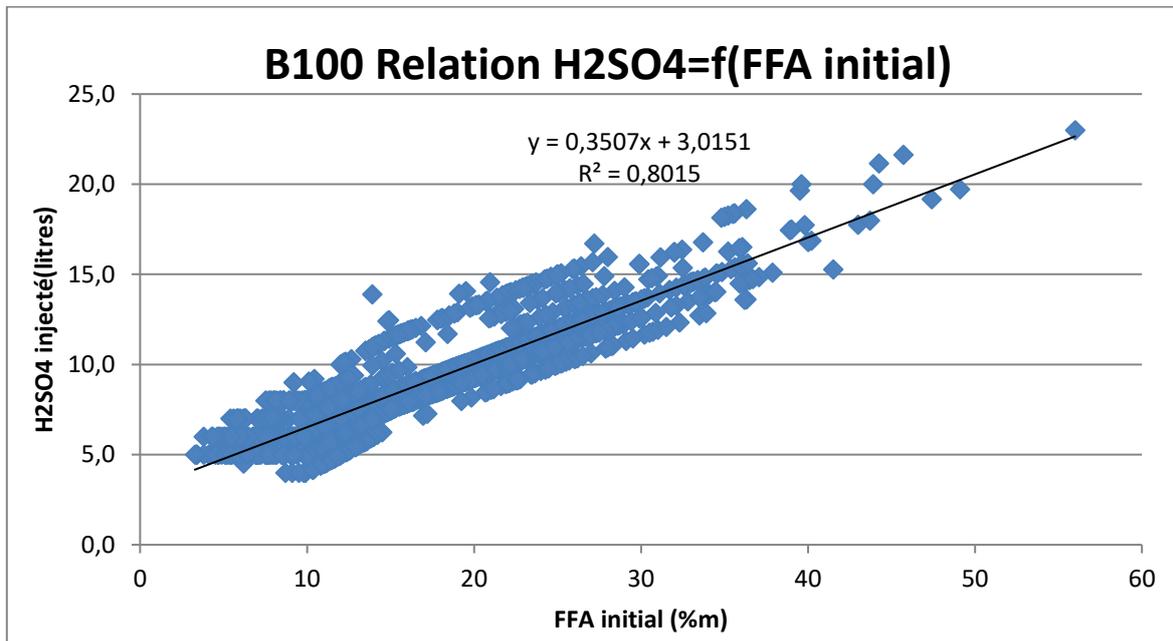


Figura 37 : Relation entre acide sulfurique e niveau de FFA initial qualité B100

En partant de la matrice de corrélation on peut voir une valeur de corrélation entre ces deux variables très grandes. En effet selon la théorie la quantité de H2SO4 à injecter dans le procès est choisie en fonction du niveau de FFA initial. La fonction qui dérive d'une formule compliquée actuellement utilisée est représentée ci-dessous et comme on peut noter la différence entre la formule et les données empiriques de production est assez différente.

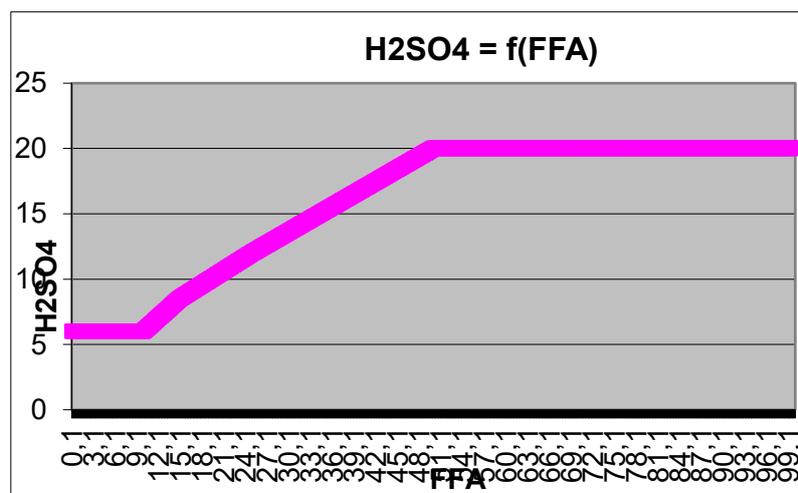


Figura 38 : Relation theorique de partence entre niveau de FFA initial et quantité d'acide sulfurique

En effet maintenant en production les opérateurs départent du niveau de FFA indiqué dans la fonction et puis il rajoute de l'aide en voyant comment ça passe la réaction. J'ai analysé la formule actuelle ou on va ajouter de l'acide en fonction du temps d'estérification et du degrés final de FFA. Comme on peut voir dans la fonction de départ actuellement on a deux traits horizontal ou à plusieurs niveaux de FFA correspond la même quantité d'acide injecté et puis une ligne droite ou à chaque niveau de FFA correspond une seul quantité d'acide sulfurique injecté. Puis j'ai demandé comment s'éloigne de cette point de départ parce que comme on a vu dans les données empiriques à chaque niveau de FFA correspond plusieurs quantité d'acide sulfurique injectées. Les spécialistes chimiques m'ont montré qu'ils font varier la quantité d'acide en fonction du temps d'estérification et du niveau de FFA final. Moi de mon côté j'ai cherché à introduire ces deux variables pour essayer à faire une régression multi variables avec plusieurs regresseur mais j'ai vu que la valeur de R2 correct n'augmentait pas donc les variables candidats comme regresseur n'était pas significatif. Donc j'ai décidé de procéder avec un seule regresseur c'est-à-dire le niveau de FFA initial qui réussit à bien expliquer un haut pourcentage de la variation d'acide sulfurique injecté dans la réaction d'esterification.

En comparant la fonction actuellement utilisée avec les données empiriques de production :

On peut tout de suite noter qu'en théorie à chaque niveau de FFA (variable indépendante) correspond une seule quantité d'acide (variable dépendante) à injecter mais comme on peut voir des données empiriques ça ne se passe pas du tout comme ça.

En Effet en analysant les données de production on peut donc noter que pour ce qui concerne le B100 la relation entre FFA initial et H₂SO₄ injecté est presque linéaire et la dispersion des donnés n'est pas grande mais on n'a pas absolument une quantité constante d'acide injecté qui correspond à chaque niveau de FFA initial. Donc pour chaque FFA initial on peut rencontrer un petit intervalle de H₂SO₄ injecté et c'est pour cette raison qu'on peut quand même bien moduler cette relation avec une fonction linéaire. Donc il

semble tout d'abord trompé de laisser les deux traits horizontaux qui se retrouvent pour des niveaux des FFA bas ou haut parce que aussi dans ces deux traits il y a une grande variabilité qui peut être bien modulé avec un ligne droite continu.

Pour supporter cette thèse on peut aussi noter que le R² de la régression linéaire est très haut (0,80) et ça signifie que la relation entre FFA initial et H₂SO₄ injecté dans le procès peut être bien modulé à travers une équation linéaire qu'on peut visualiser sur le plan X-Y comme une ligne droite. La valeur du R² de la régression peut varier entre 0 (aucun adaptation) et 1 (adaptation parfait) et sa valeur mesure la fraction de la variance de Y (dans ce cas l'acide sulfurique) expliqué par X (dans ce cas le niveau de FFA initial).

L'équation linéaire de régression obtenue est la suivant :

H₂SO₄=f (FFA initial)

$Y=f(X) \rightarrow Y=mx + q \rightarrow Y=0,3507X + 3,0151 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (litres)} = \text{FFA}(\% \text{mol}) + 3,0151$

Donc on peut noter les deux paramètres de notre régression qui sont :

$m= 0,3507$

$q= 3,0$

On peut analyser le significat qui vont assumer les deux paramètres de notre équation linéaire :

$M= dY/dX$ graphiquement est la pente de la ligne droite de régression me dit comment va varier la quantité Y (de H₂SO₄) pour une variation unitaire de la quantité X c'est à dire de la quantité de FFA initial. Donc dans notre cas on peut voir que pour une variation unitaire de FFA initial amène à une variation de 37,5% de la quantité de H₂SO₄ injecté. En plus en ayant obtenu une régression linéaire avec une ligne droite on peut noter qu'on aura une proportionnalité directe représentée par la constante m.

q = est la valeur qui reste même si le FFA initial est 0 c est à dire est la quantité de H₂SO₄ qu'il faut injecter même si le FFA initial est égal à 0. Dans notre cas il n'a pas beaucoup de sens parce qu'il ne se peut jamais d'avoir un degré de FFA exactement égal à zéro mais pour des valeurs des huiles qui ont des valeurs de FFA initial voisin à 0 on peut prendre ce résultat donc

$\text{Lim FFA} \rightarrow 0^+ (F(\text{FFA initial}))= 3$

C'est à dire pour des niveaux bas de FFA on aura une quantité de H₂SO₄ qui est voisin à 3.

La valeur haute du R² représente la variance de la variable dépendante Y (Acide sulfurique injecté) expliquée par la seule variable de régression X (FFA initial). La valeur haute de R² signifie qu'il y a un lien très strict entre FFA initial et H₂SO₄ injecté : la variation d'acide est bien expliquée par le niveau de FFA initial et donc il semble qu'il n'y a pas de variables omis qui sont relevant.

Donc si on compare la fonction obtenue avec la régression linéaire avec celui qu'on utilise actuellement on peut noter que la ligne droite de régression n'a jamais de trait horizontal ou à plusieurs niveaux de FFA correspond la même quantité d'acide. Par contre dans la fonction actuellement utilisé au-delà d'un niveau de FFA supérieur à 50 et inférieur à 4 on va utiliser la même quantité d'acide et ça n'est pas respecté dans les données empiriques ou on a toujours beaucoup de variabilité même pour cette gamme extrême des valeurs.

Précision d'estimation : j'ai calculé l'erreur moyenne d'estimation avec la régression linéaire en faisant la différence entre la valeur effective et la valeur estimé avec la fonction de régression. J'ai pris la valeur absolue de cette différence et je l'ai rapporté à la valeur effective pour obtenir une erreur de pourcentage qui est plus significatif qu'une erreur absolue. Après avoir calculé tous les erreurs relatives j'ai pris la moyenne géométrique qui ne souffre pas de la propriété de compensation comme la moyenne arithmétique. J'ai obtenu une incertitude du 6% qui est très bas.

8.1.3- B8 : RELATION H₂SO₄ INJECTEE & FFA INITIAL

Comme on a noté pour le B100 j'ai vu qu'essayer à faire une régression multivaribales avec plusieurs regresseur comme le temps d'estérification ou le niveau de FFA final amené à des fonctions de regression qui ne réussit pas bien à expliquer la variation d'utilisation de l'acide sulfurique.

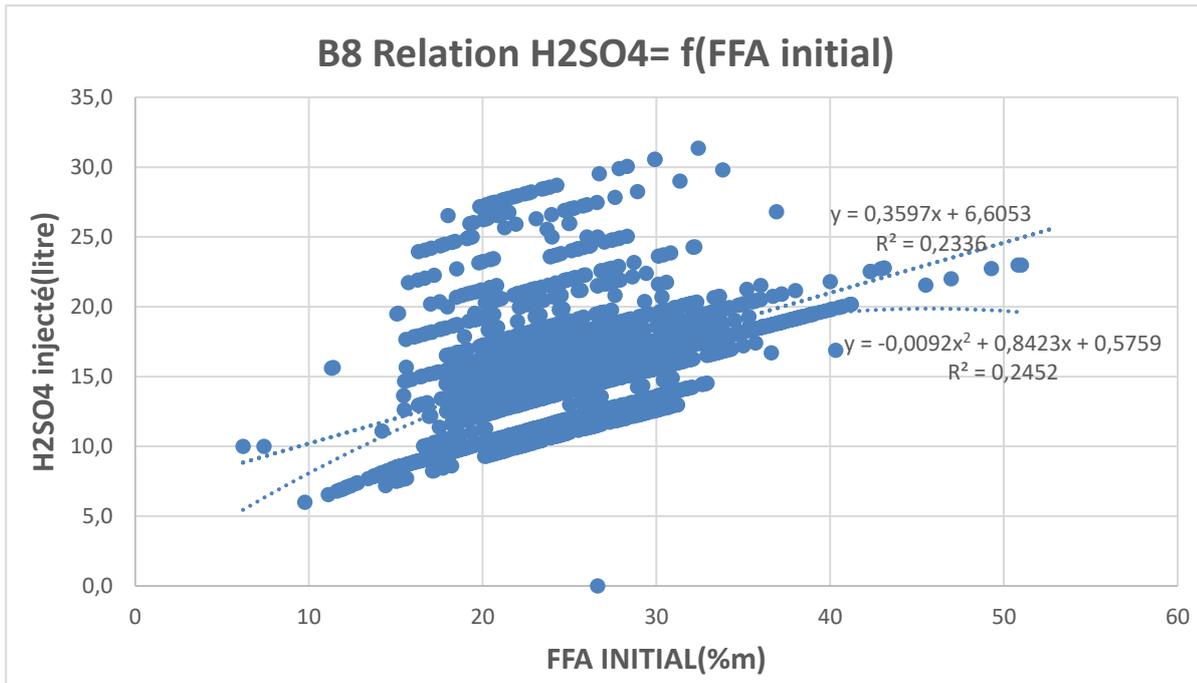


Figura 38 : Relation théorique de partance entre niveau de FFA initial et quantité d'acide sulfurique qualité B8

Pour ce qui concerne l'analyse des données de production de B8 on peut noter qu'il y a beaucoup plus de dispersions des données c'est à dire à que pour un niveau de FFA initial correspond une gamme assez grande des valeurs amissibles d'acide sulfurique injectée. C'est pour cette raison que dans ce cas la régression linéaire et en général la méthode des moindres carrés n'est pas totalement efficace : il est plus difficile de moduler cette relation directe avec une fonction. On peut avoir la confirmation de ça en observant la valeur de R2 de la régression qui est égal à 0,2336, beaucoup plus bas par rapport à celui qu'on avait trouvé pour le B8.

Donc on peut noter que dans le cas du B8 il est assez difficile de moduler la relation entre H2SO4 injecté et FFA initial, on peut noter que la fonction qui explique mieux est la polynomial de deuxième degrés avec un R2 pareil à 0,2452.

On peut analyser les paramétrés de la fonction polynomiale qu'on a trouvé qui est une parabole convexe dont le dérivé de deuxième degrés est négatif. ($\frac{d^2f(x)}{dx^2} < 0$)

La fonction que mieux réussit à expliquer cette relation est la suivante :

$$H_2SO_4 = f(\text{FFA initial})$$

$$Y = f(X) \rightarrow Y = -AX^2 + BX + C \rightarrow Y = -0,0092X^2 + 0,8423X + 0,5759$$

$$Dy/dx = -0,0184X + 0,8423$$

On peut noter que dans la dérivée première il est encore contenu le terme X ça c'est parce que on n'a pas de variation proportionnelle comme dans le premier cas du B 100 ou on avait une relation linéaire avec le coefficient constant m : dans ce cas une variation unitaire de FFA initial amené à une variation de la quantité de H₂SO₄ à injecter qui est toujours différent, ça dépend de la valeur de X c'est à dire de niveau de FFA initial.

La dérivée deuxième $dY/dX^2 = -A$ signifie que la dérivée première a un taux dégressif : c'est à dire à l'augmenter de FFA initial la quantité de H₂SO₄ augmente (pace que la dérivée première est positive) mais augmente d'un taux dégressif c'est à dire de moins en moins jusqu'à un taux négatif. Le point de maximum on peut le retrouver ou la dérivée première est égale à zéro :

$$-0,0184X + 0,8423 = 0$$

On trouve $X = 45,77$ qui correspond à $Y = 19,85$

Donc pour de valeur de FFA initial supérieur à 45,77 on aura une diminution de H₂SO₄ injecté c'est à dire après ce point la dérivée première va devenir négative. C'est un point où le degré de FFA initial est très loin de la moyenne qui pour le B8 est fixée à 24/25 FFA initial.

Ensuite on peut analyser la signification du terme C qui correspond à une valeur de FFA initial égal à 0. Comme dans le cas précédent la valeur de FFA initial égal à 0 n'existe pas mais on peut noter que par rapport au B100 pour des valeurs de FFA initial bas, voisin à zéro, la valeur de H₂SO₄ à injecter est plus bas et égal à 0,5759 (dans le cas du B100 était égal à 3). C'est une donnée bizarre si on l'analyse comme output sans une vue critique parce que la moyenne de FFA initial de l'huile qu'on utilise pour faire du B8 est plus haut (égal à 24/25) par rapport à celui du B100 (égal à 16-17) mais peut être accepté comme on n'a pas de donné des huiles utilisé pour faire du B8 qui avait un degré de FFA initial voisin à 0.

Si on utilise une régression linéaire qui explique moins bien la relation en ayant une valeur de R² inférieure, on peut noter que la ligne droite qu'on a obtenue à la même pente de celui du B 100 mais est déplacée vers le haut de 3. L'interprétation de cette différence entre le B8 et le B 100 est facilement explicable parce que le B8 a une moyenne de FFA initial des

huiles usagées plus haut que le B 100 donc d'ici dérive la translation de la ligne droite vers le haut. Par contre pour ce qui concerne la variation incrémentale on peut la réassimiler au B100 ou moment où on a vu que la pente de la ligne droite est presque pareil dans les deux cas.

Précision d'estimation : comme il était possible de prévoir grâce à la dispersion des données la valeur de l'erreur calculée avec la même procédure du B100 est beaucoup plus haute que celui du B100, on l'a fixée au 17%. Donc dans ce cas la valeur effective en moyenne s'éloigne plus souvent de la valeur prévue par rapport au B100.

En comparaison avec l'analyse de la production du B100 on peut donc noter que modéliser la relation entre FFA initial et quantité d'acide sulfurique à injecter est certainement plus difficile pour le B8 et l'incertitude sera sûrement plus haute parce que comme on peut déjà noter en analysant le nuage de dispersion est assez grand. C'est à dire que pour chaque degré de FFA initial on correspond souvent plusieurs valeurs admissibles d'acide à injecter.

Une explication de cette différence peut être l'absence d'une variable omise dans l'analyse qui peut expliquer mieux la variance et faire augmenter le R2 de la régression par exemple en faisant une régression multiple ou il y a l'introduction d'un deuxième variable Z qui va à côté de la X (FFA initial) pour mieux expliquer la variance de Y (quantité d'acide sulfurique). En effet dans le cas du B8 on a seulement le 24% de la variance de quantité d'acide sulfurique qui est expliquée par le niveau de FFA initial. Si on pense au procédé du B8 et B 100 la différence la plus évidente est l'utilisation de la phase sup dans le B8 donc une solution pour obtenir une relation plus précise pourra être analyser quelques caractéristiques de la phase sup qu'on va remettre dans le procès du B8. Par exemple le niveau d'este ou d'eau pourrait influencer cette relation et mieux l'expliquer avec l'introduction d'un deuxième régresseur au de la du niveau de FFA initial et procéder avec une régression multiple

8.1.4- CONCLUSIONS & MODIFICATIONS DANS LA PRODUCTION

L'entreprise m'a demandé de recueillir les données empiriques de production afin de trouver une fonction plus simple de celui qui est utilisé actuellement qui nécessite toujours l'intervention des opérateurs pour la modifier. Pour ce qui concerne la relation entre acide sulfurique et niveau de FFA initial qui est une relation critique pour la production j'ai essayé de trouver une fonction qui bien réussi à expliquer cette relation.

Comme on a déjà noté on peut voir que dans le cas du B 100 on a réussi à trouver une fonction valide qui minimise l'erreur par rapport à la formule actuellement utilisé et pour le B8 la situation est plus complexe comme on verra.

Il faut tout d'abord noter qu'en observant les résultats empiriques donc il semble faux de calculer la quantité d'acide sulfurique à injecter dans le procès avec la même fonction soit pour le B100 soit pour le B8 parce que comme on a vu il y a beaucoup de différence entre les deux cas ou on a obtenu deux fonctions différentes. En effet maintenant on voit l'utilisation de la même fonction de départ pour déterminer la quantité d'acide qui va s'éloigner en fonction du temps d'estérification et du niveau de FFA final. Donc en analysant séparément les deux différentes qualités de Biodiesel on peut conclure :

- 1) Pour ce qui concerne le B100 on peut garder la relation linéaire trouvé qui réussit bien à expliquer la quantité d'acide en fonction de FFA initial. En effet on peut noter que le niveau de FFA initial tout seule réussit bien à expliquer la variation de la quantité d'acide injectée dans la réaction les autres variables de production analysées n'ont pas une valeur de corrélation haute et si on va les joindre pour faire une régression multi variables la valeur de R2 correct va diminuer parce qu'on va introduire un régresseur pas significatif qui n'explique pas mieux la variation de la quantité d'acide sulfurique utilisée.

Donc la nouvelle fonction obtenue est la suivant :

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ (litres)} = 0,3507 * (\text{FFA \%m}) + 3,0151$$

Pour avoir un retour correct des unités des mesures :

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ litres} = 0,3507(\text{litres}) * (\text{FFA \%m}) + 3,0151(\text{litres})$$

On peut voir que par rapport à l'autre fonction qu'utilisait on n'a pas des traits horizontaux qui se trouvent pour de niveau haut ou bas de FFA initial mais on a une fonction qui est une ligne droite. En effet on peut noter que aussi dans les deux extrêmes c'est-à-dire pour de niveau de FFA initial haut ou bas il y a beaucoup de variabilité c'est-à-dire qu'on n'a pas une correspondance précise entre un niveau fixé de FFA et l'utilisation d'acide sulfurique.

Dans le cas du B100 on a obtenu une fonction avec une marge d'erreur sur la quantité d'acide sulfurique injecté du 6 % qui est très bas et donc a été accepté par la production qui a décidé donc de changer de fonction et voir comment ça passait.

En ce qui concerne le B8 il est actuellement difficile d'établir la relation avec une fonction qui approxime avec précision cette relation parce qu'il y a beaucoup de dispersion de données. En effet on peut noter que pour chaque degré de FFA initial il y a un intervalle assez grand de valeur admissible de quantité d'acide sulfurique injecté. On peut établir la relation entre le niveau de FFA initial et la quantité d'acide sulfurique injecté soit avec une relation linéaire et dans ce cas il suffit seulement de translater la ligne droite du B 100 vers le haut ou avec une relation polynomiale qui est plus précise mais pour laquelle on aura une fonction différente comme on vient analyser.

Donc dans ce cas comme on vient de voir on a trouvé une fonction qui réussit seulement à expliquer seulement le 30 % de la variation d'acide sulfurique injectée dans la réaction qui est notre variable dépendante.

Si on analyse la différence entre le procès de production du B8 et B100 on peut tout de suite voir que la première grande différence est la rémission de la phase sup dans le procès pour ce qui concerne le B8.

SUGGESTION POUR LA PRODUCTION

Donc une solution pourrait être d'analyser des caractéristiques de la phase sup qui peut donc influencer la quantité d'acide sulfurique à introduire dans la réaction parce qu'il contient déjà un pourcentage d'este qui est déjà le produit de la réaction et qui peut donc influencer l'équilibre réversible de la réaction d'estérification.

Donc dans ce contexte si on va noter pour chaque campagne de B8 le pourcentage massique d'este contenue il serait possible de faire une analyse multi variable.

C'est-à-dire qu'on peut joindre dans la fonction qui maintenant a une seule regressueur significatif (le niveau de FFA) une variable autre significative qui à côté du niveau de FFA initial réussit mieux à expliquer la variation de la quantité d'acide sulfurique.

Dans ce cas je souhaite d'obtenir une valeur de R2 correcte de notre régression multi variable supérieure et donc obtenir une fonction qui réussit bien à expliquer la variation d'acide sulfurique injecté. Dans ce cas aussi l'erreur de la fonction de régression sera surement inférieur à celle qu'on a obtenu maintenant avec un seul regressueur.

On pourrait par exemple analyser des autres données critiques de la phase sup qui actuellement ne sont pas du tout analysé parce que ça crée naturellement des couts en plus pour les analyses à faire. Maintenant la phase sup a été analysé une seule fois par une société à l'extérieur.

Par exemple il y des autres valeurs intéressantes à analyser de la phase sup qui peuvent influencer la réaction d'estérification comme le teneur d'este qui peuvent influencer la réaction d'estérification et son temps.

Il serait donc très intéressant et j'ai proposé au directeur de l'établissement de recueillir cette donnés et après avoir obtenu l'analyse de la phase sup utilisé pour différentes campagnes de B8 ça serait possible de procéder en obtenant une fonction plus significative et précise après avoir ajoutées des variables significatives.

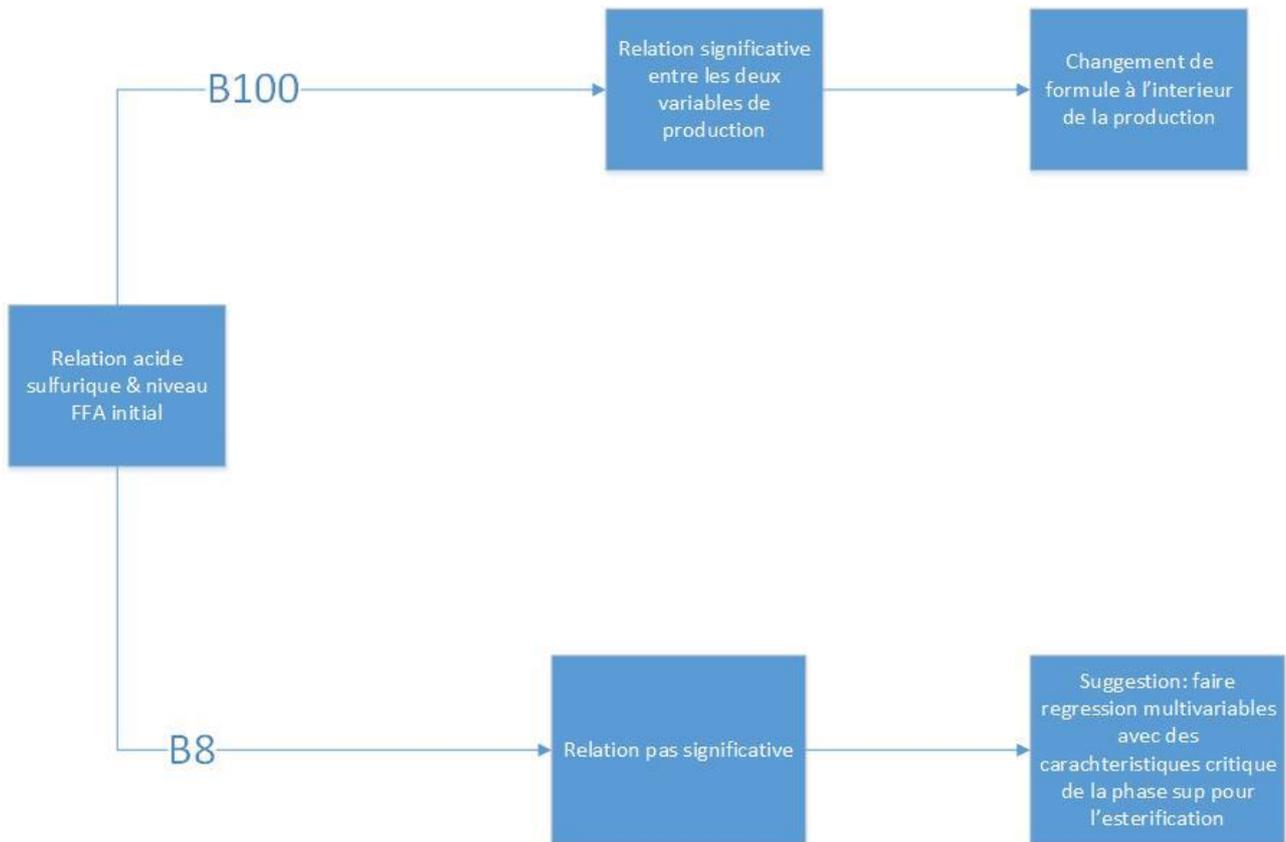


Figura 39 : Conclusions relation entre quantité d'acide sulfurique et niveau FFA initial qualité B100&B8

8.2- RELATION AVEC LE TIMING D'ESTERIFICATION

Une variable critique qui m'ont ultérieurement demandé d'étudier et chercher de contrôler ou au moins prévoir est le timing d'estérification c'est-à-dire la durée de la réaction d'estérification qui est toujours variable. Le timing d'estérification est très critique parce que la durée d'une réaction d'estérification est très variable et ça dépend de plusieurs facteurs. En effet on sait que la réaction d'estérification a un équilibre réversible donc il semble rationnel penser que si on va injecter plus de catalyseur (acide sulfurique) ou réactif (méthanol) on va déplacer l'équilibre vers le produit, mais dans ce cas comme on verra dans les analyses qu'on va conduire ceci n'est pas démontré.

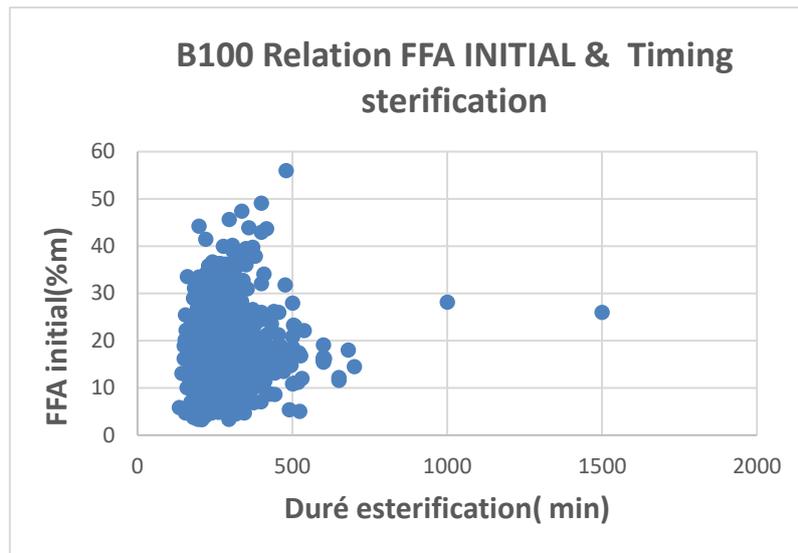


Figura 40 : Relation entre durée esterification et niveau de FFA initial

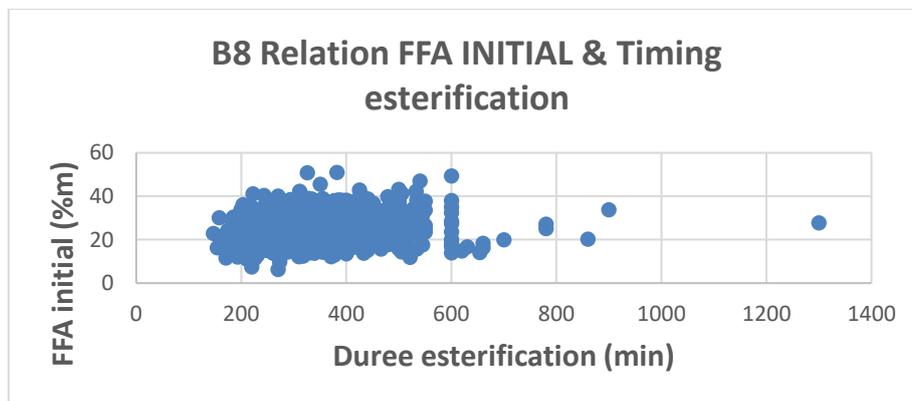


Figura 41 : Relation entre durée esterification et niveau de FFA initial

RELATION FFA INITIAL DUREE ESTERIFICATION B100

En regardant le nuage des données de production on peut noter que la dispersion n'est pas grand c'est à dire que pour chaque degré de FFA initial la variation temporelle de la durée de la réaction d'estérification autour d'une valeur moyenne n'est pas grand. C'était aussi prévisible ou moment où on a trouvé une fonction qui réussit à bien expliquer la relation entre FFA initial et H₂SO₄ injecté pour le B100.

En effet cette régularité se manifeste aussi dans le temps de réaction d'estérification, s'il n'y a pas des inconvénients pendant la réaction il semble normal qu'on mette la même quantité d'acide pour le même degré de FFA initial on aura des temps de réaction qui ne

sont pas totalement différents les uns des autres. On peut observer ça en regardant le nuage qui est assez strict pour en ce qui concerne le B100.

La distribution et la valeur de R^2 des fonctions qu'on a toujours utilisées pour décrire des relations dans ce cas donne des résultats peu précis ($R^2 = 0,01$ est une valeur pas significative). Mais en observant le nuage des données on peut voir que la distribution rassemble une distribution normale.

Pour soutenir l'hypothèse d'une distribution normale de la relation entre ces deux variables on a calculé tout d'abord la valeur de la corrélation à travers le coefficient Pearson, le résultat $\rightarrow R = 0,11$ est représentatif d'une corrélation basse entre les deux variables. Ensuite on a fait le test t qui confirme que les deux variables ont un lien casuel.

RELATION FFA INITIAL DUREE ESTERIFICATION B8

En comparaison avec le graphe du B100 dans le cas du B8 on peut tout de suite noter que le nuage des données est plus dispersé : à chaque degré de FFA initial correspond un intervalle admissible de durée de réaction d'estérification plus grand.

Pareil à ce qui s'est passé avec le B100 aussi dans ce cas il y a des problèmes à moduler la relation avec une fonction qu'on connaît bien parce qu'on a comme output un R^2 de la régression très bas donc on explique vraiment presque rien de la relation mais on peut observer qu'une distribution normale des données est possible aussi dans ce cas.

Donc aussi dans le cas du B8 on a fait le test de corrélation et de normalité de la distribution et on a eu des résultats positifs. (R Pearson = 0,31 qui signifie corrélation moyenne et $t=0$ qui confirme la non casualité de la relation.

Suggestion à la production : sa serait possible de mettre en relation des caractéristiques de la phase sup à joindre comme regresser dans la relation entre la variable dépendante (Durée de l'estérification qui est la variable qu'on veut expliquer) et notre regresser qui est le niveau de FFA initial. En effet dans ce cas comme la phase sup influence la réussite de l'estérification si on va noter pour chaque campagnes de B8 des caractéristiques de la phase sup qui influence la réaction d'estérification on pourra obtenir une relation plus

précise après avoir joint ces variables à notre analyse de régression. Dans ce cas il semble donc qu'une régression multi variables avec des nouvelles variables qui ne sont pas encore noté peut nous aider à trouver une fonction avec un R2 plus haut qui réussira donc à expliquer un pourcentage supérieur de notre variable indépendante (le timing d'estérification).

Le timing d'estérification a été objet de d'étude par la production parce que si on va diminuer le temps estérification on pourra aussi produire plus de Biodiesel donc plus output à vendre sur le marché, ça serait comme un investissement en capacité productive qui maintenant est bloqué par le temps long de l'estérification à suite de laquelle on a la transesterification et puis la séparation entre biodiesel et glycérine.

En effet en ayant seulement trois réacteurs d'estérification la seule moyenne pour augmenter la production serait d'accélérer cette réaction en réduisant le temps d'estérification.

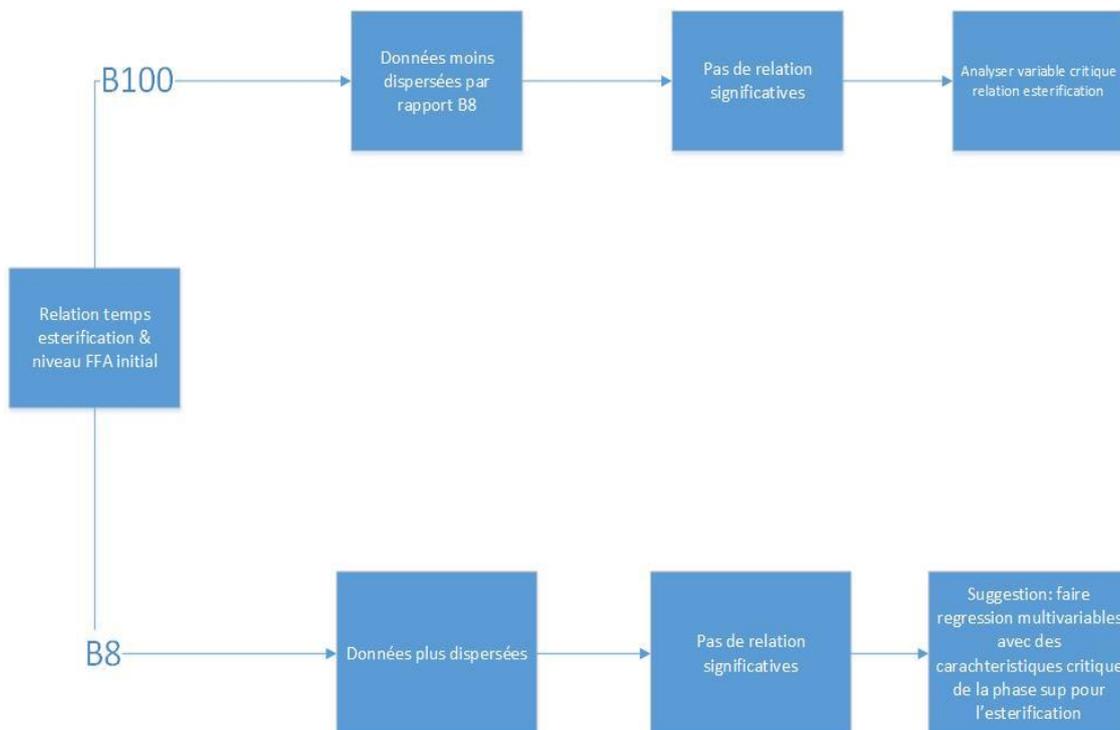


Figura 42 : Conclusions relation entre estérification et niveau de FFA initial

9- PARAMETRES REACTION TRANSESTERIFICATION

On peut reprendre la réaction de transesterification ci-dessous pour mieux comprendre les variables en jeux :

Réaction \rightarrow Triglycérides + MeOH +KOH \rightleftharpoons Ester +Glycérine

KOH=hydroxyde de potasse=catalyseur

MeOH= méthanol=réactif

KoMe= KOH+MeOH

Dans le procédé de transesterification on voit la séparation entre le biodiesel et la glycérine. Dans ce cas il y a la transformation des triglycérides. Dans cette réaction on va utiliser comme réactif du MeOH. La quantité de KOH est utilisée en partie comme catalyseur et aussi pour neutraliser de l'acide sulfurique qui reste à la fin de l'estérification.

La quantité de KO ME qui est mis dans la réaction est choisie en théorie en fonction négatif du degré de FFA initial mais positif des triglycérides.

Pour le B 100 on peut noter que plus le niveau de FFA est haut, moins il y aura de triglycérides à transformer et par conséquence il sera requis moins de KO Me. En effet dans le cas de production du B 100 on a l'utilisation des huiles usagées qui se composent au niveau massique par :

Input procédé= HAU (100%)= triglycérides (X %)+FFA (Y%)

Ou on peut voir la relation au niveau absolue en Kilogramme :

HAU (Kg) =Triglycerides (Kg) + FFA (Kg)

Pour le B8 on il est un peu différente parce que on a comme input dans le procédé la phase sup qui contient des triglycérides (6%) et de l'esté (50%) et autres donc la relation n'est pas trop directe comme dans le cas du B 100. Les pourcentages utilisés sont des pourcentages au niveau massique.

Input du procédé = HAU +phase sup= Triglycérides + FFA + (6% phase sup) +(50% phase sup) + (44% phase sup)

On peut noter que l'input du procédé total du B 100 et du B 8 est constant c'est-à-dire que la quantité de matière en entrée c'est la même pour les deux qualités différentes de biodiesel.

C'est-à-dire que si en B100 on a 3 tonnes heures d'HAU en entrée pour le B 8 on aura par exemple 2 tonnes heure d'HAU et 1 tonnes heure de phase supérieur qui va se mélanger comme input aux huiles usagées. Mais comme on peut noter on a la même quantité de matière (3 tonnes heure) soit pour le B 8 que pour le B 100.

On peut voir comment on peut diviser les différents pourcentages de phase sup qui est injecté pour la production du biodiesel B8 :

(6% phase sup) → Triglycerides

(50% phase sup) → Esté

(44% phase sup) → Autres

Dans ce cas pour décider la variable indépendante (régresseur) et celle dépendante j'ai demandé au spécialiste chimiste et ils m'ont dit que la quantité de Kome est mis dans le procédé en fonction positif des triglycérides. Comme dans les données de production il n'y avait pas l'indication directe du niveau de triglycérides on l'a toutefois facilement déduite par le niveau de FFA initial. En effet pour ce qui concerne le B100 en sachant que le poids d'huile = poids de triglycérides + FFA initial si on prend en considération un poids constant d'huile dans le processus si le niveau de FFA augmentera le niveau de triglycérides sera plus bas et donc aussi le réactif qui est la quantité de Kome. Pour cette raison on attendra une relation négative entre le niveau de FFA initial et l'utilisation de Kome et

c'est confirmé aussi dans la matrice de corrélation où il y a l'indication d'une corrélation négative dans la cellule FFA initial-Kome.

Pour le cas comme on a dit B8 c'est un petit peu différent parce qu'on a aussi l'introduction de la phase sup qui s'ajoute aux huiles donc la relation ne sera pas aussi directe. La phase sup qui est remise dans le procédé avec les huiles usagées contient de l'ester (50% massique) des triglycérides (6% massique). Donc on va analyser comme souvent les cas du B8 et B100 avec la relation entre Kome et degrés de FFA initial. On a essayé de joindre des autres variables de production pour essayer de faire une régression avec plusieurs variables qui réussit mieux à expliquer la variation de la variable dépendante (la quantité de Kome) mais on a vu que la valeur de R^2 se baissait ou restait pareil donc les autres variables ne réussissent pas à mieux expliquer la quantité de Kome utilisée dans la réaction de transestérification. Donc comme on verra on a trouvé des relations significatives entre deux variables (Y et X) sans utiliser la régression multivariée avec plusieurs régresseurs qui nous a amené des résultats moins précis c'est-à-dire à des valeurs de R^2 plus basses que celles qu'on a trouvées avec des régressions entre la variable Y

9.1- RELATION QUANTITE DE KOME & FFA INITIAL

B100 : RELATION KOME FFA INITIAL

On peut noter que pour le B100 la fonction qui réussit mieux à représenter la relation entre la quantité de KOME et le degré de FFA initial est une fonction polynomiale de troisième degré. En effet la régression linéaire réussirait à expliquer seulement un pourcentage réduit de cette relation avec une valeur de R^2 plus basse.

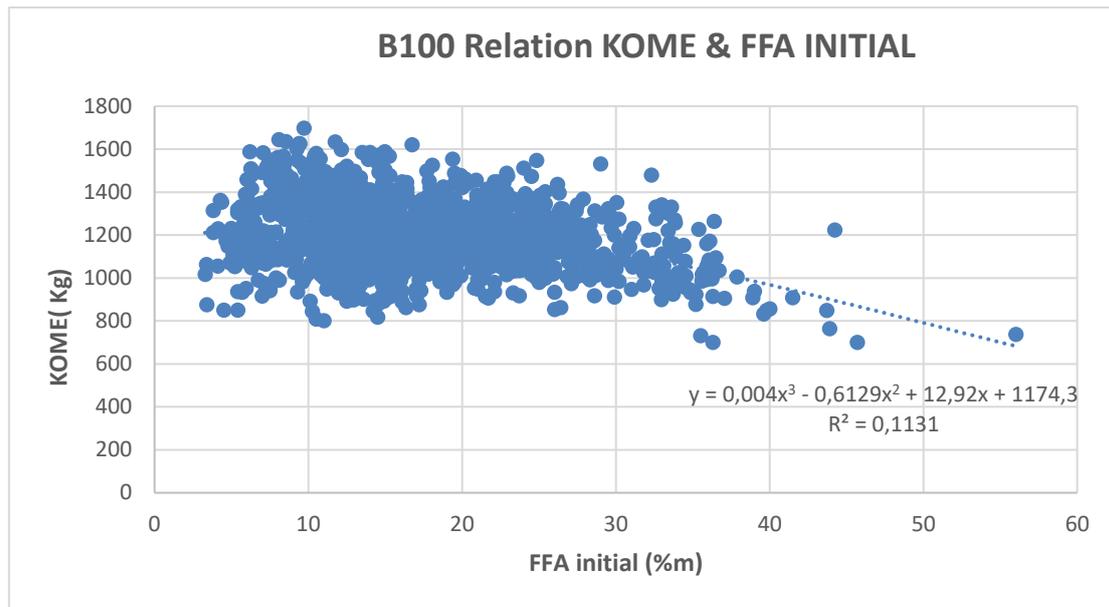


Figura 43 : Relation entre quantité de Kome et niveau de FFA initial

Si on analyse la fonction obtenue on peut noter que le max est pour la limite de FFA $\rightarrow 0$ c'est à dire pour un niveau de FFA minimal qui comme on voit des données empiriques qui arrivent au minimum à 3.

La fonction obtenue est toujours décroissante mais pas à taux constant comme on pouvait retrouver avec une régression linéaire. Le terme note $C=1174,3$ est la valeur qui assume la fonction pour $X=0$ c est à dire pour un niveau de FFA égal à 0, comme cette situation ne se passe jamais on pourrait interpréter cette donnée en considérant que pour un niveau très bas de FFA initial la quantité de Kome sera voisin à la valeur $C=1174,3$.

Si on va calculer la dérivée première nous obtenons deux solutions et si on regard graphiquement la courbe obtenue sera un max et un min de notre fonction considérée dans le domaine $0 \rightarrow +\infty$

$$Dy/dx = 0,004 \cdot 2 \cdot x^2 - 0,6129 \cdot 2 \cdot x + 12,92 = 0$$

$$X \text{ max (FFA initial=14)} \rightarrow Y \text{ max=Kome= 1246}$$

$$X \text{ min=1 (FFA initial =1)} \rightarrow Y \text{ min=Kome=1186}$$

Précision d'estimation : Pour ce qui concerne l'erreur d'estimation à cause de la dispersion des données empiriques on a obtenu une erreur du 15%. Ce résultat était prévisible en voyant la valeur assez basse du R^2 de la régression polynomiale. En qui concerne la

transesterification du B 100, il est plus critique obtenir une fonction qui réussit avec une marge d'erreur réduite à établir une relation.

9.1.2- B8 : RELATION KOME & FFA INITIAL

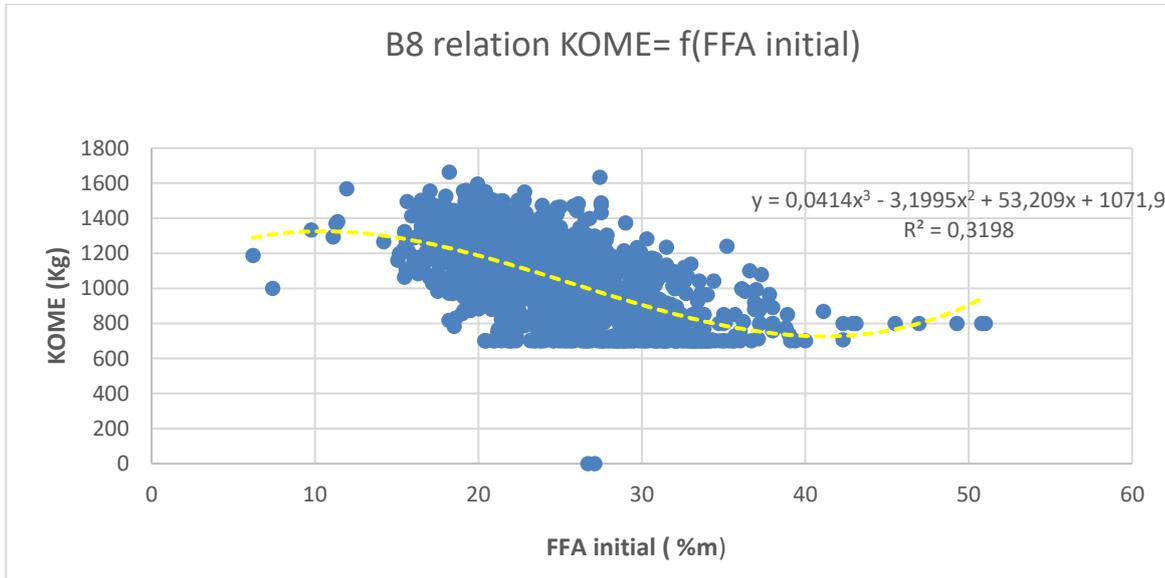


Figura 44 : Relation entre niveau de FFA initial et quantité de KOME

On peut noter que la fonction qui mieux réussi à moduler c'est une fonction polynomiale de 3 degrés. Des analyses empiriques il semble qu'il y a une limite inférieure de 700 sous le quelle on ne va jamais. Dans ce cas on aura une fonction avec un max et une min si on considère un intervalle de FFA qui commence à partir de 6 FFA jusqu' à 60. Si on calculer la dérivée première en la posant égale à zéro on aura :

$$Dy/dx=3*0,0414X^2-3,1995*2*x+53,209=0$$

$$X \text{ min}= 42 \rightarrow Y \text{ max}= 1325$$

$$X \text{ max}=11 \rightarrow Y \text{ min}= 730$$

Précision d'estimation : Dans ce cas contrairement à ce qui s'est passé pour le B100 on est réussi à obtenir une fonction avec une marge erreur d'estimation du 9% et peut être considérée une estimation acceptable et qui peut donc être intégré dans la production.

Pour ce qui concerne la proportion entre l'utilisation du méthanol et du KOH (hydroxyde de potasse) on peut noter qu'au niveau chimique il faut respecter des proportions précises. On a donc aussi cherché de trouver une relation empirique entre les deux variables utilisées dans le procédé afin d'en simplifier l'utilisation.

9.2- RELATION KOH & MEOH

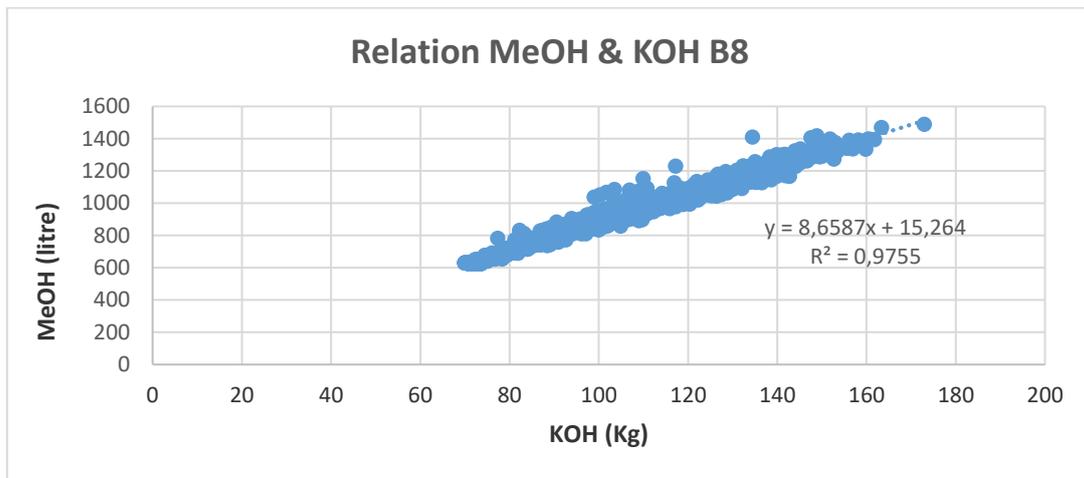


Figura 45 Relation entre quantité de Méthanol et quantité de KOH qualité B8

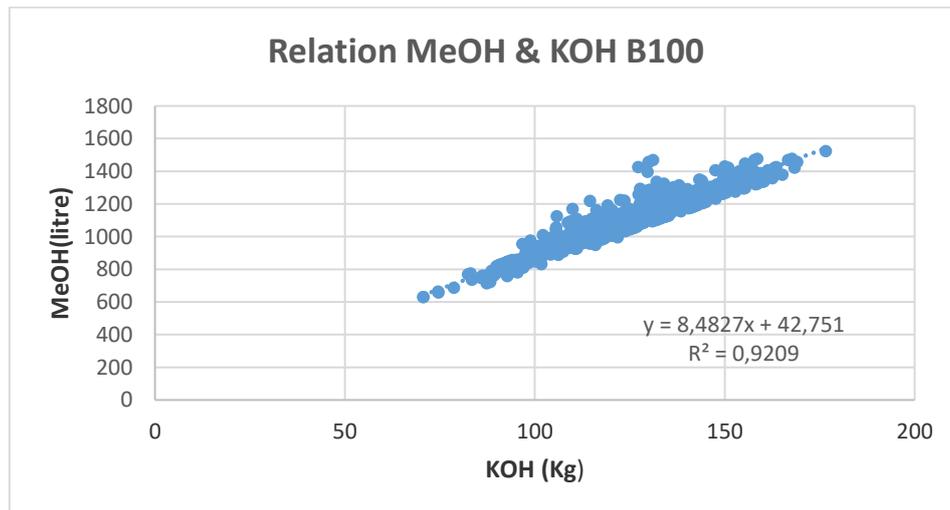


Figura 46 Relation entre quantité de Méthanol et quantité de KOH

En analysant la relation entre MéOH et KOH on peut noter que la pente de la ligne droite de régression est presque pareil, ce qui change est l'intersection qui pour le B 100 est

décalé vers le haut : c'était bien prévisible parce que le B100 part d'un niveau de FFA en moyenne plus bas donc l'utilisation de Kome (KOH +MeOH) sera plus haut que dans la production de B 8.

L'inclinaison de la ligne droite nous informe la proportionnalité qui reste identique soit pour le B100 et soit pour le B8 : pour chaque unité en plus de KOH on aura une augmentation constante presque du 9 (8,65) de la quantité de MeOH à injecter dans la réaction de trans esterification.

9.3- CONCLUSIONS & MODIFICATIONS DANS LA PRODUCTION

Donc comme on peut noter du nuage des données de production pour ce qui concerne la Trans estérification on a plus de dispersion pour les données du B100 que pour le B8. En effet comme on peut noter graphiquement en ce qui concerne le B100 pour chaque niveau de FFA initial pour le B100 on a une gamme des valeurs admissibles de KOME à injecter plus grand que celui du B 8. Dans le cas de la qualité B 100 donc on n'a pas réussi à trouver une relation significative entre les deux variables de production, on réussit à expliquer seulement l'11% de la variation de quantité de Kome injectée avec une erreur du 30% qui n'est pas acceptable pour le directeur de l'établissement. Ça n'est acceptable si on pense que pour chaque niveau de FFA on en correspondance une unité de mesure pour le Kome qui départ au minimum des de 1000 donc ça amène à des erreurs qui sont assez grand en valeur absolue.

Dans cette condition j'ai donné la suggestion d'essayer de noter des autres paramètres critiques qui entrent dans la réaction de transesterification qui maintenant ne sont pas enregistré pour commodité ou pour ne pas perdre du temps où ils ne sont pas du tout considérés. Par exemple il serait intéressant de noter la durée de la transesterification

Dans le cas du B 8 on réussit à établir la relation avec plus de précision : la valeur de R2 pour la régression du B 8 est plus élevée que celle du B100. Quand même il y a sûrement des variables significatives pendant la Trans estérification qu'on peut joindre à l'analyse pour mieux expliquer cette relation.

En ce qui concerne le B8 et B 100 donc dans ce cas les autres variables de production qui ont été mesurées ne sont pas directement corrélées à la quantité de Kome comme on peut noter dans la matrice de corrélation. On a essayé aussi d'ajouter des autres variables mais on a vu que la valeur de R2 n'augmentait pas mais diminuait. Donc les autres variables supplémentaires qu'on pourrait ajouter en plus pour effectuer une régression multi variables avec plusieurs regresser on a vu qui ne nous disait rien en plus sur la variation de la quantité e Kome.

Donc on a conclût qu'il n'y avait pas de variable omis dans notre analyse monovariate avec le seule regresser(niveau de FFA initial) qui réussit bien à expliquer tout seule la variation de notre variable dépendante.

C'est exactement le contraire de ce qu'on a noté pendant de l'estérification quand on a analysé le rapport entre acide sulfurique et FFA initial. Il serait intéressant de comprendre mieux la raison de cette différence.

En analysant les données empiriques il semble donc que la transesterification est plus régulière c'est-à-dire que les données sont moins étendues et il est plus facile de le moduler avec une fonction pour ce qui concerne le B8.

Une possible motivation de cette différence entre B8 et B100 est que la phase sup contient déjà du produit de réaction et ça peut rendre plus facile la séparation entre la glycérine et le biodiesel. Pour mieux comprendre cette relation on pourrait analyser la composition du B8 et du B 100 à la fin d'estérification et chercher une variable significative qu'on a omis à joindre à notre analyse comme regresser afin de réussir à expliquer mieux la variation de la quantité de Kome en fonction de plusieurs variables, pas seulement du niveau de FFA initial. Il est évident que le niveau de FFA initial réussi à expliquer seulement partiellement la variation de Kome.

Donc pour ce qui concerne la qualité de biodiesel B8 il a été accepté par le directeur d'établissement l'introduction de la fonction pour moduler la relation entre niveau de FFA initial et quantité de Kome pour simplifier et régulariser la production.

Cette fonction réussit à expliquer un pourcentage acceptable (presque 15%) de la variation de Kome utilisé pendant la transesterification.

En effet on a calculé qu'on aura une marge d'erreur assez bas (presque 6%) sur la quantité de Kome injecté pour chaque niveau de FFA et c'est une erreur acceptable.

La fonction retrouvée qui mieux approxime cette relation est une fonction polynomiale de troisièmes degrés qu'on peut résumer ci-dessous :

$$Y=AX^3+BX^2+C*X+D$$

Puis on peut substituer les coefficients A, B, C avec leur valeur en sachant que :

$$A=0,0414$$

$$B=-3,1995$$

$$C=53,209$$

$$D=1071,9$$

Donc si on va substituer les coefficients obtenus dans l'équation on obtient :

$$Y=0,0414*X^3-3,1995*X^2+53,209*X+1071,9$$

Maintenant on peut mettre les unités de mesures et indiquer aussi explicitement la variable dépendante (Y= Quantité de Komé(Kg)) mesurée en Kilogramme et la variable indépendante ou regressueur (X= FFA initial (%m)) indiqué en pourcentage massique des huiles usagées en entrée qu'on considère toujours un débit constant dans le temps. Donc en introduisant les variables dont je viens de parler l'équation devient :

$$KoME(Kg)=A*[(FFA initial(%m))]^3+B*[(FFA initial(%m))]^2+C*[(FFA initial (%m))] +D$$

Donc maintenant pour présenter une relation propre au et cohérent au niveau d'unité des mesures on peut conclure que :

$$A=0,0414 \text{ Kg}$$

B=-3, 1995 Kg

C=53,209 Kg

D=1071, 9 Kg

Donc en resumant:

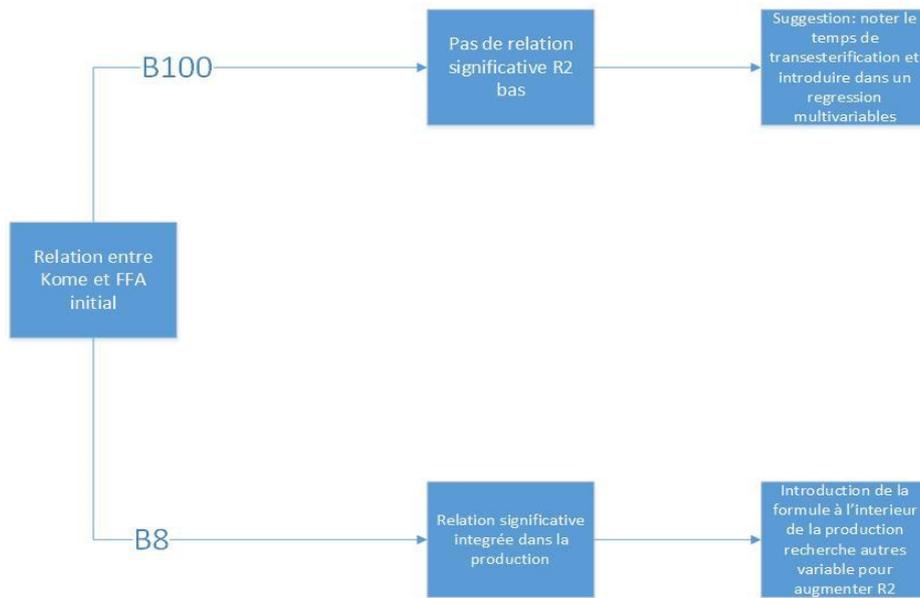


Figura 47 : Conclusions et suggestions relation entre Kome et FFA initial transesterification qualités B8 et B100

10- ANALYSE RENDEMENT BIODIESEL

Même s'il n'y a pas une grande variabilité de phase glycérine et phase bio dans les données de production il peut être important d'analyser leur relation pour le manipuler comme possible levier pour augmenter le rendement du biodiesel dans le processus productif.

Donc dans ce cadre en faisant référence à la matrice de corrélation je vais étudier les relations les plus évidentes, c'est à dire les relations pour lesquelles on a trouvé avec une valeur haute de corrélation.

1) Pour ce qui concerne le B100 seulement le phi glycérine a un rapport strict avec la quantité de Kome. Pour le B 100 l'unique relation de la phase bio est une corrélation positive très haut avec phi glycérine.

2) Pour ce qui concerne le B8 Les plus significatifs relations sont entre phase bio avec le degré de FFA final (corrélation négatif) et la quantité d'acide sulfurique injecté (corrélation positif).

On peut commencer en analysant les relations qui concerne le B 100 ci-dessous :

Pour le choix de la variable dépendante comme on voulait trouver des relations pour améliorer le rendement de biodiesel j'ai choisi d'utiliser la phase bio et comme régresseur (variable indépendant) la variable de production (comme la quantité de Kome) sur lesquelles on pourrait avoir la capacité d'agir pour modifier le rendement de biodiesel.

10.1- ANALYSE RENDEMENT QUALITE B 100

B 100 RELATION PH BIO PH GLY

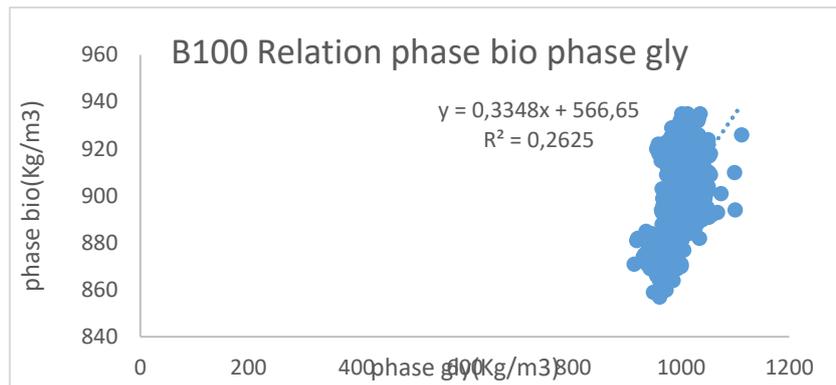


Figura 48 : Relation entre phase biodiesel et phase glycérine

La grande pente de la ligne droite qu'il y a une grande sensibilité entre les deux variables, c'est à dire que pour une petite variation de phase gly il y aura une grande variation de phase de bio. Cette relation est très importante parce que ça nous montre que pour augmenter la phase bio il faut quand même augmenter la phase glycérine (phase gly) mais déjà avec une augmentation de la phase glycérine petit on peut avoir des bonnes réponses de la phase bio. Donc de cette relation on voit que diminuer la phase glycérine et augmenter la phase bio semble être pas possible parce qu'ils sont liés par une relation positive.

En savant que la réaction la plus critique pour la création du biodiesel est la transesterification ou on a la séparation entre la glycérine et le biodiesel on a vu s'il y avait une corrélation, même pas linéaire, entre la quantité de Kome utilise en transesterification et le phi bio. Et dans ce cas on a trouvé une relation parabolique entre les deux variables. La fonction qu'on a obtenue est une fonction polynomiale de deuxièmes degrés avec la concavité vers le bas. Ci-dessous il y a la représentation graphique de la relation.

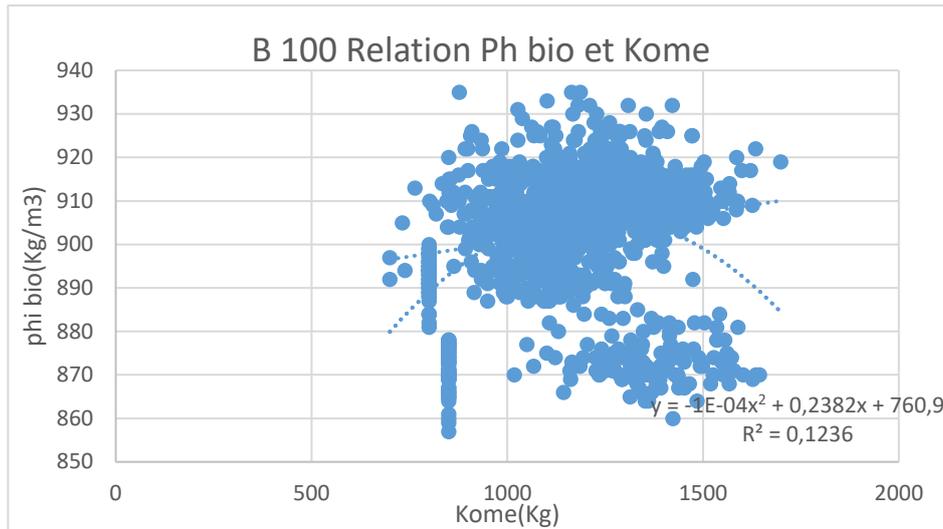


Figura 49 : Relation entre phase bio et quantité de Kome qualité biodiesel B100

On a aussi analysé la relation entre la quantité de Kome et la phase gly et dans ce cas on a trouvé une relation négative au contraire de la relation trouvée entre Kome et ph bio ou il y avait une partie croissant et une fois parvenu le maximum de la parabole une partie décroissante.

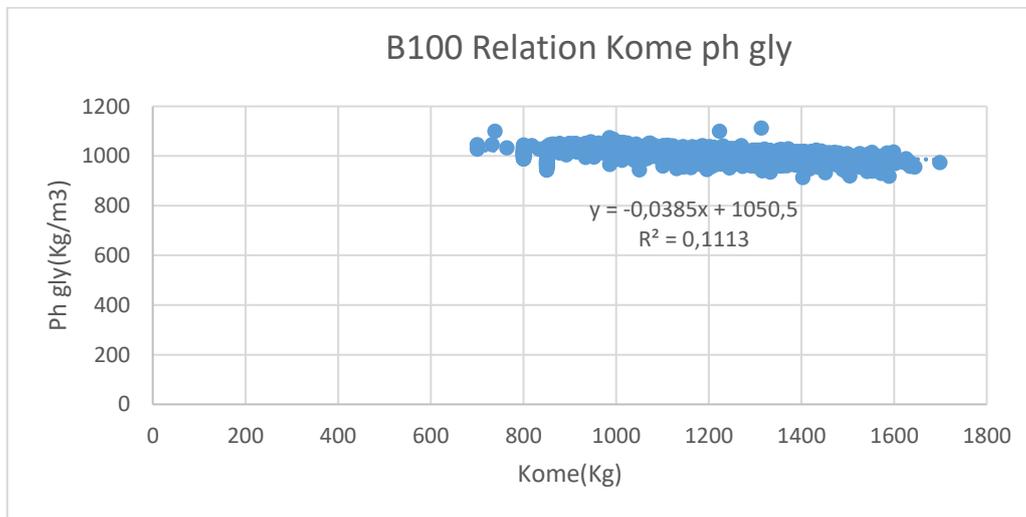


Figura 50 : Relation entre quantité de Kome et phase glycérine

Donc on peut noter une relation linéaire inverse entre la quantité de Kome et la phase gly pour le B 100, ça signifie qu'en augmentant la quantité de Kome on va réduire la phase gly (qui contient aussi la phase sup qui sera réutilisée dans le procès pendant la production du B8). Naturellement les valeurs de phase gly sont dans un intervalle assez limité. A ce propos la ligne droite de régression linéaire n'a pas une grande pente, on peut noter que pour chaque unité de 100 en plus de Kome on aura une diminution de la phase gly du 4.

10.1.1- CONCLUSIONS RENDEMENT B100

Pour ce qui concerne le B100 on peut noter

- 1) Une relation positif significatif entre phase gly et phase bio, il semble etre difficile donc reduire la phase gly et dans le meme temps augmenter la phase bio en faisant levier sur les données de production analysé
- 2) La phase gly de son coté a une faible correlation negatif avec la quantité de Kome et il est interessant de noter que meme si la phase gly et la phase bio sont directement lié par une relation significatif la phase bio avec la quantité du Kome a une relation different, c'est a dire une relation parabolique avec concavité vers le bas ou on peut donc noter une partie croissant puis apres avoir rejoint le maximum une partie décroissant.
- 3)

10.2- ANALYSE RENDEMENT QUALITE B8

Pour ce qui concerne le B8 on peut tout de suite analyser la relation entre la phi bio et glycérine et voir si est respecté aussi dans ce cas une relation positif comme on a vu avec le B100. Puis on poursuivra en analysant la relation très intéressante qu'on a trouvée dans la matrice de corrélation de la phase bio avec l'acide sulfurique et le FFA final.

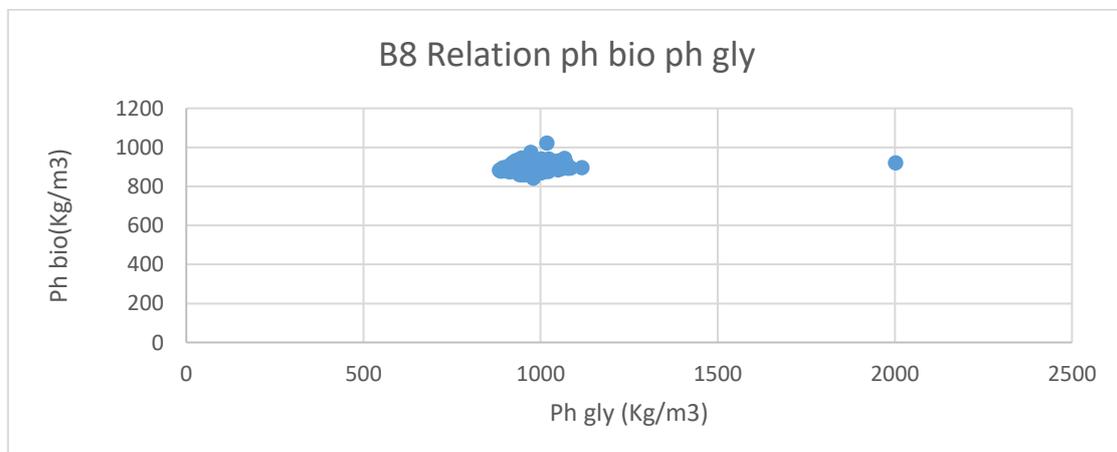


Figura 51 Relation entre phase bio et phase glycérine qualité B8

On peut tout de suite observer qu'ici les données sont beaucoup plus concentrées par rapport au cas du B 100. Aussi la pente de la ligne droite de régression est inférieure avec une R2 de régression très bas. Donc ce résultat est beaucoup moins significatif que dans le cas du B 100.

La relation la plus intéressante pour la phase bio du B8 sur laquelle il faut absolument prêter attention est la relation positive avec le niveau de FFA final. Cette relation est très importante parce qu'il est une relation entre la phase bio et une variable de production sur lesquelles on peut agir pendant le procès.

Cette relation positive nous montre que plus élevé (c'est à dire plus voisin à 1% qui est le maximum toléré) est le degré de FFA initial plus haut sera la phase bio.

On peut représenter ci-dessous cette relation très particulière : il semble que en terminant l'estérification avec un degré de FFA qui tend au maximum que dans notre cas est 1% de tolérance ça nous amène à obtenir un rendement plus haut de phase de biodiesel.

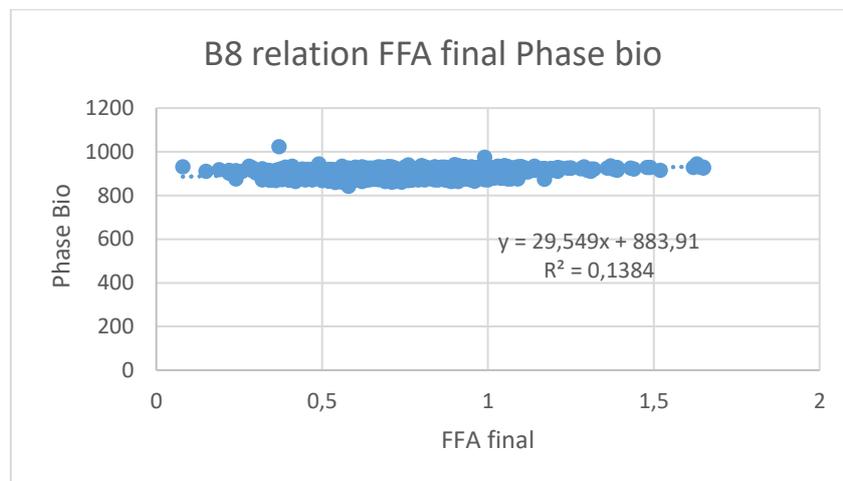


Figura 52 : Relation niveau FFA final et phase bio qualité B8

Dans ce cadre pour comprendre la motivation de cette relation on peut noter que la phase glycérine par contre a une corrélation négative avec le niveau de FFA final donc cette relation peut s'expliquer que si on va augmenter le niveau de FFA final on aura plus de phase bio et moins de phase glycérine. Je pense que sur cette relation il faudrait comprendre mieux la motivation et l'analyser mieux parce qu'il semble une moyenne pour augmenter la phase bio au détriment de la phase glycérine.

10.2.1- CONCLUSIONS RENDEMENT B8

Donc pour ce qui concerne le B 8 on n'a pas trouvé une relation directe entre la phase bio et la phase glycérine comme dans le cas du B100 où ces deux variables étaient liées par une relation positive donc il semblait pas possible d'augmenter une phase au détriment de l'autre.

Cependant dans le cas du B8 on a réussi à trouver une relation très intéressante entre FFA final et phase bio :

- 1) Pour ce qui concerne la relation entre phase bio et le niveau de FFA final on a trouvé une relation linéaire positive, c'est à dire si on augmente le niveau de FFA final le plus proche à 1% on aura un rendement de la phase de bio supérieur
- 2) Pour ce qui concerne la relation entre phase glycérine et niveau de FFA final la relation est négative, donc dans ce cas l'augmentation de FFA final le plus proche au limite qui est 1% amène à une diminution de la phase glycérine

Je pense que ce résultat est très important parce qu'on a réussi à trouver deux relations antisymétriques : il semble une moyenne dans laquelle on peut diminuer la phase glycérine qui représente quand même un pourcentage de déchet (même si une partie sera phase sup) en augmentant la phase bio qui pour nous est l'output de production à maximiser.

11- PRESENTATION PROJECT POMPE EMBARQUEE

Objectifs principaux : Installer sur tous les camions de collecte des huiles usagées en France des pompes embarquées standardisées et autonomes.

Dans cette façon on réussirait à :

- Optimiser la collecte, en créant un skid embarqué, autonome et standardisé : s'affranchir des problèmes d'indisposition des camions de collecte
- Réduire et faciliter la maintenance : Créer un système modulaire (pièces interchangeables entre skids) avec un réseau fort de fournisseurs afin de n'avoir pas de problème pour des pièces de change.
- Pomper les fûts des clients dans des cuves : Economiser en considérant tout le processus lié à la collecte, lavage et emballage des plusieurs fûts qui arrivent et partent quotidiennement de DIELIX. Il faut aussi considérer que dans le camion 5 fût de 150L occupent la place d'un IBC¹ mais ils peuvent transporter 250 litres en moins d'huile.

Pour la conception d'un nouveau prototype de pompe embarquée on est parti en observant le prototype actuellement installé sur le camion du chauffeur, ci-dessous j'ai remarqué les problématiques techniques et les besoins du chauffeur.

11.1- PROBLEMATIQUES TECHNIQUES SKID ACTUEL

- Actuellement le Skid en dotation sur deux camions dépasse les 1200 mm en longueur de la palette sur laquelle il est installé et ça rend difficile la manutention mais aussi le travail du chauffeur. Il faut maintenir la dimension d'une palette pour le skid afin de ne pas perdre de l'espace pour les IBC à mettre à l'intérieur du camion.

¹ IBC= Intermediate Bulk Container (1m3)

Au-delà de l'économie d'espace, l'encombrement du skid identique à celui d'une palette a aussi une raison technique : pour être bien fixe dans le camion le Skid doit avoir un IBC d'un côté et une autre en face. Pour cela, le skid doit faire une largeur maximale de 1000 mm.

Comme on peut voir dans la photo ci-dessous actuellement il y a une partie de tuyauterie qui dépasse complètement l'encombrement de la palette. Donc il faut prévoir un schéma de la tuyauterie plus agréable et compact qui permet de rester dans les dimensions 1200x1000 mm.



Figura 53 : Photo prototype sur le camion ou la tuyauterie dépasse l'ouverture latéral du camion Veolia

- Il est nécessaire que le charriot transpalette puisse prendre le Skid des 4 côtés sans avoir aucune sens préférentielle donc il faut standardiser le châssis afin que tous les charriots qu'on a en France réussissent à faire descendre la pompe embarquée du camion avec facilité.

La pompe embarquée actuelle n'est pas accessible des 4 côtés.

- Le positionnement du moteur thermique et de la pompe qui se trouvent l'un sur l'autre accouplés avec une courroie de transmission crée beaucoup de criticités :

La courroie de transmission à distance entre le moteur thermique et la pompe crée beaucoup de vibrations et bruits et c'est dangereux soit pour la structure (une vis sur le châssis s'est déjà coupée); soit pour le chauffeur qui doit travailler dans une ambiance sonore désagréable. Ensuite il faut considérer que la collecte est effectuée le matin très tôt et beaucoup de clients sont situés dans le centre de ville donc on pourrait avoir sûrement des problématiques et des plaintes. Une transmission directe sur le même plan pourrait éviter cette problématique.



Figura 54 : Photo de la transmission vertical entre moteur thermique et pompe

- Il est nécessaire d'intégrer un enrouleur de flexible pour rendre plus rapide la collecte (le temps de manipulation à terre est presque le même que celui du remplissage comme j'ai pu observer en allant en collecte avec le chauffeur). Ensuite comment on peut observer sur la photo ci-dessous le flexible pas enroulé occupe beaucoup d'espace à côté du skid et ça réduit l'espace à l'intérieur du camion qui peut être utilisé différemment, par exemple en plaçant des fûts en plus.



Figura 55 : Photo du flexible pas enroulé du prototype de skid installé sur le camion

- Il est fondamental d'intégrer un filtre au premier lieu pour protéger la pompe mais aussi pour réussir à filtrer les gros sédiments ça pourrait rendre plus agile les prétraitements qui sont fait dans le fondoir à l'arrivée des huiles après les analyses au laboratoire. Le skid actuel n'a pas du tout de filtre pour le moment.

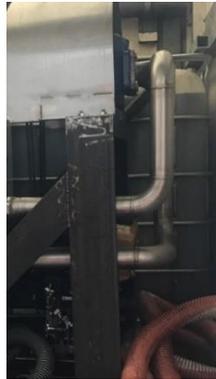


Figura 56 : Photo de l'absence d'un filtre avant la pompe pour la protéger

- Le moteur thermique à diesel installé actuellement sur le Skid au-delà d'être très bruyant, fait beaucoup de fumée dans le camion. Ce n'est pas souhaitable pour la sécurité et la santé du chauffeur et peut créer des problèmes aussi pour le client.
- Il y a une tuyauterie avec 2 vannes 3 voies pour inverser le sens de pompage (charge/décharge des huiles usagées). On ne fait pas d'inversions du sens de rotation du moteur thermique mais le chauffeur change de position des vannes manuellement. La solution actuelle est une solution assez couteuse qui rend indispensable une étude de la tuyauterie plus difficile et ce n'est pas du tout évident pour le chauffeur. Donc Il faut penser à une solution plus simple sans utilisation de vannes 3 voie mais par exemple avec l'inversion du sens de rotation du moteur.

11.1.2 - BESOINS CHAFFEUR

- Le chauffeur ne pompe presque jamais les fûts parce qu'en étant tout seul il ne réussit pas en autonomie à démarrer et éteindre le moteur thermique qui actionne le pompage. Il demande une télécommande qui réussit à contrôler les fonctions de

démarrage et arrêt du pompage. Pour le moment il n'y a pas de commande il doit démarrer et éteindre directement le moteur diesel avec le lanceur ça fait perdre beaucoup de temps pendant la collecte ou cas où on ne doit pas pomper dans les cuves enterrées du client.

- Aussi pour changer d'IBC le chauffeur demande une télécommande afin qu'il puisse arrêter et puis redémarrer le système de pompage avec agilité sans redescendre du camion et relancer le moteur thermique à chaque arrêt. De cette façon il pourra gagner beaucoup de temps et c'est fondamental parce que, comme j'ai vu dans la collecte, il passe beaucoup de temps sur la route, il y a des clients qui ne sont pas bien accessibles et donc il est fondamental de réduire les temps de collecte.
- Actuellement le travail du chauffeur est très fatigant : le flexible pas enroulé et déroulé automatiquement est très lourds à amener (ça fait presque 60 kg) et ça fait du mal surtout au dos du chauffeur. Le chauffeur demande donc d'intégrer un système d'enroulement et déroulement du flexible à travers un enrouleur motorisé et pour ce qui concerne la commande il suggère une télécommande comme pour le pompage
- Les bruits, les vibrations et le gaz d'échappement du moteur thermique diesel ne peuvent pas être longtemps tolérés par le chauffeur donc il faut penser aussi à une solution alternative par exemple électrique

Donc en résumant on peut faire référence au tableau ci-dessous où j'ai pris les problématiques générales du Skid actuel après avoir fait des interviews à celui qui font la manutention, à celui qui a créé le prototype actuel, aux clients chez qui on va pomper tous les jours et finalement à l'utilisateur final du système de pompage c'est-à-dire le chauffeur qui utilise la pompe embarquée chaque jour pour effectuer la collecte des huiles usagées.

Donc après avoir fait des interviews à ces trois principaux interlocuteurs et avoir aussi pensé à des autres caractéristiques critiques qu'on pouvait modifier pour optimiser la collecte sous plusieurs points de vue (temps, économique, rendre tout plus agréable pour le chauffeur et pour les clients).

Finalement j'ai décidé de catégoriser les différentes problématiques en les catégorisant en problématiques de :

- manutention (manut) : il y a plusieurs criticités du prototype actuel qui rend très difficile effectuer la manutention pour ceux qui ont le devoir de la faire périodiquement
- du chauffeur (chauff) qui comme utilisateur final il a exprimé plusieurs choses afin de rendre la collecte la plus vite et aussi son travail le plus agréable possible
- d'espace dans le camion (espace) : c'est-à-dire que moins d'espace on va occuper sur le camion avec notre pompe embarquée plus on aura de l'espace pour placer des IBC ou des futs qui nous amènent de l'huile, toujours en respectant le poids roulant du camion
- Client (client) il faut aussi respecter des problématiques que les clients ou on va pomper m'ont référé pour ce qui concerne le prototype de pompage actuellement utilisé

Problématiques skid actuel	Problématiques spécifiques	Typo
Depasse la dimension d'une palette (1200x1000mm)	Fixation skid intérieur du camion	Manut
	Sortir le skid par l'ouverture latéral du camion	Manut
N'est pas accessible de 4 cotées	Skid pas 4 voies	Manut
Positionnement moteur thermique -pompe	Bruits et niveau décibel (Db) haut	Client

	Transmission courroie crée vibrations dans la structure	Client
Moteur thermique	Bruits et fumée à l'intérieur du camion	Client
Flexible pas enroulé	Beaucoup d'espace à l'intérieur du camion	Espace
Tuyauterie utilisation vannes 3 voies	Couteux et pas immédiat pour le chauffeur	Econom
Pas de filtration de l'huile avant le pompage	La pompe en danger	Manuten
Eteindre et demarrer le pompage agilement	Le chauffeur arrêt et démarre le pompage manuellement	Chauff
Le flexible doit être déroulé et enroulé automatiquement	Le flexible pèse 60kg : Chauffeur doit l'enrouler et le dérouler manuellement	Chauff
		Chauff
Diminuer les bruits et la fumée pour le chauffeur	Moteur thermique : bruits et fumées à l'intérieur du camion	Chauff
	Le couplement motopompe crée des bruits , niveau decibel(Db) haut	Chauff
Tuyauterie utilisation vannes 3 voies	Pas immédiat pour le chauffeur	Chauff

Figura 57 : Problématiques du skid actuel résumées par typologie

Puis j'ai aussi mis des possible solution afin de résoudre les problématiques actuelles et j'ai fait aussi un tableau pour voir quand la solution réussit à concilier plusieurs problématiques. Dans ce cas la priorité d'intervention et résolution des problématiques est pareil, c'est-à-dire qu'on ne veut pas privilégier la résolution d'une problématique au lieu d'un autre mais on veut le résoudre tous parce qu'ils sont des problématiques clés qui ont été retracé avec plusieurs interviews et dialogues. Les personnes avec qui je me suis interfacé ont été des techniciens, celui qui font la manutention et l'utilisateur de la pompe c'est-à-dire le chauffeur qui fait la collecte avec le camion. C'est avec eux que j'ai proposé des solutions possibles afin de résoudre tous les problématiques du prototype actuelle, ici-suivant j'ai rédigé un tableau ou il y a l'indication de la solution pratique qu'on peut amener au nouveau skid afin qu'il réussît à résoudre les problématiques actuels.

Problématiques skid actuel	Solution
----------------------------	----------

Depasse la dimension d'un palette (1200x1000mm)	Conception skid 1200x1000mm
N'est pas accessible de 4 cotées	Conception skid 4 voies
Positionnement moteur thermique -pompe	Couplement directe moto-pompe
Moteur thermique	Solution électrique
Flexible pas enroulé	Introduire enrouleur flexible
Tuyauterie utilisation vannes 3 voies	Invertir le sens de rotation du moteur
Pas de filtration de l'huile avant le pompage	Intégration filtre pour la filtration des huiles usagées
Eteindre et démarrer le pompage agilement	Introduire télécommande
Le flexible doit être déroulé et enroulé automatiquement	Introduire télécommande
	Introduire enrouleur flexible
Diminuer les bruits et la fumée pour le chauffeur	Solution avec moteur électrique
	Couplement directe motopompe
Tuyauterie utilisation vannes 3 voies	Invertir sens de rotation moteur

Figura 58 : Solutions proposée aux problématiques du skid actuel

On peut aussi voir dans le tableau ci-dessous combien des différents problématiques on va résoudre avec les solutions qu'on va apporter. Dans ce cas on voit que toujours on a la résolution de deux différents problématiques sauf dans le cas de la conception du skid 4 voies et de l'introduction du filtre. Mais quand même on ne peut pas dire que cette deux contrains qu'on va fixer pour la conception de la pompe embarquée ont une importance inférieure ou un degré de priorité inférieure. Ça c'est parce que tous les problématiques retracés sont critiques donc il n'y a pas un précis ordre de priorité, il faut les résoudre tous en adoptant des nouvelles solutions qu'on a énumérées ci-dessous.

Solution	Problématiques
Conception skid 1200x1000 mm	XX
Conception skid 4 voies	X

Encouplement directe moto- pompe	XX
Invertir sens rotation moteur	XX
Solution avec moteur électrique	XX
Introduire télécommande	XX
Introduire enrouleur flexible	XX
Introduire filtre	X

Légende : X = Problématique résolue

Figura 59 : Tableau concernant le nombre de problématique que chaque solution peut résoudre

11.1.3- CHOIX PRELIMINAIRE

MAKE OR BUY ?

Pour décider de faire le skid en interne on a analysé les différentes propositions qu'on avait et on a vu que la plus économique et en plus la plus utile pour nous serait de faire le skid en interne. C'est à dire commander les principaux composants et puis les assembler ainsi on pourrait créer déjà un réseau de fournisseur fiables et créer de la valeur ajoutée sans être contractuellement dépendant d'une autre entité qui imposerait surement beaucoup de pouvoir contractuel.

Les solutions possibles avec leur coût sont indiquées ici :

- CABS Industries : 18500 Euro pour Skid de pompage entrainement thermique
- Endel : 16000 Euro Skid de pompage avec la fourniture moto pompe Muovex avec enrouleur flexible pas motorisé
- DIELIX : 15000 Euro Skid de pompage avec entrainement électrique, télécommande et enrouleur motorisé

ENTRAÎNEMENT ÉLECTRIQUE OU THERMIQUE ?

Ensuite l'autre choix à faire était celui de l'entraînement de la pompe : si on utilisait un entraînement électrique ou si on restait avec moteur thermique. Dans ce cas il était économiquement préférable électrique parce que sur le motopompe thermique Mouvex avait des marges très importante (plus ou moins 220%).

Donc on a préféré opter un entraînement électrique d'un point de vue économique mais surtout en regardant l'avenir : si un jour entre en vigueur une nouvelle loi interdisant l'entraînement thermique dans la ville on pourra utiliser des batteries ou encore mieux brancher notre système avec une rallonge à la prise du client. Il faut aussi considérer que le prototype de pompage qu'on avait chez nous était avec entraînement thermique et il avait beaucoup de criticités comme je viens d'expliquer (fumée, bruit, vibrations).

12- LISTE DU MATERIEL SKID DE POMPAGE

Après avoir réfléchi à tout ce qu'il faudrait pour la création d'une pompe embarquée qui pouvait satisfaire le besoin du chauffeur et résoudre les problèmes techniques du skid actuel, j'ai rédigé une liste du matériel (BOM²) au niveau macro en considérant aussi la partie électrique et la tuyauterie qui seront traités plus spécifiquement dans les chapitres suivants. On a rempli ce tableau avec les indications suivantes à chaque fois après avoir choisi le fournisseur et avoir commandé les composants.

Ici suivant on peut voir la BOM explosé au niveau macro de la pompe embarquée

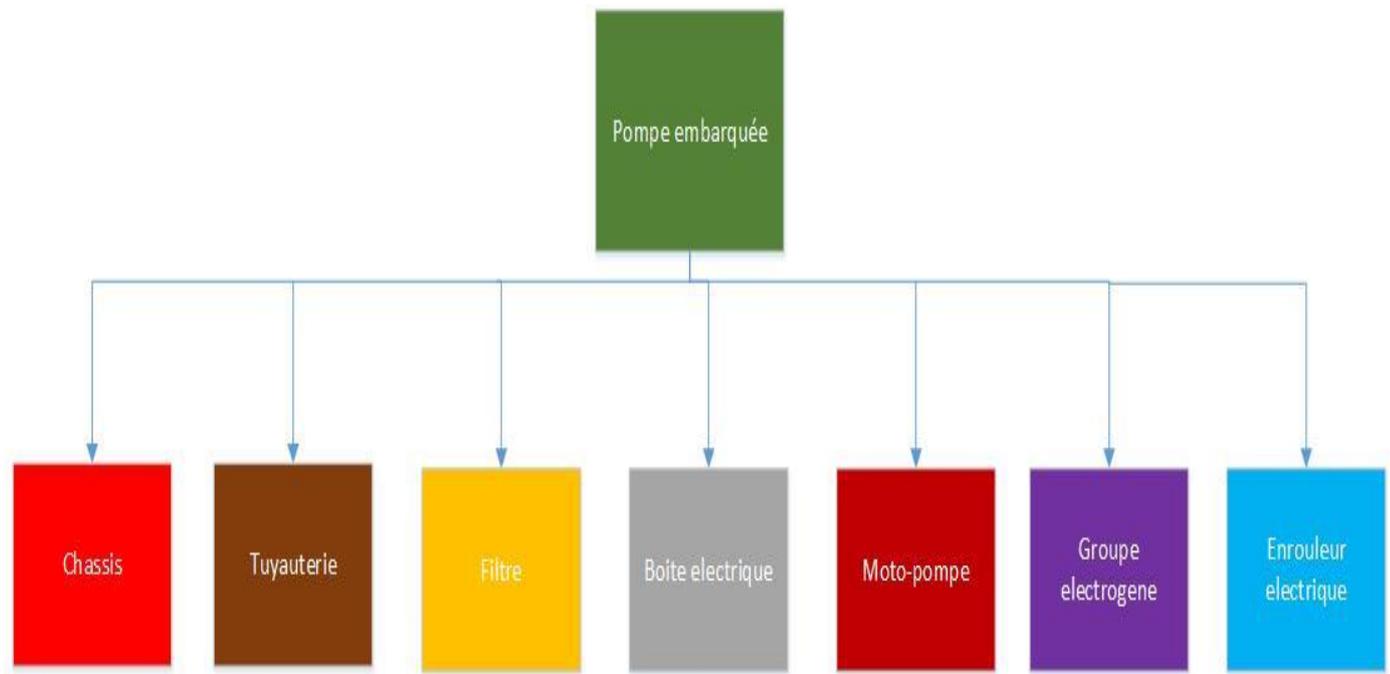


Figura 60 : Bill of Material du skid de pompage embarqué

Ci-dessous j'ai résumé dans un tableau l'encombrement de chaque composant principale du skid de pompage :

² Bill of material

BOM SKID DE POMPAGE		(longxlargxhauteur)
Composant	Pièces	Encombresments (mm)
Pompe embarquée	1	1200x1000x1872
Châssis	1	1200x1000x1872
Tuyauterie	1	Φ 40
Boite électrique	1	500x400x400
Filtre	1	Φ 40
Moto-pompe	1	990x410x503
Groupe électrogène	1	681x530x571
Enrouleur électrique	1	638x463x622

Figura 61 : Tableau Bill of material indiquant encombrements et pièces

13- ANALYSE DES COMPOSANTS PRINCIPAUX

Le choix des fournisseurs des composants principaux a été faite surtout par rapport à des différents paramètres qu'on peut retrouver résumées ci-dessous:



Figura 62 : Paramètres de choix du bon fournisseur

Donc ça ils ont été les caractéristiques principales que j'ai regardées pour le choix du fournisseur, naturellement le produit du fournisseur doit respecter des caractéristiques techniques qu'on va montrer en analysant chaque composant.

13.1- MOTO POMPE

La Moto pompe a été choisi à entrainement électrique préféré à celui thermique. C'est une pompe volumétrique à piston excentré qui permet un débit constant et régulier avec un rendement excellent. On a cherché une pompe qui réussit à nous donner un gros débit afin d'optimiser au maximum le temps de collecte des huiles usagées. Dans le cas de la pompe

volumétrique on peut voir que son débit ne dépend pas de la pression comme dans le cas d'une pompe centrifuge mais son débit reste pareil en fonction du temps.

En plus c'est une pompe vouée à fonctionner dans les deux sens de rotation et c'est pour nous fondamental parce que dans la collecte on doit pomper dans un sens, puis il faut décharger les huiles collectées et donc on doit pomper dans le sens inverse. On a choisi une pompe qui réussit à pomper dans les deux sens avec l'inversion du sens de rotation du moteur pour éviter l'utilisation des vannes 3 voies.

L'ensemble moto pompe est fixé sur un châssis en acier.

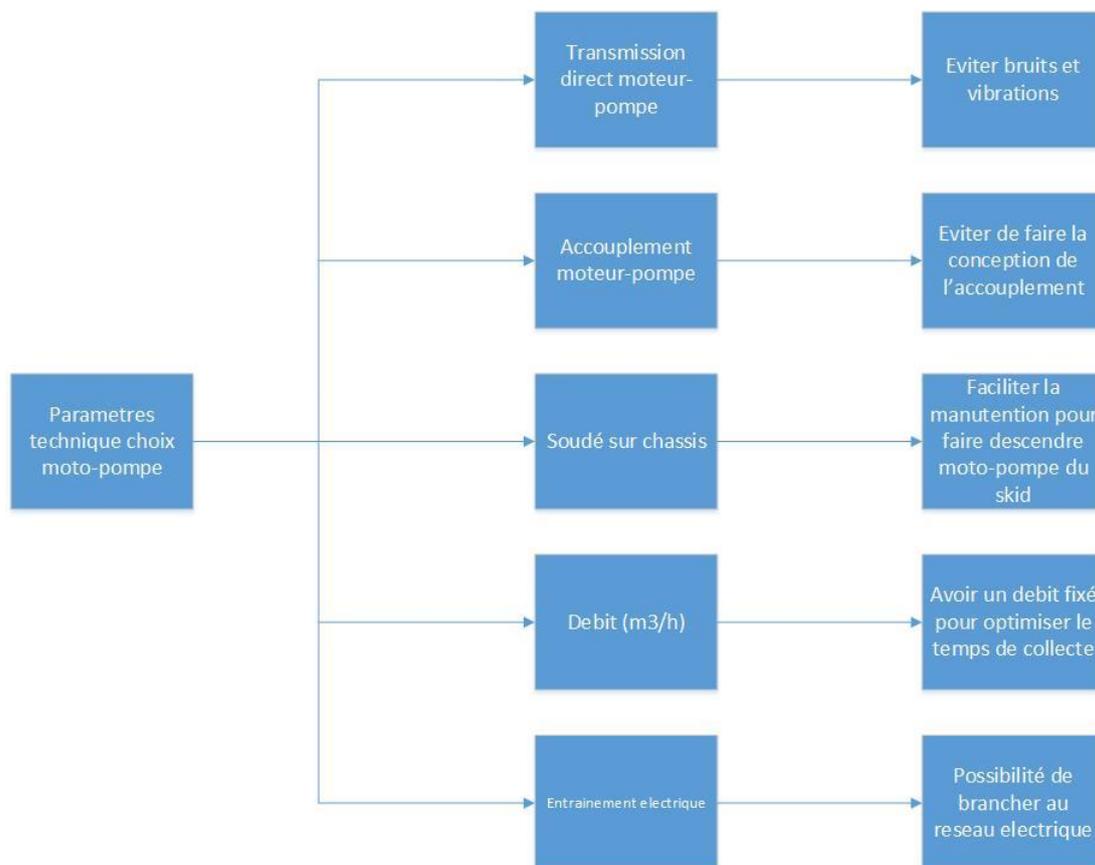


Figura 63 : Paramètres techniques pour la choix de la moto-pompe

Donc On peut voir qu'on a cherché une motopompe avec des précises caractéristiques techniques afin de satisfaire les besoins de manutention, du chauffeur ou du client chez qui on va pomper les huiles usagées.

Ci-dessous la photo de la moto pompe avec châssis en acier placé sur le skid.



Figura 64: Photo de la moto pompe

Caractéristiques fondamentales de la moto pompe :

Débit : 20 m³/h

Pression différentielle : 3 bars

Puissance moteur : 3Kw

Tension d'alimentation : 230V Monophasé

Ici le plan de la motopompe :

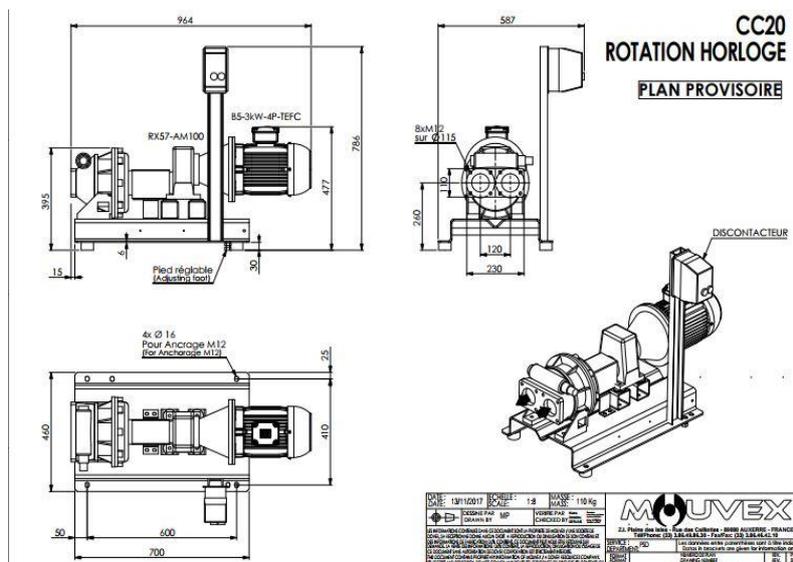


Figura 65 : Plan de la moto pompe

Fixation : comme on peut noter du plan il y a 4 trous de fixation sur le châssis en acier $4 \times \Phi 16$ qui ont un entraxe de 410 mm et une distance entre le centre du trou et le cadre de 25 mm.

13.2- GROUPE ELECTROGENE

On a choisi un groupe électrogène à essence afin de n'avoir pas des dimensions, poids et bruits élevés. Pour la recherche d'un fournisseur fiable de groupe électrogène on a pensé tout de suite à Subaru qui a des divisions dans toute la France avec un réseau de pièce de rechange très étendu. En effet il y avait d'autres fournisseurs particuliers avec des prix plus accessible mais on aurait eu la problématique des pièces de rechanges et donc maintenant dans le cas où on aura un problème ça ne sera pas difficile de contacter notre fournisseur. La décision de la puissance du groupe a été choisi en tenant compte que le moteur électrique dans la phase de démarrage demande 2,5 fois sa puissance nominal donc on a décidé de prendre un groupe avec une puissance de 7 KW (le moteur électrique demande 3 Kw de *puissance en continu). En plus le groupe est doté d'un démarrage électrique et ça simplifie le travail et la sécurité du chauffeur.



Figura 66 : Photo groupe électrogène choisi

Ici suivant on peut voir donc les caractéristiques techniques sur lesquelles on a fait levier pour le choix d'un groupe électrogène correcte qui réussit à satisfaire les besoins du chauffeur, du client mais aussi des caractéristiques techniques de complémentarité avec la moto pompe. En effet il faut absolument dimensionner la puissance du groupe électrogène avec la puissance de démarrage et en continu de la moto pompe. Le système d'alimentation (le groupe électrogène) a été donc dimensionner pour réussir à alimenter la moto pompe, en partant du même voltage (230V) le groupe électrogène pour démarrer le moteur électrique 230 V 3KW doit réussir à fournir une puissance maximal 1,5 fois plus grand donc on a choisi pour avoir un peu de marge on a choisi un groupe électrogène avec une puissance maximale de 7 KW.

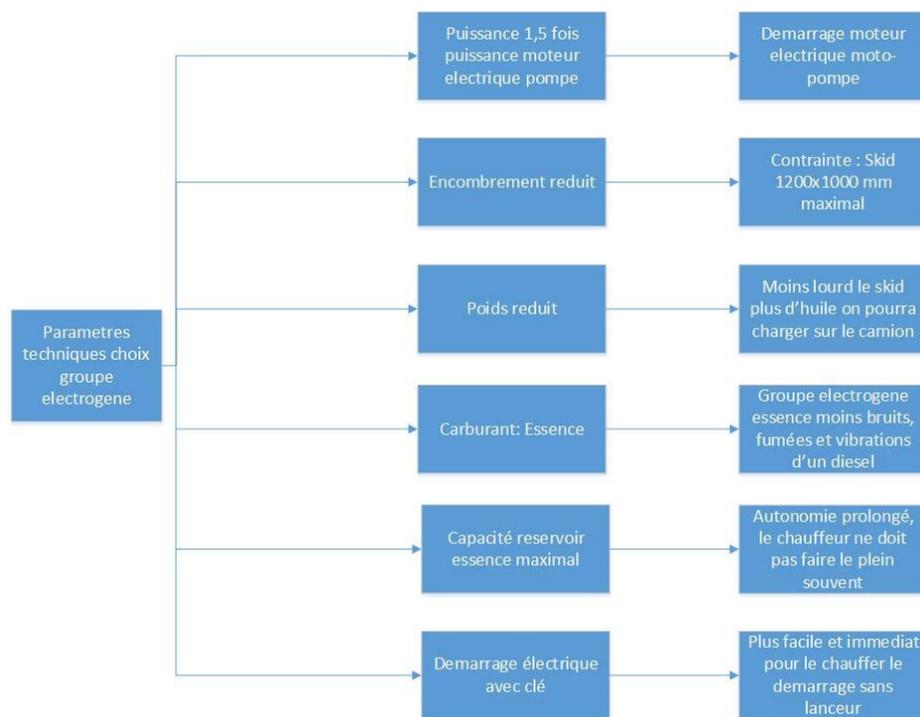


Figura 67 : Paramètres de choix du groupe électrogène

Ici la fiche technique du groupe électrogène :

Puissance	
Puissance maximum	7 KW
Puissance Maximum cos phi =0,8	8,75 KvA
Puissance Continue	5 kW
Intensité Nominale	21,7 A
Puissance Sonore CEE	97 dB
Pression Acoustique - 7 m	72 dB
Caractéristiques Alternateur	
Tension Nominale	230 V
Régulation de Tension	condensateur
Fréquence	50 Hz
Prise monophasée IP44 - 10/16 A Schuko	1
Prise monophasée 230 V - 16 A	1
Moteur 4 Temps	
Puissance Maxi.	14 ch à 3600 tr/min
Carburant	Essence sans plomb 95
Capacité du Réservoir	7 litres
Autonomie 3/4 Puissance Continue	3 heures
Démarrage	Electrique ou lanceur
Sécurité manque huile	Oui
Dimensions L x l x H	875x570x600
Poids Net à Sec	73 kg

Figura 68 : Fiche technique groupe électrogène

13.3- ENROULEUR ELECTRIQUE

L'enrouleur électrique c'est un enrouleur de flexible conçu pour enrouler et dérouler jusqu'à 15 mètres de flexible en DN 40, (c'est la longueur moyenne que les chauffeurs ont demandée et qu'ils utilisent pour le pompage). Au cas où il faudrait plus de métrage on pourrait penser à mettre une rallonge que le chauffeur installerait au besoin.

L'enrouleur de flexible motorisé été un choix qui dérive du besoin du chauffeur afin de lui faciliter le travail et de rendre la collecte plus rapide (les flexibles ont un poids de 40 kg et donc pour le chauffeur est très difficile de l'amener à main). En plus le flexible pas enroulé occupe beaucoup d'espace dans le camion qui peut être utilisé dans une autre manière.

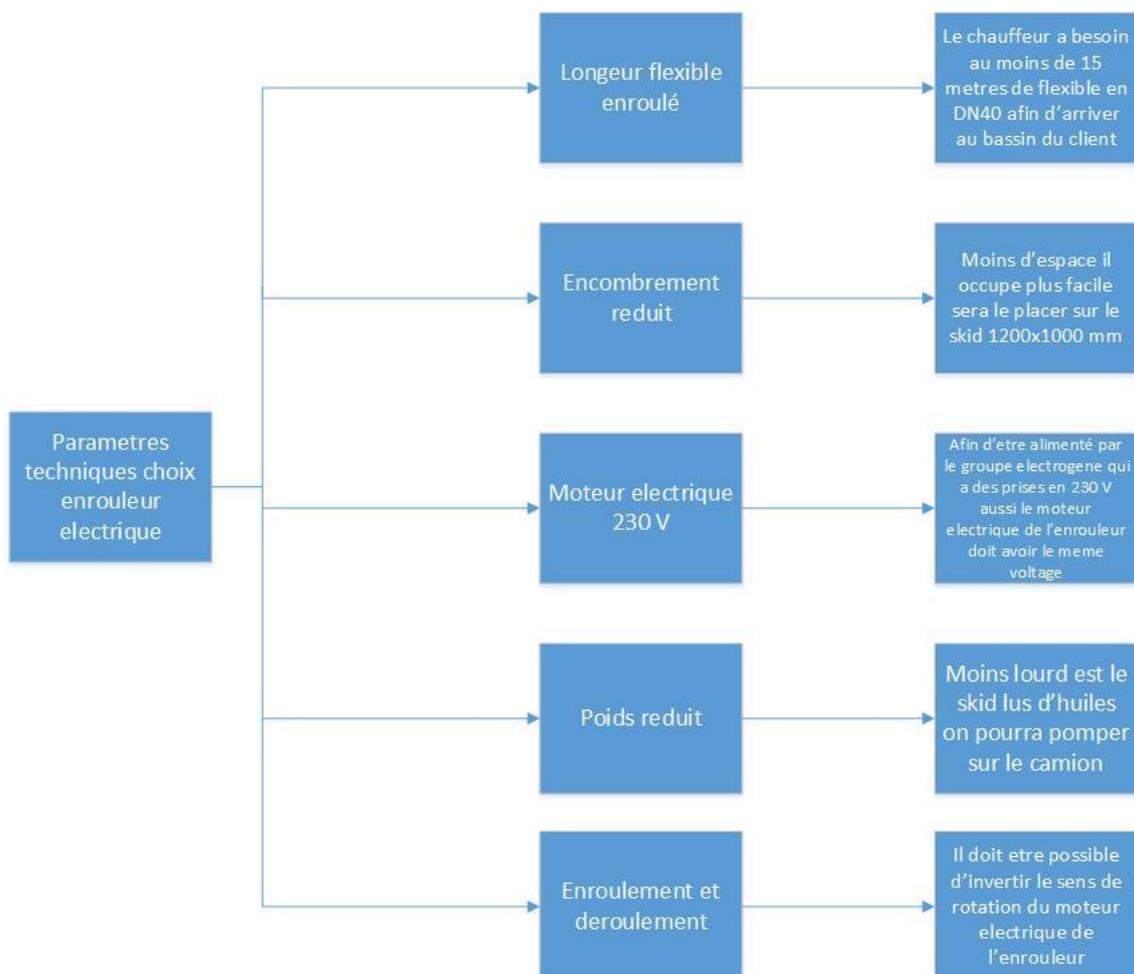


Figura 69 : Paramètres techniques choix enrouleur électrique

Ci-dessous la photo de l'enrouleur placé sur le skid :



Figura 70 : Photo enrouleur de flexible

Caractéristiques fondamentales de l'enrouleur :

Entrée du fluide placé à gauche

Raccordement Entré de l'enrouleur : 1,5" BSPT femelle

Raccordement sortie de l'enrouleur : 1,5" BSPT femelle

Entrainement par moteur électrique 230 V monophasé, moteur monté du même côté de l'entrée du fluide c'est à dire à gauche dans notre cas.

Diamètre d'enroulement= 286 mm d'où un rayon de courbure du tuyau < ou = à 143 mm

Fixation : 4 perçages forme oblongue 10x45 mm sur tôle pliée à 90° vers l'intérieur de l'enrouleur à partir du cadre de l'enrouleur. Voir le dessin où il y a la vue d'en haut du cadre de l'enrouleur pour comprendre l'entraxe et les positionnements des perçages de fixation qui ne sont pas indiqués sur le plan contractuel.

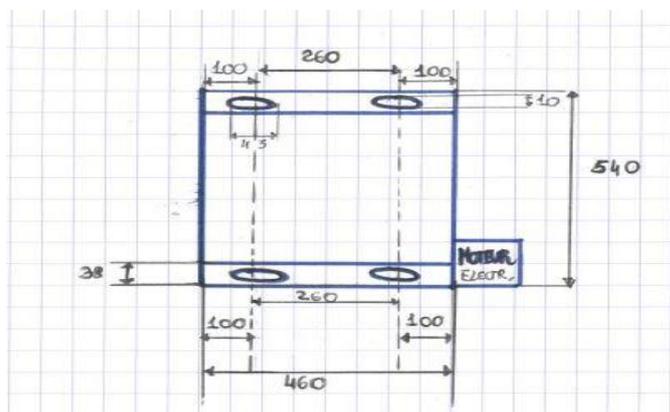


Figura 71 : Plan schématique enrouleur vue dans le haut

En photo on peut voir les 4 trous oblongs de fixation qui se trouvent sur la tôle pliée :



Figura 72 : Photo des points de fixation de l'enrouleur

Ici le plan contractuel de l'enrouleur :

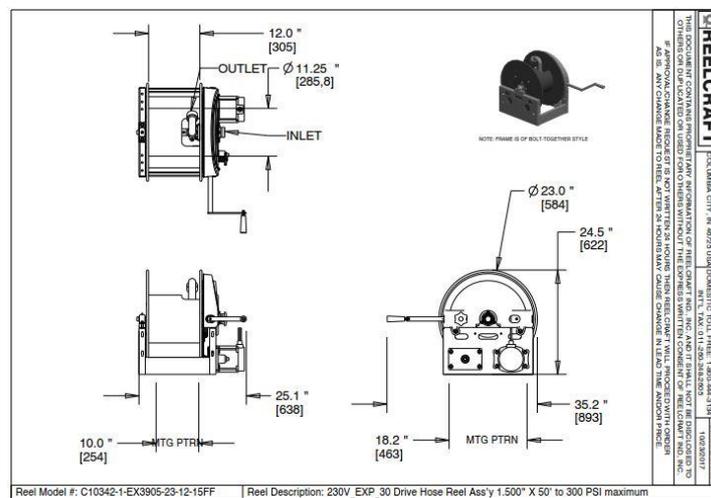


Figura 73 : Plan contractuel de l'enrouleur

NB. Les indications MTGPTRN ne sont pas les entraxes entre les trous de fixation du côté opposé mais il s'agit de l'entraxe entre trou de fixation du même côté de l'enrouleur.

14- MAINTENANCE DU SKID DE POMPAGE

En ce qui concerne la maintenance, pour la faciliter on a choisi des composants provenant de fournisseurs fiables. Ainsi au cas où on aura d'éventuels problèmes on pourra leur faire référence.

Les composants dont le Skid est fait ne sont pas des composants spécifiques et les actes de maintenance prévue sont contenus dans ce tableau.

On peut voir que le composant le plus critique est le groupe électrogène pour lequel il faut prêter assez attention afin d'éviter qu'il soit en contact avec une grande quantité d'eau (filtre à air) et qu'il n'y ait pas de fuite d'essence qui, comme on le sait, est très inflammable.

Pour le calcul des intervalles d'entretien j'ai considéré 2 heures d'utilisation de l'ensemble du Skid de pompage par jour.

Composant	Élément	Quoi	Intervalle d'entretien
GROUPE ELECTROGENE	Huile moteur	Contrôler niveau	Avant chaque utilisation
		Remplacer	Après 20 heures et puis tous les 2 mois
	Filtre à air	Contrôler	Avant chaque usage du groupe électrogène
		Nettoyer	Tous les mois
	Coupelle de décantation	Nettoyer	Tous les 4 mois
	Bougie	Contrôler	Tous les 2 mois
		Remplacer	Tous les 6 mois
	Pare étincelles	Nettoyer	Tous les 2 mois
	Chambre de combustion	Nettoyer	Tous les 2 ans
Réservoir de carburant et filtre	Nettoyer	Tous les 2 mois	
FILTRE	Panier	Contrôler	Après chaque pompage
MOTEUR ELECTRIQUE POMPE	1ère inspection	Contrôler	Après 1 an
	Eau de condensation	Evacuer	selon le condition climatique
	Voie d'air	Contrôler	selon le grade d'encrassement
	Surface du moteur	Contrôler	selon le grade d'encrassement
	Inspection principal	Contrôler	Après 15 ans
POMPE CC20	Changer du ressort de soupape interne	Remplacer	1 fois par an
	Roulement	Graissage roulement par graisseur à bille	Chaque 10 mois
ENROULEUR	Palier	Lubrification à travers graissage	Tous les mois
	Chaine	Maintenir graissé	Tous les mois

Figura 74 : Actions d'entretien pour chaque composant

15- DISPOSITION DES COMPOSANTS

Après avoir analysé les problématiques du skid actuel et avoir trouvé les composants principaux avec leurs encombrements pour trouver une disposition à donner aux différents composants sur le skid on va résumer les contraintes qu'on peut se poser soit pour optimiser la maintenance en respectant les besoins du chauffeur qui doit avoir accès direct à certaine partie.

Contraintes principales de conception :

- Ne pas perdre de l'espace dans le camion et pour bien fixer la pompe embarquée il faut que le Skid soit 1200x1000mm surtout il est important de respecter la cote de 1000 sinon il ne serait pas possible de mettre un IBC à l'arrière du skid qui a aussi la fonction de blocage du skid sur le camion.
- En hauteur pour permettre la sortie du camion avec le chariot on a comme contrainte 1900 mm
- Afin de donner au chauffeur l'accès au groupe électrogène et au filtre par l'ouverture latéral du camion on va positionner la partie de longueur de 1200mm en face du chauffeur, en considérant que les camions ont une ouverture latérale d'une longueur de 1200mm donc de cette façon le chauffeur aura accès direct à ce qui est indispensable.

A ce propos Il faut considérer que le chauffeur doit avoir accès direct au :

- Lanceur du groupe électrogène
- Réservoir d'essence du groupe électrogène, c'est à dire qu'il doit faire le plein avec facilité
- Filtre, afin de le nettoyer après chaque collecte
- Enrouleur de Flexible, fondamental pour réussir à effectuer le pompage d'huile usagée et de fûts et la décharge après la collecte

Ensuite en ce qui concerne la manutention afin de la simplifier il faut que :

- Le Groupe électrogène puisse descendre du Skid avec facilité, donc il ne doit pas être bloqué sur le Skid sans voie de sortie.

- Standardiser le châssis en considérant que les chariots qu'on utilisera doivent être capables de descendre le Skid du camion. Pour cette raison il faut faire un châssis afin que les chariots puissent prendre le Skid pour tous les côtés sans oublier qu'il faut laisser minimum 100 mm en hauteur d'espace vide pour permettre une bonne prise des charriots.

On peut résumer dans le tableau ci-dessous les principales contraintes pour ce qui concerne la disposition des principaux éléments qui composent le skid.

		Contrains de disposition		
Skid de pompage	Moto pompe	Etre accessible accesible pour effectuer la manutention	Encombrement max 1200x1000x1900mm	
	Boite électrique	Il faut ouvrir la porte et etre accesible ou cas ou il y a des problemes electriques		
	Tuyauterie	Ne pas gener l'accès au filtre, groupe electrogene, flexible		
	Chassis	Eviter le contact entre huile et groupe electrogene		
		Faciliter la descente et ascension du skid afin d'effectuer la manutention		
	Enrouleur	Flexible accesible directement par le chauffeur		
	Groupe electrogene	Lanceur ou clé électrique accesible pour demarrer et arreter le groupe		
		Bouchon de vidange pour faire le plein		
		Accès directe au levier accélérateur		
Levier filtre de l'aire				
Filtre	Facile à sortir du skid pour effecteur des operations de manutention			
	Etre accessible directement afin de le nettoyer apres chaque pompage chez le client			

Figura 75 : Contraintes de disposition skid embarqué

On peut aussi voir la corrélation fonctionnelle qu'il y a entre les différents éléments du skid afin de procéder avec critères pour la disposition des composants différentes :

	Moto pompe	Boite électrique	Tuyauterie	Chassis	Enrouleur	Filtre
Moto pompe			X	X	X	X
Boite électrique				X		
Tuyauterie	X	X		X	X	X
Chassis	X	X	X		X	X
Enrouleur	X		X	X		X
Filtre	X		X	X	X	

Figura 76 : Relation fonctionnel entre composant du skid

Donc à partir de cette tableau on peut noter que la moto pompe est lié fonctionnellement au châssis sur le quelles il doit se poser, à l'enrouleur ou il y a le flexible qui se branche au bassin du client, au filtre parce que le filtrage doit être fait avant le pompage.

La boite électrique doit se poser sur le châssis donc est fonctionnellement lié au châssis.

La tuyauterie et le châssis sont fonctionnellement liées aux autres composant, ça il est facile de comprendre surtout pour le châssis qui représente le squelette sur laquelle tous les autres composants principaux doivent être fixée.

La tuyauterie de son côté représente le lien entre la moto pompe et l'enrouleur, entre la moto pompe et l'enrouleur il faut placer aussi la tuyauterie et le filtre sans s'oublier que la boite électrique doit s'ouvrir et être accessible ou cas où il y aura des problèmes au niveau électrique.

Donc entre enrouleur-motopompe-filtre-tuyauterie il y aura une dépendance fonctionnelle parce qu'ils sont tous liées et c'est la représentation du parcours qui va faire l'huile dans le pompage chez les bassins du client.

Pour essayer des différentes dispositions j'ai décidé de partir en fixant les autres composants et puis en liant enrouleur et moto pompe avec la tuyauterie en introduisant le filtre et la soupape de sécurité entre eux. Ça a été aussi le conseil de mon chef qui m'a dit que la

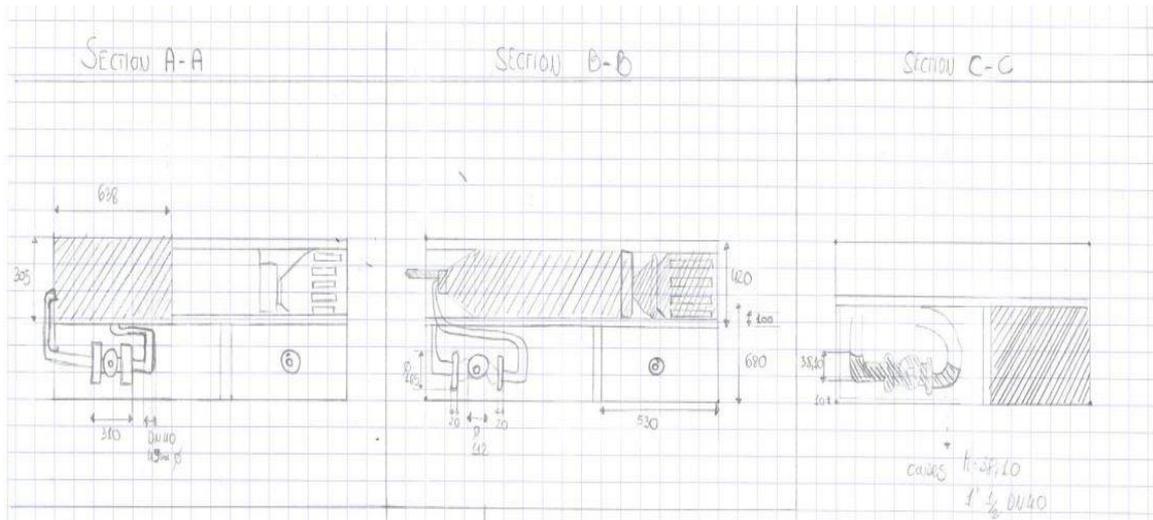


Figura 78 : Dessin schématique section et vue dans la haute disposition composant sur le skid

Ici il y a le dessin de la vue de haut sans et avec l'enrouleur pour mieux comprendre le positionnement des différents composants.

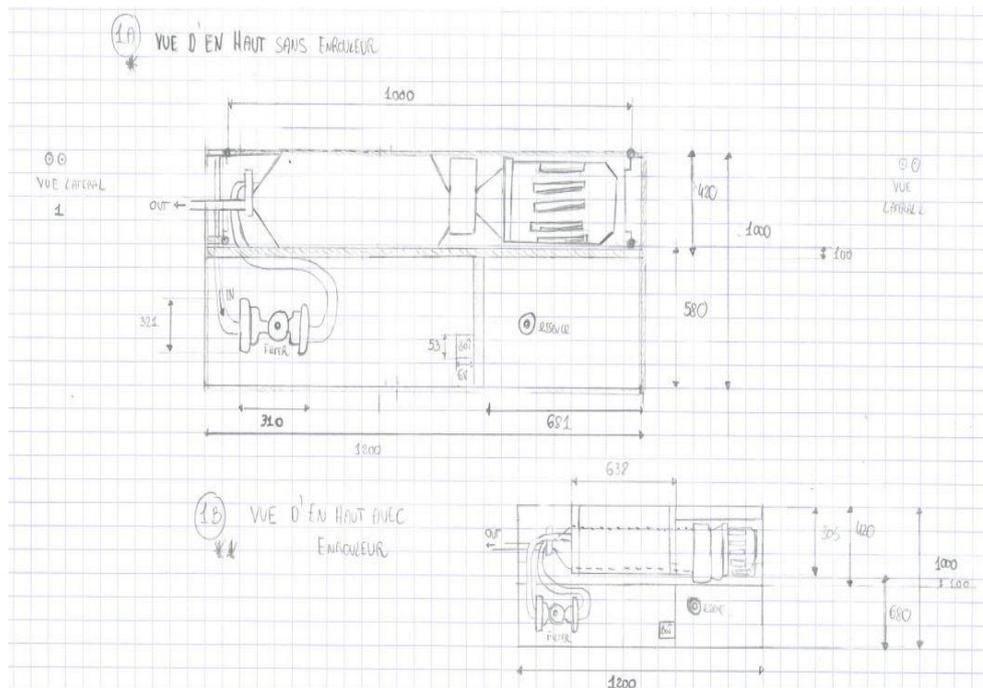


Figura 79 : dessin schématique vue dans la haute disposition des composants sur le skid

16- CHASSIS

Le châssis a été pensé et changé plusieurs fois avec la collaboration de STOCKMAN mécanique. Pour sa conception on a dû regarder les contraintes d'encombrement, c'est à dire ne de pas aller hors 1200x1000x1900 mm et de créer un skid qui soit accessible par le charriot partout (4 côtés) au cas où on doit le faire descendre du camion par exemple pour la maintenance ou s'il y a un problème. Ensuite il est indispensable de bien séparer la partie où est placée le groupe électrogène et la partie souillée d'huile où il y a le filtre à nettoyer. Dans ce cas on a pensé de mettre un bac de rétention avec un bouchon de vidange pour récupérer l'huile qui sort après le nettoyage du filtre. On a cherché aussi à créer un skid qui soit le plus léger possible afin de ne pas surcharger le camion sans oublier que, plus le poids du skid est élevé, moins d'huile on pourra charger dans le camion et donc collecter. En outre pour faciliter les installations des composants principaux on a pensé de rendre la structure du Skid déjà disposée pour la fixation des composants (pour réduire le temps d'assemblage).

Avant d'aller chez le fournisseur j'ai conçu un petit croquis du skid qu'on voulait en cherchant à respecter les conditions de légèreté, simplicité et mobilité. Ci-dessous j'ai placé le premier croquis. Pour la partie inférieure qui doit entrer en contact avec le charriot on a pris inspiration de la palette standardisée Philips qui est une palette à 4 voies.

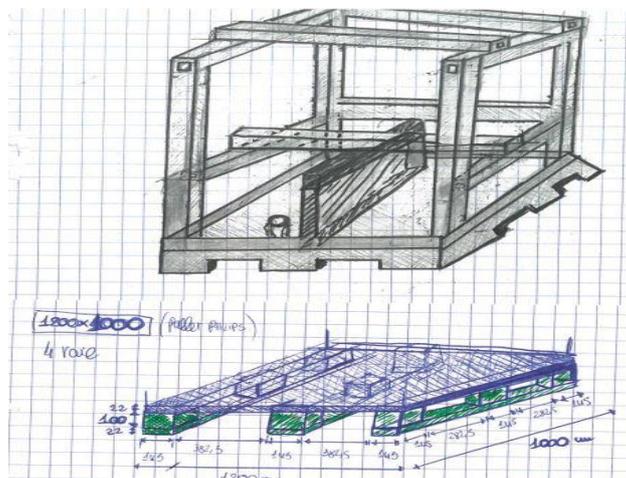


Figura 80 : Dessin du châssis tridimensionnel à présenter au fournisseur

On a cherché de faire un châssis très simple, léger et facile à reproduire en interne une fois validé. On peut voir par la suite la liste du matériel du châssis qui n'est pas très importante

Composant	Quantité	Encombrement (LongueurxLargeurxHauter)mm
IPE 100 à soudé	9	105x105x100
Tole	1	1000x1200x4
Tole pliée soudé	1	900x400x2
Bac de rétention	1	30
Tube carré INOX 30x30	4	1200
Tube Carré Inox 50x30	2	1200
Tube carré INOX 30x30	7	1000
Percage Bouchon Vidange	1	M18x150
Tube carré INOX 30x30	2	530
Tube carré INOX 30x30	1	490
Platine INOX	1	220x120
Tube carré INOX 30x30	4	1772
Percage trou fixation boite	4	Φ6

Figura 81: Bill of material du chassis

Ci-dessous le dessin final contractuel du châssis sur le quelle on va placer tous les composants, sur le dessein final on a voulu indiquer aussi des mesures critiques comme l'entraxes de trou de fixation pour ce qui concerne l'enrouleur et la moto pompe mais aussi l'encombrement du bac de rétention qui doit diviser le groupe électrogène des huiles usagées.

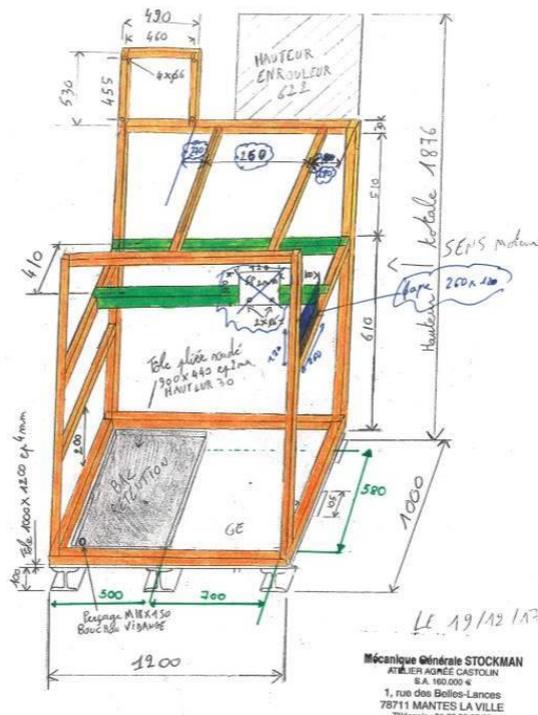


Figura 82 : Dessin final contractuel du skid

En orange on a indiqué le tube carre 30x30 et en vert l'utilisation des cornières 50x30 pour la fixation de la moto pompe parce que son châssis nécessite de se poser sur une largeur de 50 mm.



Figura 83 : Photo final du skid réalisé en INOX 304L

17- TUYAUTERIE

Pour la partie qui concerne la tuyauterie on a dû penser à placer le filtre et la soupape de sécurité. Comme la pompe n'est pas protégée par sa soupape interne dans le sens non conventionnel de pompage on a dû intégrer une soupape de sécurité et un clapet anti-retour qui s'ouvre lorsque la pression est supérieure à 3 barg.

Cette solution est fondamentale pour ne pas endommager la pompe et la tuyauterie comme notre pompe volumétrique a toujours le même débit dans le temps.

Pour la disposition des composants principales on a eu la contrainte que le filtre devait être accessible et facilement démontable par le chauffeur et la tuyauterie ne devait pas gêner l'ouverture complète de la boîte électrique.

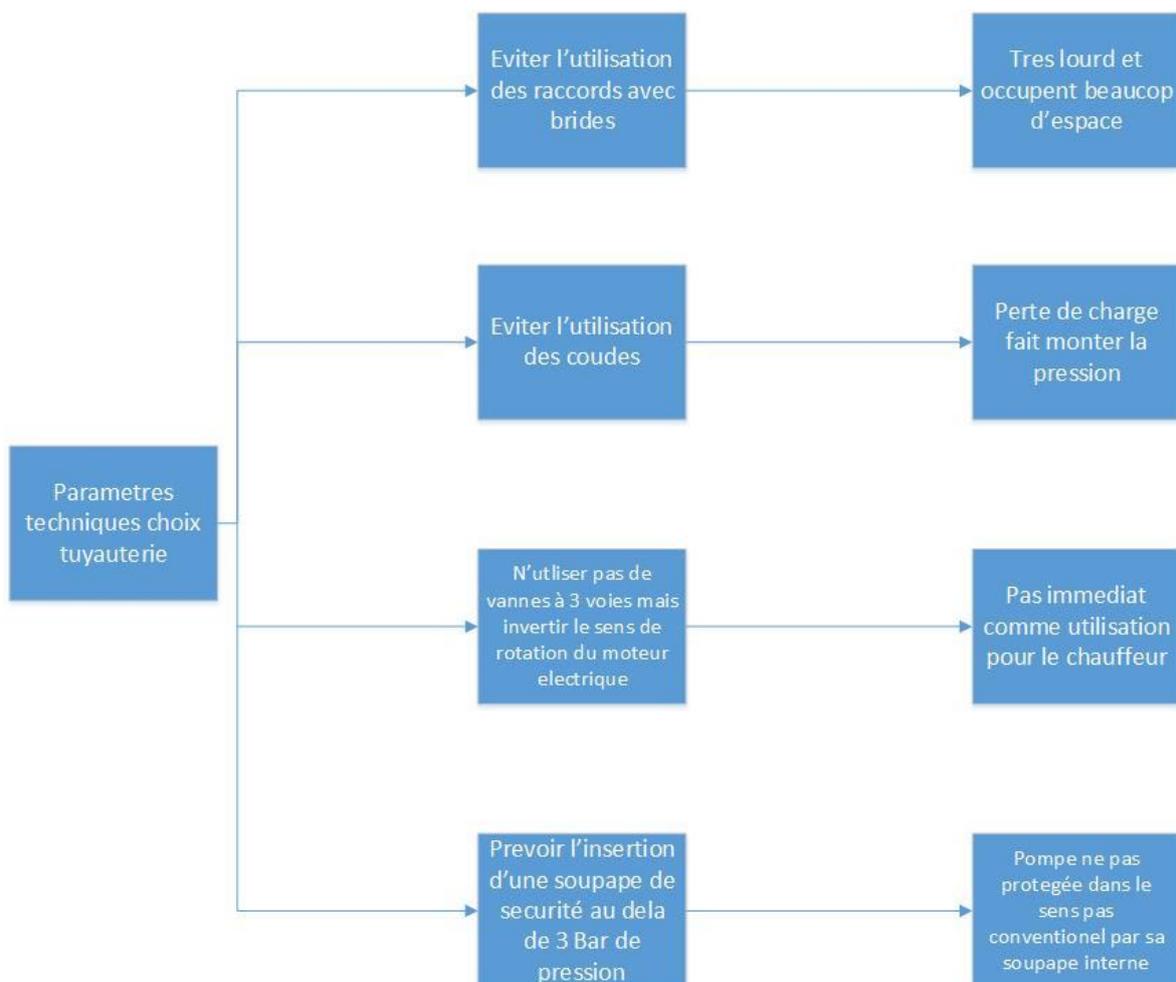


Figura 84 : Paramètres technique de choix de la tuyauterie

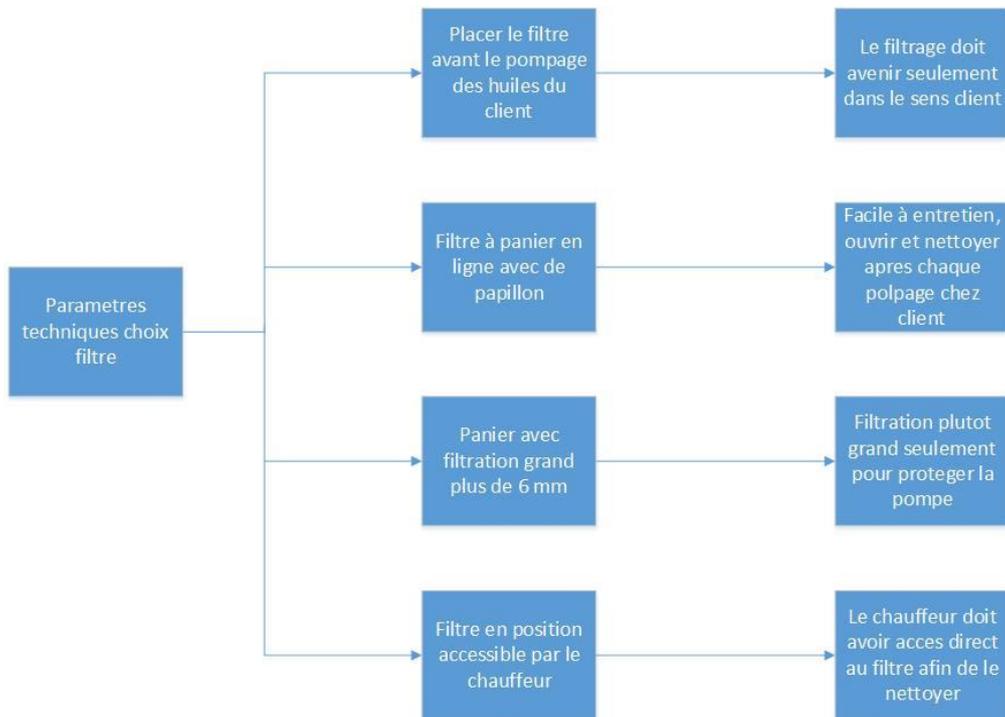


Figura 85 : Paramètres techniques de choix du filtre

Donc Après avoir observé les encombrements de la soupape et du filtre qui devaient être placés avant la pompe et respecter la contrainte d'ouverture de la boîte électrique on a pensé à suivre le plan suivant pour la tuyauterie.



Figura 86 : Photo vision frontale skid embarquée

On peut voir qu'on a respecté à la sortie de l'enrouleur la contrainte de l'ouverture de la boîte électrique.

On a décidé de placer le filtre et la soupape avec la disposition suivant en utilisant des supports pour bien maintenir le poids des deux éléments qui est presque 15 Kg pour chacun. On peut voir ci-dessous la disposition du filtre et de la tuyauterie à l'intérieur du skid :



Figura 87 : Photo de la tuyauterie, filtre et soupape



Figura 88 : photo filtre et soupape

Ci-dessous on peut voir l'entrée et sortie pompe :



Figura 89 : photo entré et sortie pompe volumétrique à piston excentré

Pour ce qui concerne les spécifications de tous les composants de la partie tuyauterie qui peuvent être retracé dans le plan on peut faire confiance au tableau suivant :

Elément	Quantité	Dimension	Matériel
Coude court rayon à 90	7	1" 1/2	INOX 304L
Tés réduits	1	1"1/2 x 1"1/4	INOX 304L
Tes égaux	1	1" 1/2	INOX 304L
Bride tournant Emboutie + collet	1	1"1/4	INOX 304L
Bride tournant Emboutie + collet	1	2"	INOX 304L
Joint	3	2"1/2	INOX 304L
Joint	2	1"1/4	INOX 304L
Joint	2	2"	INOX 304L
Bobine à souder	2	1" 1/2	INOX 304L
Réduction	2	de 1"1/2 à 2" 1/2	INOX 304L
Réduction	1	de 1"1/2 à 2"	INOX 304L
Boulon	32	16x80	
Clapet sandwich A/R	1	1" 1/2	INOX 304L
Tuyauterie INOX	1	6 mL	INOX 304L
Bride tournante + collet clapet	1	1" 1/2	INOX 304L
Joint clapet	3	1" 1/2	INOX 304L
Raccord pompier à soudé	1	1" 1/2	INOX 304L
Flexible avec raccord pompier DN40 DN 50	15mL	1" 1/2	Ray courbure < 138mm
Filtre	1	1" 1/2	Fonte
Soupape	1	1"1/4 x 2"	Fonte

Légende	
Pouces	DN
1"1/4	32
1"1/2	40
2"	50
2"1/2	65

Figura 90: Bill of Material tuyauterie

18- MESURES DE PRECAUTION SUPPLEMENTAIRES

On a décidé de joindre sur le skid 2 mesures fondamentales soit pour assurer la commodité et la sécurité chauffeur soit pour éviter d'endommager le groupe électrogène en contact avec les huiles usagées collectées :

- 1) Un support tuyau dans le quelle le chauffeur peut positionner le flexible afin d'éviter que l'huile à l'intérieur du flexible entre en contact avec le groupe électrogène. Le support comme on peut noter dans la photo ci-dessous a été pointé et soudé au bac de rétention du skid afin que l'huile puisse arriver au bouchon de vidange et donc être déchargé pendant le nettoyage journalier.



Figura 91 : support tuyau pour éviter que l'huile coule partout sur le skid

- 2) Une capote au-dessus du groupe électrogène pour couvrir le système d'échappement que c'est la partie du groupe qui se surchauffe le plus pendant le fonctionnement et donc si l'huile coule sur cette partie le chauffeur pourrait avoir des graves brûlures et dans le même temps le groupe pourrait s'endommager.



Figura 92 : capote installé pour protéger le groupe électrogène de l'huile

19- ANALYSE ELECTRIQUE & COMMANDE

Pour ce qui concerne la partie électrique on a dû répondre à un besoin du chauffeur qui demandait une télécommande pour gérer le pompage dans un sens et dans l'autre et l'enroulement et déroulement du flexible.

Donc on a pensé d'intégrer une radiocommande.

La radiocommande est très simple avec 4 boutons pour gérer un sens et l'autre du pompage et l'enroulement et le déroulement du flexible sur l'enrouleur, plus un arrêt d'urgence.

Au cas où la radiocommande est déchargée on a intégré aussi une commande manuelle de secours afin que le pompage et l'enroulement de flexible puissent se passer dans tous les cas.

Pour réaliser la commande en sécurité il a été indispensable introduire un transformateur qui transforme la tension primaire de 230V en 24 V alternatif. Cela permet donc de réaliser la commande en 24 Volt.

Pour commander l'inversion du sens de rotation du moteur électrique de l'enrouleur et celui de la pompe on a prévu l'utilisation des contacteurs, dans le cas de l'enrouleur on a prévu des contacteurs tetrapolaires et pour ce qui concerne l'inversion du moteur de la pompe on a prévu l'utilisation de 3 contacteur tripolaires.

Ensuite pour protéger les utilisateurs et éviter une surchauffe on a intégré des disjoncteurs moteurs : un pour le moteur de l'enrouleur, un pour la motopompe et un pour le transformateur.

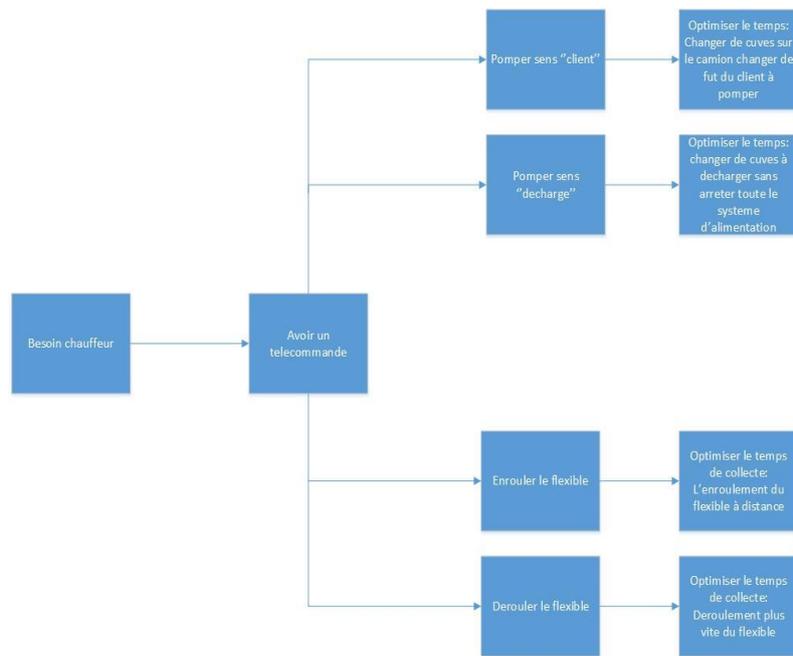


Figura 93 : Besoin du chauffeur collecte huiles alimentaires usagées

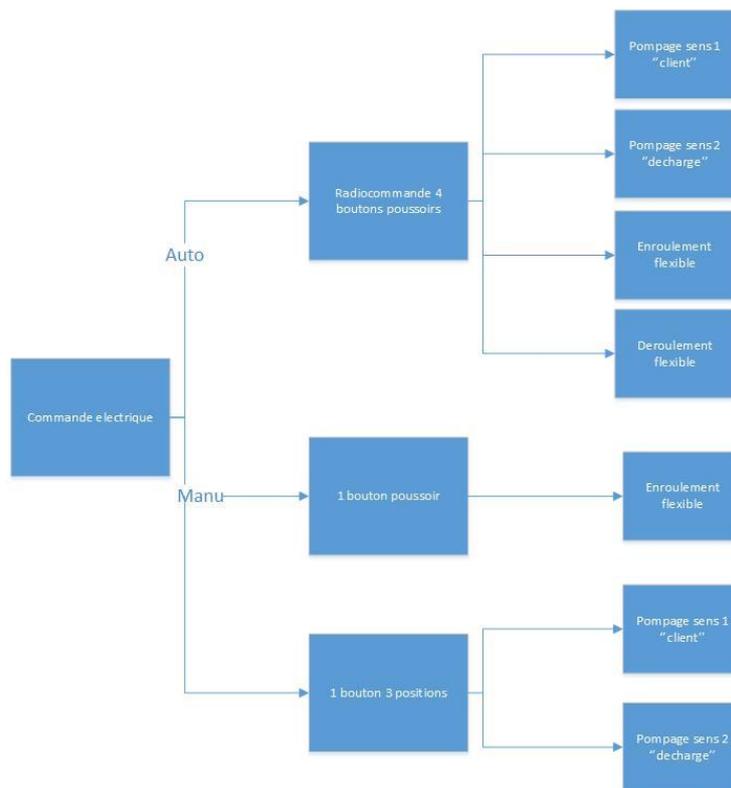


Figura 94 : Organisation de la commande électrique

Ci-dessous il y a la liste du matériel de la partie électrique en indiquant les caractéristiques fondamentales des différents éléments.

Spécifications Electriques SKID POMPAGE

Composant	Quantité
Boite électrique 430*530	1
Fixation boite	4
Bouton auto-manu	1
Interrupteur Sectionneur	1
Plaque de montage	1
Rail coffret	1
Transformateur 24 V 100VA	1
Relais commande 24 V	1
Relais de sécurité (contacteur) 16A / 24V AC	1
Disjoncteur moteur transformateur 1A	1
Disjoncteur moteur pompe 14A	1
Disjoncteur moteur enrouleur 3,4A	1
Boite vide 2 boutons	1
Bouton poussoir	1
Bouton tournant 3P	2
Boite Vide 1 Bouton	1
Bloc contact à vis	5
Boite à Bouton Arrêt d'urgence	1
Contacteur tetrapolaire enrouleur 3,4A	2
Contacteur tripolaire moto-pompe 14A	3
Fil câblage armoire électrique souple rouge	4mL
Fil câblage armoire électrique souple noir	4mL
Fil 5G 2,5 souple	10mL
Fil 3G2,5 souple	10mL
Fil 5G 1,5 souple	10mL
Fil 3G 1,5 souple	10mL

Fil 2,5mm2 rigide marron	5mL
Fil 2,5mm2 rigide bleu	5mL
Fil 2,5mm2 rigide vert/jaune	5mL
Prise male	1
Bornes	40
Shunt	2
Blocage bornes	8

Figura 95 : spécifications électriques

En ce qui concerne la radiocommande :

Elément
Radiocommande
Récepteur
Support chargeur
Antenne
Kit antenne débrochable

Figura 96 : Composant radiocommande

On a été obligé de prendre le kit avec antenne débrochable comme en mettant le récepteur dans la boîte avec l'antenne à l'intérieur de la boîte le signal n'était pas acceptable.

J'ai rédigé un schéma de câblage en numérotant tous les fils. Cette numérotation a été suivie pendant le câblage réel afin qu'il puisse être possible de le reproduire pour les autres exemplaires de Skid de pompage qui seront réalisés. J'ai indiqué la puissance avec la couleur marron (phase) et neutre (Bleu) et pour ce qui concerne la commande en 24 V j'ai utilisé le rouge (dédié au retour de courant) et le noir (dédié à la communication de la commande), j'ai été complètement fidèle aux couleurs et aux numéros qu'on retrouve dans l'armoire électrique.

Le fil numéro 29 actuellement n'est pas câblé. C'était le fil qui alimentait le contacteur du déroulement de l'enrouleur. Tout d'abord on avait un bouton 3 positions pour commander enroulement/déroulement mais comme on a vu que le déroulement était trop rapide, nous avons jugé ne pas être en sécurité avec un bouton 3 positions qui n'était pas assez sensible. On a décidé de remplacer le bouton 3 positions par un bouton poussoir pour commander seulement l'enroulement automatique (on avait une boîte vide à 2 trous et l'autre trou était pour le bouton 3P pour la pompe). Pour le prochaine Skid on pourrait prendre par exemple un boîte vide 3 boutons pour intégrer un bouton poussoir aussi pour le déroulement

19.1- SCHEMA CABLAGE GENERAL

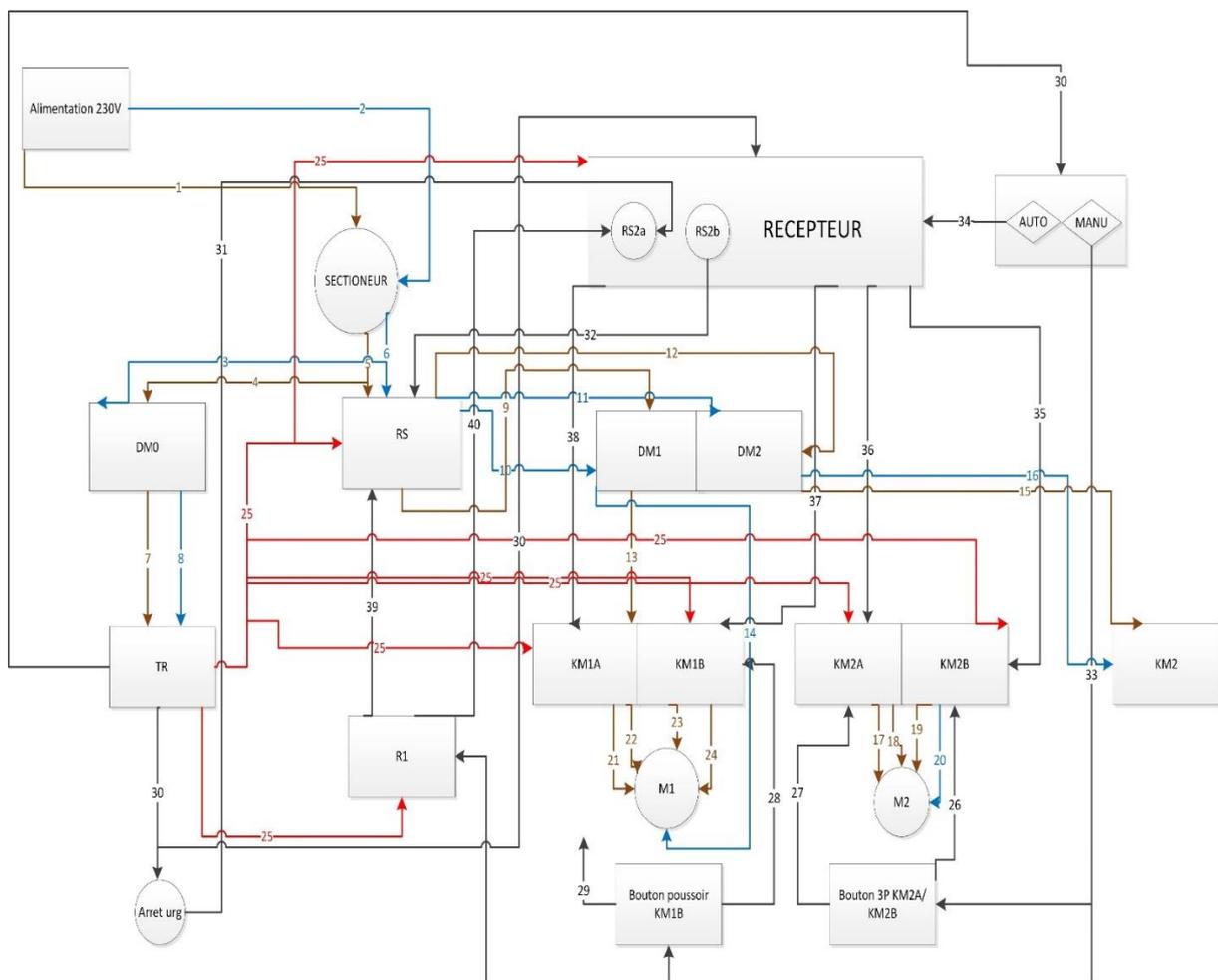


Figura 97 : Schéma câblage général

19.2- COMPOSITION BOITE ELECTRIQUE

Photo finale de la platine à mettre dans la boîte électrique après le câblage. Disjoncteur, sectionneur, contacteur et relais ont été fixés sur 3 rails d'une longueur 340 mm. Les rails ont été fixe sur la platine à travers 18 vis M6, 18 écrous frein M6, 18 rondelles.

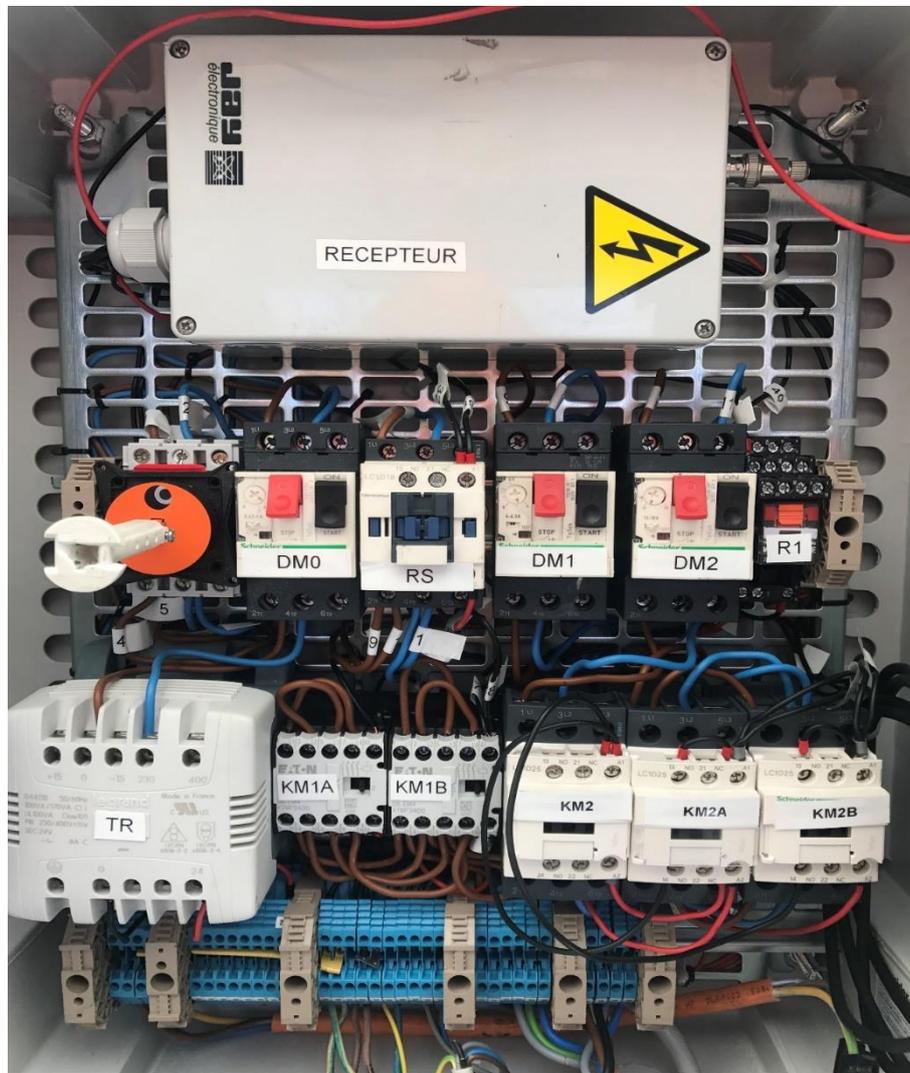


Figura 98 : composition armoire électrique

CABLAGE HORS DE LA BOITE

En ce qui concerne la puissance on a utilisé :

- 5G 2,5 orange résistant aux huiles pour aller du bornier à la moto pompe
- 5G 2,5 orange résistant aux huiles pour aller du bornier aux fils 3, 4, 5,6 de l'enrouleur
- 3G 2,5 pour amener la phase et le neutre directement au fils 1 et 2 de l'enrouleur
- 3G2, 5 orange pour l'entière alimentation qui arrive du groupe électrogène

Pour ce qui concerne la commande :

- Fil 3G1, 5 qui sort de la boîte pour aller à la boîte de l'arrêt d'urgence



Figura 99 : photo boîte arrêt d'urgence

-Fil 5G1, 5 pour aller à la boîte avec 3 positions (pour sens 1-2 de la pompe) et un bouton poussoir (pour la commande de l'enroulement de flexible de l'enrouleur)



Figura 100 : photo boîte bouton manuel 3 positions et bouton poussoir

-Fil 3G1, 5 pour aller à la boîte vide avec 1 boutons tournant 3 positions pour choisir l'option auto (radio commande) /manu (Boutons)



Figura 101 : photo bouton boîte bouton 2 positions

Dans le tableau ci-dessous il y a l'indication des câbles utilisés avec le nombre correspondant au schéma de câblage et le type de presse étoupes qu'on a utilisé.

Type de fil	Nombres fils	Presse étoupe	va ou
-------------	--------------	---------------	-------

5G2,5 orange	21,22,23,24	PG16	Enrouleur
5G2, 5 orange	17, 18, 19, 20	PG16	Moto pompe
3G2, 5	14,13	M20x 1, 5	Neutre et phase enrouleur
3G 2,5 orange	1,2	M20x 1, 5	Groupe électrogène
5G 1,5	33, 26, 27, 28,29	M16x 1, 5	Boite 1 bouton 3P et un bouton poussoir
3G1, 5	30,31	M16x 1, 5	Boite bouton arrêt d'urgence
3G1, 5	30, 34,33	M16x 1, 5	Boite bouton auto-manu
Antenne recept		M16x 1, 5	Récepteur dans la boite électrique

Figura 102 :Typologie de fil utilisé pour la pompe embarqué

Ci-dessous on peut observer la disposition des presses étoupes qui ont été placés en perçant la boite dans le bas pour éviter qu'il y ait des fuites d'huile ou d'eau dans la boite. On a dû disposer aussi un presse étoupes pour l'antenne de la radiocommande parce que si on mettait l'antenne à l'intérieur de la boite le signal ne marchait pas donc on a été obligé de la câbler hors et placer l'antenne sur le Skid.



Figura 103 : disposition trou dans la boite pour le passage des fil

Finalement j'ai réalisé un dessin où il y est indiqué l'emplacement des 8 perçages à travers une perceuse dans le cadre au-dessous de la boite afin de recevoir les différents presses étoupes.

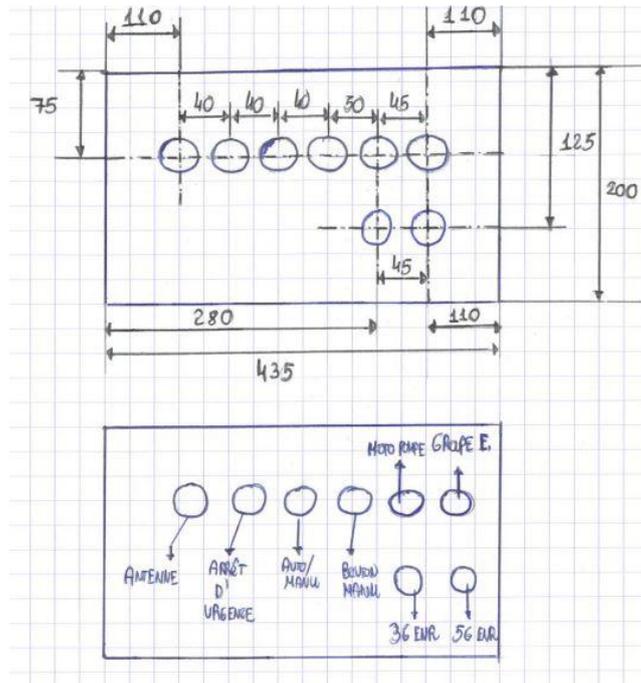


Figura 104: Schéma disposition trou dans la boîte pour le passage des fils électriques

20- BUDGET

En analysant le budget par centre de coût et macro areas on a vu les résultats suivants :

Budget SKID Pompage	
Groupe électrogène	1800 €
Motopompe	4000 €
Enrouleur	2800 €
Tuyauterie	1200 €
Electricité	2500 €
Châssis	2200 €
BUDGET Total	14500 €

Figura 105 Budget skid subdivisé par composant

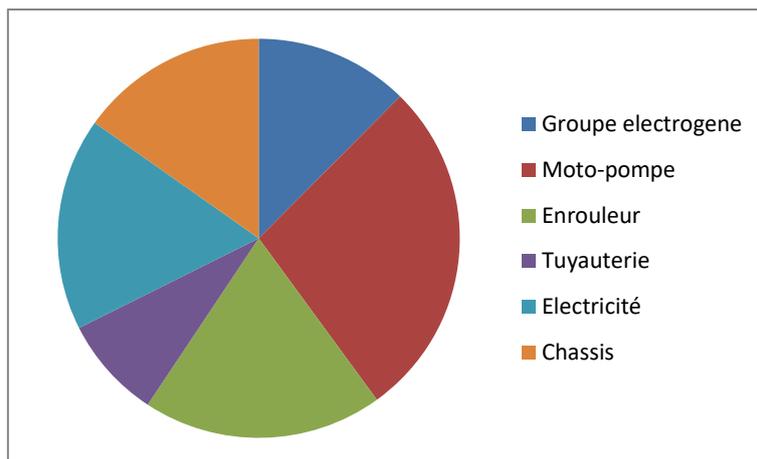


Figura 106 : graphique à tarte indiquant budget subdivisé entre le composant

Comme on peut noter du diagramme circulaire le coût prépondérant est celui de la moto pompe. Le producteur de la moto pompe fait beaucoup de marge sur la fourniture de l'accouplement de la pompe à piston excentré et du moteur.

En effet, la pompe CC20 sans moteur coûte 1300 € et avec moteur et transmission fixe sur châssis en acier ça fait 4000 euro, alors qu'un moteur électrique coûte 400 euro.

21-STRATEGIE ECONOMIQUE

Avant de penser à faire des économies d'échelle en achetant un grand nombre de composants pour obtenir des réductions sur les futurs skids, on peut noter que tous les éléments du Skid ne sont pas des éléments spécifiques donc pour baisser le coût du skid il faudrait internaliser le plus possible. On peut voir que la situation actuelle c'est-à-dire la situation pour la constitution du skid on a acheté tous les composants chez des fournisseurs à l'extérieur

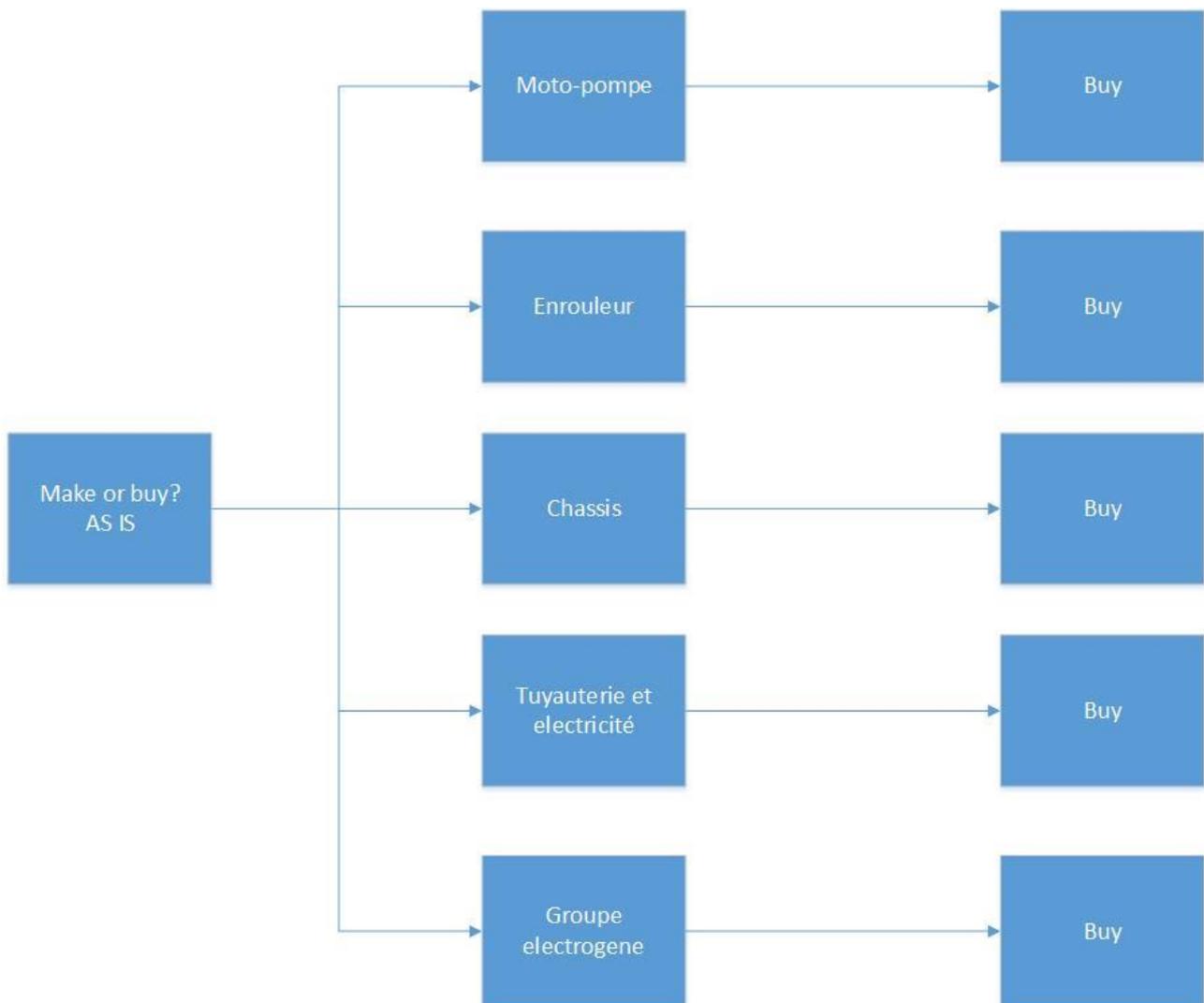


Figura 107 : Choix initial du make or buy

On peut donc voir que le prototype actuel a été construit en externalisant la production de tous les composants, on s'est donc posé comme assembleur des différents composants qui comprennent le skid de pompe embarquée.

Cette solution qu'on a décidée tout d'abord a été décidée afin d'obtenir un prototype dans le temps le plus vite possible, on avait la contrainte de construire un prototype de pompe embarquée standardisée à présenter au groupe dans moins de 6 mois et donc on ne pouvait pas partir en fabriquant des composants à l'intérieur.

Mais maintenant qu'on a élaboré le prototype j'ai donné quelques conseils à l'entreprise pour réussir à baisser le coût de production du skid et aussi à l'améliorer en internalisant des composants critiques. On peut voir ci-dessous un schéma où j'ai analysé la situation TO BE que j'ai souhaité adopter à la société, en vert on peut noter les situations qu'on peut laisser pareil c'est à dire rester sur l'option BUY, en rouge les situations que je souhaite changer afin d'obtenir des objectifs spécifiques qu'on va analyser.

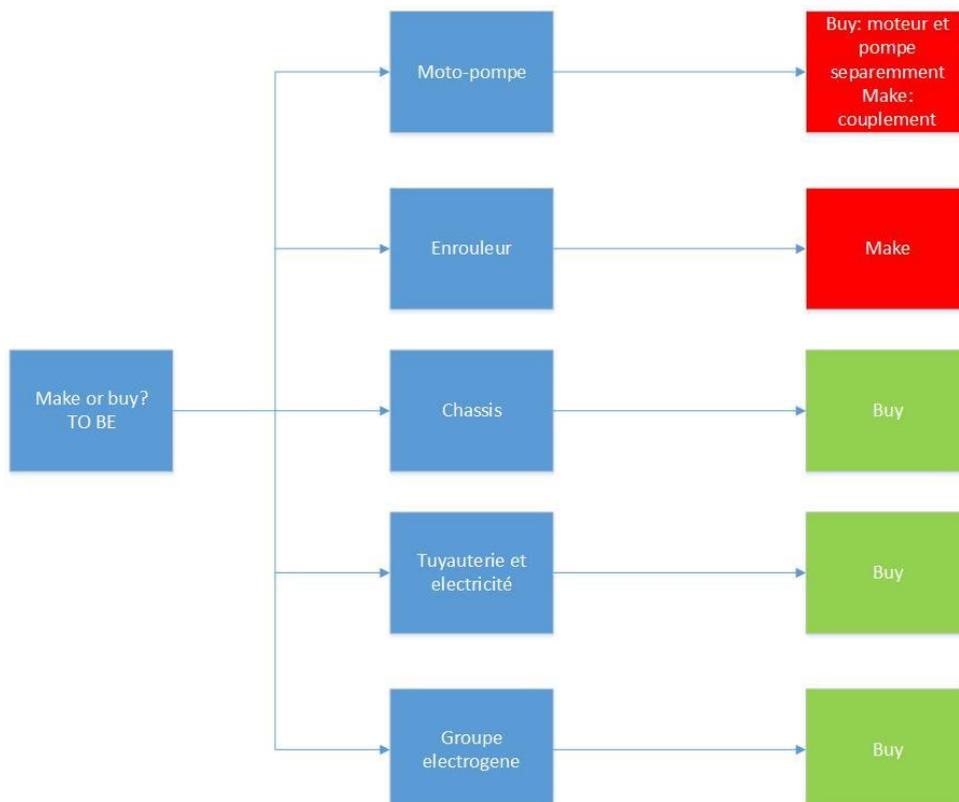


Figura 108 : Choix ex post de make or buy

En effet on peut voir qu'il y a des composants comme par exemple le groupe électrogène, la fourniture de la tuyauterie et du matériel électrique qu'on ne peut pas éviter d'externaliser et acheter sur le marché. Ça c'est parce que ce sont des composants standardisés dont la production n'est pas du tout dans le core business de DIELIX qui s'occupe de la production et de la collecte des huiles usagées.

Par contre pour ce qui concerne la moto pompe il suffirait d'acheter l'arbre de la pompe nu et séparément le moteur électrique et faire nous-même la transmission. De cette façon, on pourra déjà économiser 2000 € par skid (-14%). Surtout au moment où on aura le prototype moto pompe on pourra l'étudier et si ça marche bien le refaire à l'identique en commandant séparément moteur et pompe ou sinon le modifier en interne. En plus pour nous la moto pompe est l'élément le plus critique qu'il faudrait développer à l'intérieur parce que c'est l'élément dans le skid qui nous permet de faire la collecte des huiles et de l'optimiser. En effet en faisant levier sur les prestations de la motopompe on peut les améliorer en cherchant de coupler des moteurs électriques et des pompes qu'on peut acheter séparément sur le marché et introduire la transmission chez nous et dans cette façon on va gagner de l'argent et on va garder à l'intérieur un aspect de valeur et critique pour ce qui concerne la collecte.

Il y aussi l'aspect de l'hold up à considérer pour les investissements spécifiques : En effet si on va acheter séparément les deux composants sur le marché on restera totalement indépendant de notre fournisseur aussi pour des éventuels problèmes post sales avec la moto pompe et on évitera que le fournisseur va par exemple faire des prix plus haut pour les prochains exemplaires et on peut rester contractuellement lié à lui dans ce domaine. En effet le moteur électrique

Naturellement afin d'obtenir des changements dans l'entreprise il faut corrélérer le changement avec des objectifs précis. Pour ce qui concerne le changement entre la situation actuelle c'est-à-dire la situation du prototype ou on a la moto pompe qui nous est déjà donnée avec la transmission et la situation TOBE ou on va acheter séparément les deux

composants et on va les coupler ensemble on peut noter ci-dessous les objectifs qu'on peut rejoindre.

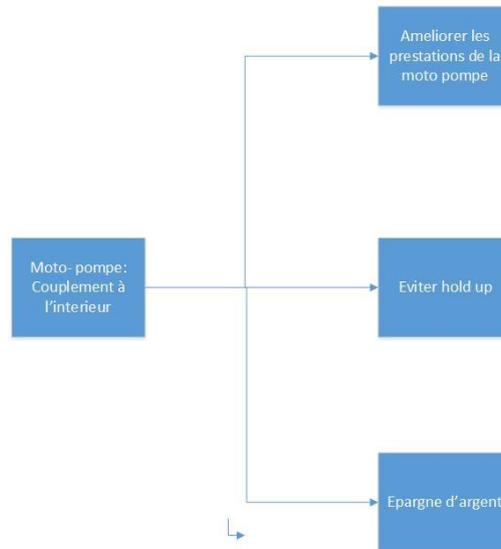


Figura 109 : Choix différent moto pompe

Aussi l'enrouleur est un composant qui n'a pas de mécanisme difficile à refaire et il coûte vraiment chers, c'est vrai qu'il a une fonction fondamentale pour la collecte mais on pourrait essayer de le faire en interne une fois qu'on a validé et avoir étudié son fonctionnement. C'est un composant qu'on pourrait aussi customiser selon le besoin du chauffeur et selon l'encombrement qu'on souhaite avoir. Pour faire ça il faut faire attention au dimensionnement du tambour qui doit être dimensionné pour la longueur du flexible qu'on souhaite enrouler

Donc aussi dans ce cas en internalisant la production de l'enrouleur on pourra customiser notre enrouleur selon les besoins du chauffeur et être indépendant de notre fournisseur qui fait beaucoup de marginalisation aussi dans les pièces de rechange de l'enrouleur qui sont des pièces spécifiques de l'enrouleur qui ne se trouve pas sur le marché mais qui doivent être absolument acheté chez les fournisseurs.

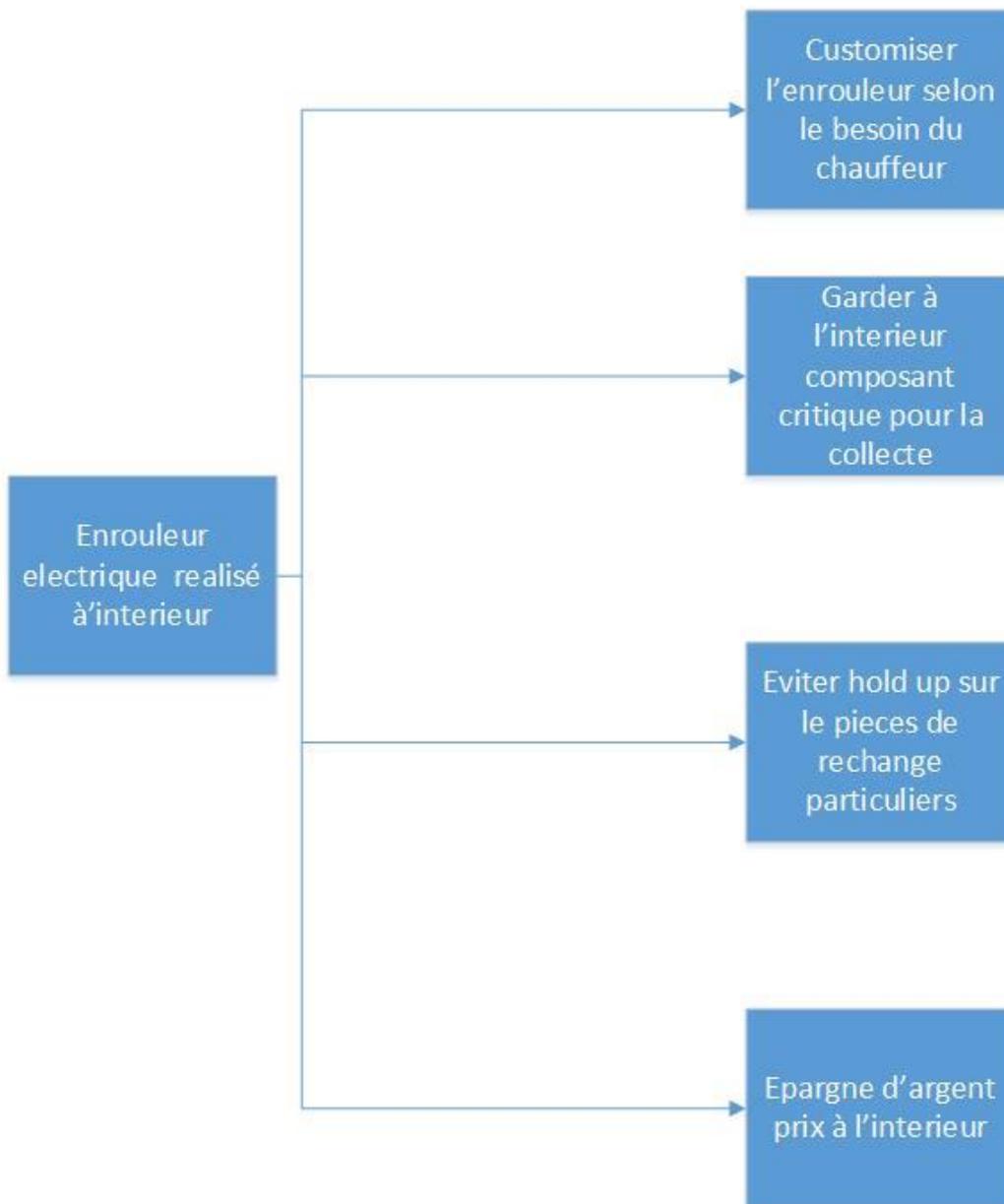


Figura 110 : choix différent enrouleur

Cependant pour ce qui concerne le châssis on peut tout de suite noter que ce n'est pas un composant très critique et aussi le coût qu'on a pour le produire à l'intérieur est supérieur à celui qu'on paie sur le marché.

En effet les soudeurs chez DIELEX coûtent 3000 Euro par jour et pour réaliser le skid j'ai calculé qu'un soudeur tout seul a un délai d'une semaine pour réaliser le skid chez DIELEX (travaux en régie). Donc si et si on va ajouter aussi le coût des composants qu'on utilise pour produire le skid qui est beaucoup inférieur parce qu'on va utiliser de l'INOX on dépasse le prix qu'on paie sur le marché. Donc d'un point de vue économique il est

mieux externaliser la production du châssis. On peut comparer ci-dessous le prix qu'on paie sur le marché pour la réalisation du châssis avec le cout qu'on peut soutenir si on fait le châssis chez DIELIX.

Composant	Quantité	Poids (Kg)
IPE 100 à soudé	9	10
Tole	1	2
Tole pliée soudé	1	3
Bac de retention	1	1
Tube carré INOX 30x30	4	12
Tube Carré Inox 50x30	2	5
Tube carré INOX 30x30	7	21
Percage Bouchon Vidange	1	1
Tube carré INOX 30x30	2	6
Tube carré INOX 30x30	1	3
Platine INOX	1	2
Tube carré INOX 30x30	4	12
Percage trou fixation boite	4	2
Poid total Chassis	1	80
	Euro/Kg	

Cout INOX 301	4	
Cout materiel chassis	320	

Figura 111 Cout make châssis à l'intérieur

$$\text{Cout total chassis DIELIX} = \text{Cout materiel chassis} + \text{cout soudeur}$$

$$\text{Cout total chassis DIELIX} = 320\text{€} + 3000\text{€} = 3320\text{€}$$

Donc on peut comparer le cout du châssis produit par DIELIX avec le prix du châssis sur le marché produit par des mécanos.

$$\text{Prix chassis chez mechano} = 3000\text{€}$$

Donc on peut tout de suite voir qu'en produisant le châssis à l'intérieur on peut gagner de l'argent.

Le cout prépondérant pour le skid est certainement celui des soudeurs, en effet DIELIX dans son personnel n'a pas des soudeurs mais quand on a besoin d'un soudeur on va le prendre chez des autres sociétés et ça coute vraiment beaucoup. On pourrait en prendre un sous la société mais on n'a pas un besoin journalier mais seulement quelque fois pour faire des travaux en régie dans l'établissement mais ils sont des travaux périodiques pas du tout contrintuitives.

Aussi d'un point de vue stratégique le châssis ne semble pas une composant dont internaliser la production parce que c'est assez standard et sa production et les composants qui sont soudées pour le faire sont facilement disponible sur le marché donc aussi les fournisseurs du châssis n'ont pas un pouvoir contractuel avant ou après la vente très haut comme dans les autres cas donc j'ai conseillé de prendre

Donc comme on a vu qu'on n'a aucune commodité économique et stratégique à internaliser la production du skid on va éviter de le faire et j'ai conseillé donc à l'entreprise de continuer à faire produire le châssis à l'extérieur. La seule chose qu'on peut ajouter à la production du châssis sont les trous de fixation de tous les composants sur le châssis, ça

sera surement plus facile une fois qu'on a standardisé le skid de pompage avec les différents encombrements des composants. Pour ce qui concerne le prototype en n'étant pas sur des desseins contractuels on a fait les trous de fixation chez nous avec des difficultés parce que pour l'INOX il faut avoir des perceuses très particulières fait exprès pour cette matériel.

22- RETOUR SUR INVESTISSEMENT

Pour avoir un retour sur investissement rapide il faudrait faire du pompage uniquement avec le Skid. Mais tous les fûts ne peuvent pas être pompés (par exemple le graisse de grill et pendant l'hiver des fûts vont figer). Pour intégrer cette solution il faudrait catégoriser les clients et réorganiser la collecte en utilisant par exemple un camion pour le pompage et un camion pour la collecte des fûts qui ne peuvent pas être pompés.

J'ai conduit une analyse économique pour voir le temps de retour sur investissement d'un Skid de pompage (15 000 Euro) qui peut être installé sur un ou plusieurs camions depuis qu'il peut être échangé sans problème entre les camions en tant qu'entité complètement indépendante.

Hypothèse :

-Les petits camions qu'on a chez DIELIX peuvent charger maximum 3,2 tonnes donc si on considère que le Skid pèse 500kg on pourra charger maximum 2,7 tonnes d'huiles c'est à dire maximum 3 IBC pleins. Mais en considérant que dans un tour il y a des huiles qui ne peuvent pas être pompées (ex graisse de grill ou fût figés pendant l'hiver) j'ai conduit une analyse conservatrice avec 2 IBC qui peuvent être remplis.

-Les fûts ne peuvent pas être complètement éliminés et donc aussi leur processus de lavage ne peut pas être éliminé du tout. Donc j'ai fait une analyse économique entre le coût qui nous amené à 7 fût en comparaison avec 1 IBC en considérant que 7 fût (1000

litres) nous amènent la même quantité d'huile qu'un IBC (1000 litres). (J'ai toujours utilisé l'équivalence 1 IBC=7 Fûts).



Figure 112 : équivalence entre fut et IBC

-Les fûts sont emballés en quantité de 5 sur une palette en utilisant 300 grammes de film pour chaque emballage et le coût du film est 3 Euro/Kg



Figure 113 : Nombre de futs par palette

-Le coût d'une palette est 6 euros par pièce et on a un taux d'échange du 10%

-Le coût de location du camion avec le système de pompage annexé est de 500 euro par mois plus cher du coût du camion sans système de pompage. Donc ça représente une entrée fixe chaque mois.

-Pour le calcul j'ai considéré 250 jours de lavage des fûts/IBC par an

Pour calculer le retour sur l'investissement initial de la pompe emballée estimé à 15000 euro il faut bien analyser la situation AS IS de laquelle on départ parce que la collecte comme on a déjà dit peut se passer avec des camions qui ont un système de pompage

hydraulique connecté directement qui donne la possibilité de pomper les cuves des clients ou avec des camions qui n'ont pas de système de pompage et avec lesquelles on peut collecter que des futs manuellement par le chauffeur.

Situation AS IS	Situation TO BE	Coûts évitables	Coûts additionnels
Pompe hydraulique installé sur le camion (1)	Investissement avec Pompe embarquée	<ul style="list-style-type: none"> -Dépannage et maintenance -Coût lavage fut vs IBC -Coût location camion avec système de pompage installé -coût essence fonctionnement pompe hydraulique 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût essence pour le fonctionnement du groupe électrogène -Maintenance pompe embarquée
Camion vide avec aucun système de pompage installé (2)	Investissement avec Pompe embarquée	<ul style="list-style-type: none"> -Coût lavage fut vs IBC 	

Figura 114 Coût évitables et coût additionnel analyse investissement

Comme on peut voir par le tableau il y a une différence entre les coûts évitables qui nous amène l'investissement dans les deux situations AS IS qu'on retrouve maintenant dans la collecte. Donc aussi le temps de retour sur investissement diffère si on a des coûts évitables qui diffèrent dans les deux situations.

Situation AS IS (1) : Pompe hydraulique installée sur le camion

Coûts évitables (1) :

-Coût location camion avec système de pompage installé : Dans ce cas où on a déjà un système de pompage hydraulique qui est pris en location avec le camion si on va le substituer avec un système de pompage embarqué on prendra en location un camion sans système de pompage et donc on aura une épargne parce que la location du van sans système de pompage est naturellement plus cher que la location du van vide.

Prendre en location un camion avec le système de pompage hydraulique intégré coûte 500 Euro en plus par mois donc 6000 euro par an par rapport à un camion sans système de pompage. Donc avec le skid produit chez nous et mis sur le camion on pourra certainement gagner cette 6000 euro annuel qui se présente comme une épargne fixe annuelle

-Dépannage et maintenance : Dans ce cas on aura aussi une optimisation de la collecte parce qu'il n'y aura pas de jours de non collecte causés par la manutention ou dépannage du van ou du système de pompage. En ayant créé un système de pompage interchangeable et standardisé si on a un problème au système de pompage on va mettre une autre skid pompage sur le camion et de l'autre côté si on a des problèmes avec le camion on va prendre un autre camion et on va y poser la pompe embarquée

-Coût lavage fût vs IBC : Ensuite la pompe embarquée dotée d'un système de filtration peut pomper les fûts du client dans des IBC installés sur le camion donc dans ce cas on pourra laisser les fûts chez les clients et nettoyer les IBCs dans lesquelles on a pompé les huiles après les avoir déchargées dans le fondoir. Naturellement le camion qui sont maintenant utilisés avec le système de pompage ont dans leur tour toujours de pompage des cuves de client et une partie de collecte des fûts donc dans cette situation la diminution de lavage des fûts remplacé par IBC sera plus marginal comparé au camion

qui font que des collectes des futs ou tous les futs seront remplacé par des IBCs, c'est le cas de la situation AS IS (2) ou il n'y a aucun système de pompage installé sur le camion.

-Cout essence fonctionnement pompe hydraulique: actuellement la pompe hydraulique est directement lié au fonctionnement du van et donc consomme de l'essence du camion pour permettre son fonctionnement. Avec l'installation de la pompe embarquée on pourra éviter de démarrer le camion pour faire fonctionner notre système de pompage qui est actionné par le groupe électrogène qui consomme essence ou simplement par l'électricité si on branche directement la prise au réseau. La pompe hydraulique consomme le 50% (la moitié) d'essence qu'on consomme avec notre skid de pompe embarquée ou cas ou on branche la prise au groupe electrogene qui consomme essence.

On ne considère pas le cout pour la manutention du système de pompage parce que comme il est pris en location avec le camion la manutention est complètement gérée par le locataire et donc ne peut pas être considéré un cout évitable.

On ne considère non plus le cout de démission de l'implantation de lavage des futs parce qu'il n'est pas possible de pomper tous les futs, il y a la graisse de grille et des futs qui pendant l'été son brisé qui ne peuvent pas être pompées.

Situation AS IS (2) : Aucun système de pompage installé sur le camion (2)

Cout évitable AS IS (2) :

-Cout lavage fut vs IBC

Dans ce cas grâce à l'installation d'un skid de pompe embarquée on pourra pomper tous les futs des clients dans les IBCs installés sur le camion et ça comme on verra amène à une

épargne sur le lavage. En effet on évitera de nettoyer les futs de client et on nettoiera les IBC dans lesquelles on pompe les futs après avoir été déchargé dans le fondoir.

Coûts additionnels (1) et (2) :

- Coût essence pour le fonctionnement du groupe électrogène : Le skid de pompage fonctionne en branchant la prise au groupe électrogène ou au réseau. Dans le premier cas l'électricité est générée en consommant de l'essence par le groupe électrogène, dans le deuxième cas on branche directement au réseau et donc on aura la consommation d'électricité.

C'est un coût additionnel qu'on a si on va introduire notre skid de pompage sur chaque camion qu'on a en France pour effectuer la collecte des huiles usagées. Le coût a été calculé après avoir estimé le fonctionnement par semaine du skid de pompage (presque 4 heures par jour, 2 heures pour le sens client et 2 heures pour le sens fondoir c'est-à-dire pour le déchargement des huiles collectées par le camion)

-Maintenance pompe embarquée : Dans mon analyse j'ai pris comme coût de maintenance 1% de la valeur de l'investissement initial. Pour ce qui concerne la manutention de la pompe embarquée j'ai considéré comme coût annuel capex 1% de l'investissement initial de la pompe embarquée qui est de 15000 Euro. Ce pourcentage est utilisé pour faire une évaluation des investissements à l'intérieur de l'entreprise.

Maintenant avant de procéder en analysant le retour sur investissement dans les deux cas AS IS on va analyser les différentes voix de coût qui sont indiqués dans le tableau pour bien comprendre leur origine et comment on peut les calculer et intégrer dans mon analyse.

22.1- COUT LAVAGE FUT VS IBC

Cette épargne est présente et prépondérante dans la situation AS IS (2) ou on va remplacer beaucoup des futs par des IBCs sur le camion. Les fut ne sont pas complètement remplacé par des IBCs parce qu'il y a toujours une partie des futs qui ne peuvent pas être pompées qui est la graisse de grille ou les futs d'huiles alimentaires brisées pendant l'hiver.

J'ai conduit mon analyse en ce qui concerne la différence de coût entre le processus de traitement des IBC et des fûts au fondoir en considérant toujours 1 IBC lavé=7 fûts lavés.

J'ai commencé en calculant le cout du lavage par fut dans la manière suivant en considérant tout ce qui est liée à cette lavage c'est à dire le cout du lavage du fut de plastique, de son couvercle et ensuite de l'emballage qu'on utilise en mettant le fut 5 par 5 sur de palettes après le lavage pour le transporter sur des semi-remorques. Donc le cout du traitement du fut est donné par : *Cout lavage fut = cout lavage fut plastique + cout lavage couvercle + cout emballage*

Pour cotiser combien ça fait pour nettoyer un fut de plastique on a obtenu la quantité de vapeur en masse (Kg) utilisé pour nettoyer un fut à travers la relation suivant :

$$Q_{ass} = Q_{ceduta}$$

$$m_{vap} * C_p_{vap} * (T_{final} - T_{initial}) = m_{fut} * C_p_{PEHD} * (T_{final fut} - T_{initial fut})$$

Cette équation nous dit que la quantité de chaleur absorbée par le fut est pareil à celui donnée par la vapeur saturée.

Cout Lavage Fut Plastique		
masse fut	kg	5
Temperature initial	°C	10
Temperature finale	°C	100
ΔT	°C	90
Cp PEHD	Kcal/Kg	0,55
Cp vapeur	J/g °C	1,94
Q	Kcal	247,5
Q	J	1035540
m vapeur	g	5930,92784
m vapeur	T	0,00593093
Cout Vapeur	€/T	15
Cout vapeur utilisé	€/fut	0,08896392

Figura 115 : Cout lavage fut de plastique

Ensuite apres avoir calculé la premier composant du cout de lavage du fut (c'està dire cout lavage fut plastique=0,0889 euro) on a calculè la deuxieme composant c'est ò dire le cout du lavage du couvercle.

Pour cette partie on a vu que chaque jour pour le lavage des couvercles on va chauffer 10 litres d eau pour laver chaque couvercle. On peut voir ici suivant le calcul, pour calculer la quantité de vapeur utiliser pour chauffer la masse d'eau on a utilisé toujours la meme equation :

$$Q_{ass} = Q_{ceduta}$$

$$m_{eau} * C_{peau} * (T_{final} - T_{initial}) = m_{vapeur} * C_{pvapeur} * (T_{final} - T_{initial})$$

Cout lavage couvercle		
Litre eau	L	10
Volume eau	m3	0,01
Temperature initial	°C	10

Temperature finale	°C	40
ΔT vapeu	°C	90
ΔT eau	°C	30
densité eau	kg/m ³	1
masse eau	Kg	0,01
Cp vapeur	J/Kg °C	1940
cp eau	J/(Kg °C)	4180
Q	J	1254
m vapeur	Kg	0,00718213
m vapeur	T	7,1821E-06
Cout vapeur	€	0,00010773

Figura 116 cout lavage couvercle

Donc on a obtenu la deuxieme composant du cout de lavage du fut c'est-à-dire cout lavage couvercle=0,0001 Euro.

Maintenant il reste seulement de trouver le cout d'emballage (du film et du pallet) qu'on doit attribuer à chaque fut.

Pour ce qui concerne le palette on peut voir que les fut en étant mis 5 par 5 sur chaque palette le fut aura un taux d attribution du cout de 0,2 (1/5) et il faut considerer qu on a un taux de refus du 10% (c'est-à-dire 1 palette sur 10 est un dechet et les autres 9 sont reutilisé pour des autres emballages).

On peut voir ci suivant les calculs :

Emballage Palette		
Cout aquisition palette	€/palette	6
Taux de remplacement		0,1
Nr Fut par palette		5

Cout par fut	€/fut	0,12
--------------	-------	------

Figura 117 cout emballage palette

Finalement on peut calculer la dernière composant du coût de lavage du fut qui est l'emballage de film. Aussi dans ce cas on peut noter un coefficient d'allocation de 0,2 parce que sur chaque palette sont mis 5 fut mais dans ce cas le taux de refus est de 100 % c'est à dire que le film utilisé pour emballer les fut n'est pas réutilisé.

Emballage Film		
Cout film	€/kg	6
Nr fut par emballage		5
Taux allocation		0,2
Qte film par emballage	kg	0,3
Cout emballage	€/emballage	1,8
Cout par fut	€/fut	0,36

Figura 118 cout emballage film

Donc maintenant on peut calculer le coût total de lavage d'un fut en considérant tous les trois composants qu'on vient de calculer. On peut donc reprendre l'équation :

$$\text{Cout lavage fut} = \text{cout lavage fut plastique} + \text{cout lavage couvercle} + \text{cout emballage palette} + \text{cout emballage film}$$

En substituant les valeurs qu'on vient de trouver on peut calculer le coût du lavage par fut :

$$\text{Cout lavage fut} = 0,09\text{€} + 0,0001\text{€} + 0,12\text{€} + 0,36\text{€} = 0,5701\text{€}$$

Après avoir obtenu le coût du lavage par fut on doit calculer le coût du lavage d'un IBC.

Puis on ira faire la comparaison entre le coût pour laver 7 IBC en la comparant au coût de laver un IBC, toujours en faisant référence à l'équation 1IBC=7fut c'est à dire 1 IBC de 1100 litres nous amène la même quantité d'huiles paragoné à 7 futs de 150 litres.

Le lavage des IBCs se passe avec l'utilisation d'un Karcher qui consomme electricité, donc pour cotiser cette lavage j'ai vu que le temps de lavage d'un IBC est de 5 minutes. L'eau utilisé et le sediment d'huile sont reutilisé dans le procede donc ne sont pas dechet c'est pour cette raison que je ne les ai pas considerés dans mon analyse.

On peut voir ci-dessous le calcul qu'on a fait pour calculer le cout du lavage d'un IBC

Cout Lavage IBC		
Puissance Karcher	W	3000
Temps utilisation par IBC	min	5
Temps utilisation par IBC	heures	0,08333333
Utilisation	Wh	250
Utilisation	KWh	0,25
Cout Electricité	€/Kwh	0,297
Cout Electricité par IBC	€/IBC	0,07425

Figura 119 cout lavage IBC

Donc on peut voir que :

$$\text{Cout du lavage IBC} = 0,07425 \text{ Euro}$$

22.2- MAINTENANCE ET DEPANNAGE

Maintenant en reflechissant sur les autres epagnes qui peut nous amener l'utilisation du skid de pompage qui va remplacer la pompe hydraulique j'ai calculé les epargnes par les jours de manutention du skid ou du camion qu'on va eviter. J'ai cotiser ca en allant

chercher le jour de non pompage ou pour une problématique du système du pompage ou pour une problématique du camion.

J'ai donc décidé de prendre les archives de maintenance du camion et du système de pompage pour noter quand s'est passé qu'on n'a pas pompé à cause d'une problématique ou manutention de l'une ou de l'autre.

Donc j'ai vu les skids standardisés interchangeables entre eux comme un investissement en capacité de production que j'ai valorisé comme une quantité supérieure d'huile en entrée et donc comme une quantité de Biodiesel supérieure en sortie.

Dans ce cadre pour monétiser cette épargne j'ai utilisé la marginalisation qu'on a pour chaque litre de biodiesel de biodiesel en sortie j'ai donc estimé le coût pour produire du biodiesel et l'argent qu'on obtient sur le marché, les données sont des données moyennes parce que l'huile n'est pas toujours payée et ensuite le prix de vente sur le marché du biodiesel ça dépend de la qualité de biodiesel en output (B100 ou B8).

Pour ce qui concerne la probabilité de ne pas réussir à pomper les huiles, c'est-à-dire avoir ou le camion ou le système de pompage en manutention j'ai utilisé les archives et j'ai obtenu la probabilité pendant un an d'avoir un jour de non pompage en considérant par chauffeur 250 jours de pompage par an. On peut donc observer ci-dessous les calculs que j'ai effectués pour arriver à monétiser l'épargne qui nous amène l'installation du skid sur chaque camion.

	jours /an	Nr cuves sur van	Litres huile par van par jour	Kg huile par van par jour	Tonnes huile par van par jour	Price Bio (euro/tonne)
Depannage pompe (1)	3	3	3300	3036	3,036	900,00 €

Depannage camion (2)	2					
Manutention pompe (3)	2					
Manutention camion (4)	3					
P(1)	0,012					
P(2)	0,008					
P(3)	0,008					
P(4)	0,012					
P Tot	0,04					
Nr Jour non collecte van par an	10					
Tonne huile non collectée	30,36					
Tonne Biodiesel non produit	27,32 4					
Revenues brut perdues	24.59 1,60 €					
Cout Production par tonne Biodiesel	850,0 0 €					
Revenues net Perdus par an	1.366, 20 €					

Figura 120 Depannage et manutention

Puis j'ai pris en consideration des autres possible epargne qu'on peut gagner en utilisant notre skid de pompage qui permet aussi de pomper des futs en utilisant des IBCs . Pour ce qui concerne le temps de lavage et de l'utilisation des ressources j ai vu qu'entre 1 IBC et 7 fut on obtient les meme temps de lavage et on utilise les meme ressources donc on a une situation d'indifference qui ne reussit pas à amener des changements entre la situation as is et la situation to to be.

Temps lavage Fut			Temps lavage IBC		
Temps lavage couvercle	min	0,5	Temps lavage IBC sale	min	5
Fut lavé		80	Temps lavage IBC pas sale	min	10
Temps lavage	min	30			
Productivité	Fut/min	2,67			
Cadence	min/fut	0,375			
Temps emballage Fut	min	2,5			

Figura 121 temps lavage fut vs temps lavage IBC

J'ai analysé les temps de traitement d'un fut qui concerne le temps du lavage du couvercle, le temps de lavage du fut et le temps d'emballage du fut sur la palette avec le film.

Pour ce qui concerne le lavage des IBCs on a que le temps de lavage de l'IBC avec le karcher, dans ce cas j'ai noté que si l'IBC est sale c'est-à-dire ou cas ou il y a beaucoup des sediments dans la cuve le temps de nettoyage arrive jusqu'à 10 minutes autrement 5 minutes.

Donc si on considere qu' un IBC nous amene la meme quantité d'huile que 8 futs on peut voir que le temps est presque le meme si on compare ceux deux lavages differents.

1 IBC= 8 Fut		
--------------	--	--

Temps lavage 1 IBC	min	10
Temps lavage 8 fut	min	9,5

Figura 122 comparaison temps de lavage

Aussi les ressources qui sont indispensables pour le lavage des IBCs ou pour les lavages des futs sont les memes en effet on peut voir que

Lavage fut → team 4 personnes

- 1) Chargement des futs
- 2) Dechargement des fut
- 3) Disposition des fut sur la palette
- 4) Emballage film et repositionner la palette

Lavage IBC → team 4 personnes

- 1) Amener l'IBC
- 2) Verser del'eau chaud si sale
- 3) Nettoyer avec le Karcher et devisser le robinet
- 4) Repositionner l'IBC

J'ai aussi analysé si on pouvait gagner de l'espace pour le trasport parce qu'on peut voir qu' un IBC occupe le meme espace d'un pallette ou on pose 5 futs mais on pourrait faire des economies d'espace en considerant qu'un IBC occupe le meme espace d'un palette mais nous amene moins quantité d'huile mais j'ai vu que les semiromorques comme le camion qu'on utilise pour la collecte ont une limite de chargement qui ne peut pas etre dépassé donc il ne serait pas possible de charger un semi remorque avec seulement des IBCs parce qu'on dépasserai la limite et il y aurait del'espace vide sur le semiromorques qui peut hoter l'espace de 32 palettes.

23- CALCUL RETOUR SUR INVESTISSEMENT DEUX CAS

Donc maintenant pour calculer le temps de retour sur l'investissement j'ai considéré deux cas séparément parce qu'on a des coûts évitables différents qu'on vient d'analyser un pour un donc aussi le temps de retour sera naturellement différent.

Le premier c'est une analyse du retour sur investissement dans le cas AS IS (1) c'est-à-dire ou cas où on va remplacer le camion avec la pompe hydraulique avec le skid de pompe embarquée.

Puis on est obligé d'analyser le deuxième AS IS (2) c'est-à-dire ou cas où on a aucun système de pompage installé sur le camion donc on va poser notre skid sur le van.

Dans les deux cas pour calculer le temps de retour j'ai analysé pour chaque van qui collecte des huiles 250 jours par an après combien des années on réussit à rembourser l'investissement initial du skid de pompage installé en analysant séparément les deux cas AS IS (1) et AS IS (2) qui ont des spécifications différentes. J'ai toujours comparé les deux cas avec la situation TO BE qui est la situation où on a l'introduction de mon skid sur le camion pour effectuer la collecte.

23.1- RETOUR SUR INVESTISSEMENT PREMIER CAS AS IS (1)

AS IS (1) : Pompe hydraulique installée sur le camion

TO BE : Pompe embarquée

On se souviens que :

Investissement initial SKID	€	15000
Cout lavage par fut	€/fut	0,41481959
Cout lavage par IBC	€/IBC	0,07425

Figura 123 : cout lavage

Entre les couts evitable il y a aussi 1 IBC aggiutif qui donc cree un epagne pour ce qui concerne le lavage, c'est pas une valeur preponderant mais quand meme contribue à une epargne positif par rapport à la pompe hydraulique parce que maintenant grace à la filtration de mon skid on peut pomper aussi les futs des clients dans les cuves.

Cout evitables		
Nr jour collecte	jours	250
Nr IBC par Van		1
Nr IBC collecté par Van par ans		250
Nr fut correspondants		2000
Cout lavage IBC	€	19
Cout lavage Fut	€	830
Δ Cout	€/ans	811
Δ cout Location Van Fixe	€/ans	6000
Revenue Maintenance&Depannage	€	1366
Cout essence fonctionnement pompe hydraulique	€	650

Figura 124 cout evitable cas AS IS (1)

Cout additionel		
% Manutention	%	1
Capex manutention	€/ans	145
Litre Essence Skid conso par jour	L	4

Litre Essence Skid conso Skid par ans	L	1000
Cout Essence	€/L	1,3
Cout total essence Skid par ans	€	1300

Figura 125 cout additionel(caso TO BE)

Bilan annuel total = couts evitables – cout additionel

Bilan total annuel	€	7382
--------------------	---	------

Puis on va calculer le temps de retour sur l'investissement initial (15000€) on a fait une analyse conservative en prenant le cout de construction d'un premiere prototype fonctionnant de la pompe embarqué installé sur le camion.

$$\text{Investissement initial} - \text{bilan total annuel} * X\text{ans} = 0$$

Retour sur investissment pompe embarquée	ans	2
---	-----	---

Donc on peut noter que si on va prendre un camion avec la pompe hydraulique installé et on va le sobstituir avec un camion vide et on installe notre skid à l'interieur on aura un retour sur investissement tres rapide de 2 ans. On peut noter que la partie preponderant su bilan total annuel est formé surtout par avoir sauvé de l'argent avec la location du camion avec la pompe hydraulique installé (6000 euro sur 7382 du bilan total annuel). Dans ce cas on peut diminuer le temps de recuperation de l'investissement mais la sensibilité de la variation du temps est faible, on arrive a 1,75 ans que plus ou moins c'est ce qu'on a calculé.

En plus si on ne considere pas comme cout additionel l'essence utilisé pour le fonctionnement du groupe electrogene en branchant notre skid à l'electricité des clients on pourrait aussi aller plus vite et obtenir un retour sur investissement rapide.

Donc il semble vraiment convenant de substituer les camion sur les quelles on a installé la pompe hydraulique avec de camion vide sur les quelles on peut installer la pompe embarquée.

23.2- RETOUR SUR INVESTISSEMENT DEUXIEME CAS AS IS (2)

Dans ce cas on peut voir que les couts additionnels sont les memes parce que la situation TO BE analysée est la situation ou on voit l'installation du skid de pompage sur le camion vide pris en location par la société.

AS IS (2) : Camion vide avec aucun système de pompage installé (2)

TO BE : Pompe embarquée

Dans ce cas en comparaison avec le premier cas entre les couts évitables on n'aurait plus le cout de location du camion avec la pompe hydraulique et aussi l'épargne obtenu par une optimisation de la maintenance et dépannage mais on aura une épargne prépondérante sur le lavage des futs parce que notre skid nous permettra de pomper les futs des clients dans des IBC (4 maximum) qu'on peut poser sur le camion vide.

On se souviens que :

Investissement initial SKID	€	15000
<u>Cout lavage par fut</u>	€/fut	0,41481959
<u>Cout lavage par IBC</u>	€/IBC	0,07425

Maintenant on va calculer les couts évitables qui seront l'épargne qu'on peut gagner quand on va laver des IBC au lieu des futs.

Cout evitables		
----------------	--	--

Nr jour collecte	jours	250
Nr IBC par Van		4
Nr IBC collecté par Van par ans		1000
Nr fut correspondants		8000
Cout lavage IBC	€	74
Cout lavage Fut	€	3319
Δ Cout	€/ans	3244

Figura 126 Cout evitable caso AS IS (2)

Pour ce qui concerne les couts additionnels on voit les mêmes couts que dans le premier cas. C'est normal parce que on est en train d'analyser deux situation TO BE qui sont pareils c'est-à-dire la situation ou on va introduire une pompe embarquée sur le camion vide pris en location.

Cout additionnel		
% Manutention	%	1
Capex manutention	€/ans	145
Litre Essence Skid conso par jour	L	4
Litre Essence Skid conso Skid par ans	L	1000
Cout Essence	€/L	1,3
Cout total essence Skid par ans	€	1300

Figura 127 cout additionel cas AS IS (2)

Bilan annuel total = couts evitables – cout additionel

Bilan total annuel	€	1799
--------------------	---	------

Et pour ce qui concerne le temps de retour sur investissement on utilise la formule utilisée aussi dans le premier cas

$$\text{Investissement initial} - \text{bilan total annuel} * X\text{ans} = 0$$

Et on a obtenu :

Retour sur investissement pompe embarquée	ans	8
---	-----	---

Donc dans ce cas on a obtenu un temps de retour sur investissement plus grand que dans le premier cas. Dans ce cas on pourrait obtenir une amélioration très vite si on va éliminer comme cout additionnel le cout de l'essence utilisé pour le fonctionnement du skid, il suffirait seulement de brancher la prise du skid au réseau électrique du client et dans ce cas si on va éliminer cette voix de cout additionnel qui a une influence négative sur le bilan total annuel on va obtenir :

Bilan total annuel	€	3099
Retour sur investissement pompe embarquée	ans	5

Donc on peut voir comme dans ce cas ou la voix variable du lavage est prépondérant l'utilisation de l'énergie électrique pourrait améliorer, quasiment réduire en moitié le temps de retour de rémunération de l'investissement. Diminuer au maximum le temps de retour sur l'investissement de la pompe embarquée installé sur chaque camion en France est une variable très critique permet d'avancer à faire des nouveaux investissements. Ensuite il faut se rappeler que j'ai conduit une analyse très conservative en partant d'une valeur de l'investissement initial de 15000 Euro qui est la valeur du prototype mais comme le skid ne sera pas fait en série mais les autres 20 exemplaires seront fait à l'intérieur de l'entreprise donc on ne vas pas s'éloigner de cette chiffrage, on pourra prendre des

décisions qui peuvent baisser le cout de production du skid comme je vais expliquer dans le chapitre.

24- CONCLUSIONS ET POSSIBLES AMELIORATIONS

De l'analyse du retour de l'investissement on peut identifier des leviers sur lesquels on pourrait agir pour avoir un retour dans les plus brefs délais:

- La contrainte de poids de charge du petit camion qui peuvent amener jusqu' à 3,2 tonnes sans considérer le poids du Skid limite la quantité des IBC qu'on peut remplir et par conséquent aussi la capacité de collecte des huiles. Si ce n'est pas possible d'utiliser un camion qui peut contenir un poids supérieur il faudrait chercher à diminuer le poids du skid qui actuellement est presque de 400Kg en créant une structure de plus en plus légère. Ci-dessous, j'ai fait un tableau où j'ai indiqué le poids de chaque composant en indiquant la partie tuyauterie et Electrique en Macro sans aller dans les détails.

	Poids (Kg)
Skid de Pompage	420
Chassis	85
Moto pompe	120
Group électrogène	88
Enrouleur électrique	62
Partie tuyauterie	50
Partie électricité	15

Figura 128 : poids du skid

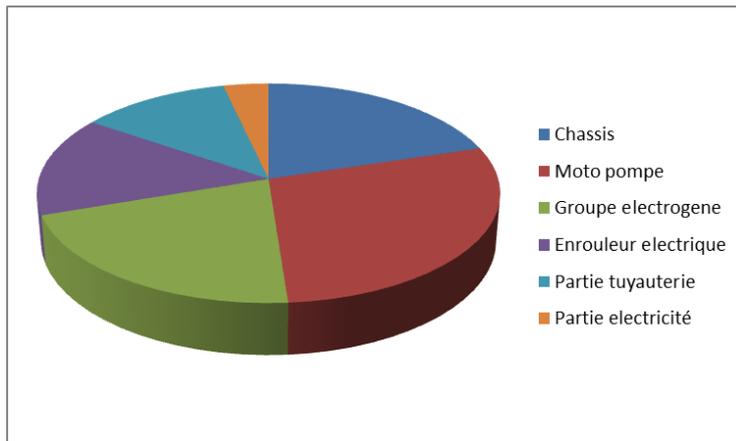


Figura 129 : graphique à tarte qui représente le poids du skid

On peut noter que le poids prépondérant du Skid est surtout celui de la moto pompe et une solution pourrait être d'acheter la pompe et la coupler avec un moteur plus léger ou penser à une solution avec un châssis plus léger sur lequel la moto pompe est installée. Une autre solution pourrait être de faire le châssis du Skid entièrement en aluminium pour gagner du poids, au niveau structurelle ce serait possible comme on peut noter du chapitre de l'appendice. Dans ce cas on ne pourra pas utiliser de l'aluminium pur mais avec des alliages métalliques légers.

- Chercher à pomper le plus possible de fût dans les cuves. En effet plus de fûts on va remplacer avec des IBC plus vite on réussira à économiser sur le processus qui est lié au lavage et emballage des fûts vs IBC et donc plus le retour sur investissement sera court. Dans ce cas il faudrait réorganiser sûrement un peu la collecte pour avoir un taux d'utilisation de la pompe le plus grand possible, c'est-à-dire de pomper beaucoup de fûts pendant la collecte et aller chez le client quand il a une quantité des fûts qui permet de remplir un IBC (6-7 fûts) au cas où il n'est pas possible de mélanger les huiles ensemble.

- Naturellement le temps de retour sur investissement a été calculé pour le prototype qui avait un coût de 15000 mais le coût de production peut être bien plus bas comme déjà expliqué dans le chapitre du Budget on pourrait arriver aussi à un coût de 12000 avec

quelques petites modifications stratégiques et dans ce cas on aura un temps de retour presque d'1 an.

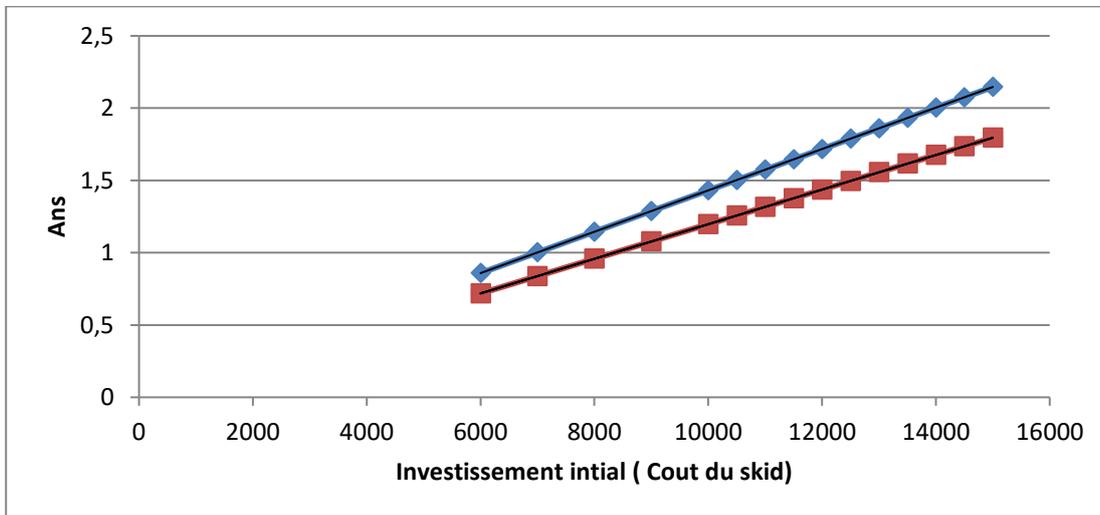


Figura 130 temps de retour sur investissement

- Une partie de l'économie dérive plus du fixe que de la variable obtenue du lavage : la différence de coût de location entre louer un camion avec ou sans système de pompage qui est plus bas de 500 euro par mois et ça permet de faire une économie de 6000 euros par ans pour chaque camion.

Pour le futur le choix de l'entraînement électrique est fondamental en effet si une loi est promulguée qui interdit le pompage à entraînement thermique dans les grandes agglomérations nous pourrions remplacer le groupe électrogène par des batteries ou encore mieux par une rallonge branchée au réseau électrique.

25- MODE D'EMPLOI

On a décidé de rédiger un mode d'emploi pour instruire chaque utilisateur de la pompe embarquée et aussi pour sensibiliser les utilisateurs aux potentielles risques associés.

Le mode d'emploi doit être signée par chaque utilisateur afin qu'il y a un engagement à respecter les règles et la bonne utilisation du Skid.

J'ai réalisé une photocopie du mode d'emploi à laisser à chaque chauffeur, après leur avoir expliqué le fonctionnement de la pompe embarquées avec aussi toutes les précautions qu'il faut prendre en l'utilisant soit pour la santé du chauffeur soit pour ne pas endommager le skid qui est un investissement très haut pour la société dans la longue période.

Mode d'emploi pompe embarquée-simplifié

Démarrage groupe électrogène

1. Avant chaque démarrage du groupe électrogène il faut contrôler : le niveau d'huile et le niveau d'essence en enlevant le bouchon de réservoir de carburant et le filtre d'essence.
2. Placer le commutateur du moteur en position ON
3. Placer le robinet de carburant en position ON
4. Placer le levier de starter en position Fermé
5. Tirer la poignée du lanceur dans le bon sens et après le démarrage attendre 5 secondes ou démarrer électriquement en tournant la clé
6. Placer le levier de starter en position ouvert
7. Accélérer au maximum à travers l'accélérateur

Arrêt groupe électrogène

1. Placer le commutateur du moteur en position OFF
2. Placer le robinet de carburant en position OFF

Faire le plein

Avant chaque collecte quand le moteur est refroidi et arrêté il faut :

1. Enlever le bouchon du réservoir de carburant
2. Enfoncer le pistolet à l'intérieur du réservoir de carburant pour éviter des fuites d'essence en faisant aussi attention à ne pas dépasser le niveau maximal de carburant. Laisser toujours le pistolet en contact avec la partie métallique du réservoir (masse).
3. Après avoir complété le plein bien serrer le bouchon de réservoir de carburant

Avertissements de Sécurité :



Ne rien toucher hors des commandes indiquées ou de la poignée du lanceur: le système d'échappement et le moteur surchauffés peuvent causer des graves brûlures.



L'essence est hautement inflammable et explosive : Arrêter le moteur et le laisser refroidir avant de faire le plein. Quand il faut faire le plein s'assurer de bien enfoncer le pistolet à l'intérieur du réservoir de carburant afin d'éviter des fuites d'essence. Il est aussi fondamental de garder la continuité de masse entre le réservoir et la pompe : c'est pour ça qu'il faut maintenir toujours le contact entre le pistolet et la plaque métallique du réservoir.

Enroulement flexible enrouleur

1. Démarrer le groupe électrogène (voir démarrage groupe électrogène)
2. Choisir option auto ou manu

Option 1 : Auto

3. Soulever le bouton d'arrêt d'urgence de la radio commande et attendre la lumière verte fixe sur la radiocommande

4. Appuyer sur le bouton vert marche/arrêt de la radiocommande
5. Contrôler que la lumière verte sur la boîte électrique s'est allumée
6. Appuyer sur le bouton poussoir de la radiocommande pour enrouler le flexible
7. Accompagner et bien positionner le flexible sur le tambour de l'enrouleur pendant l'enroulement
8. Poser le flexible dans le support à la fin de l'enroulement

Option 2 : Manu

3. Contrôler que la lumière verte sur la boîte électrique s'est allumée
4. Appuyer sur le bouton poussoir de la petite boîte pour enrouler le flexible
5. Bien positionner le flexible sur le tambour de l'enrouleur pendant l'enroulement.
6. Poser le flexible dans le support à la fin de l'enroulement

Avertissement : Il ne faut pas enrouler complètement le flexible à l'enrouleur mais il faut laisser un peu de marge afin de bien placer le flexible dans le support. On fait ça pour éviter le contact entre les huiles usagées et le groupe électrogène.

Déroutement flexible enrouleur

1. Enlever le flexible du support
2. Démarrer le groupe électrogène (voir démarrage groupe électrogène)
3. Placer coupe-circuit en position ON
4. Choisir option auto ou manu

Option 1 : auto

5. Soulever le bouton d'arrêt d'urgence rouge de la radiocommande et attendre la lumière verte fixe sur la radiocommande
6. Appuyer sur le bouton vert marche/arrêt de la radiocommande
7. Contrôler que la lumière verte sur la boîte électrique s'est allumée
8. Appuyer sur le bouton poussoir de la radiocommande pour dérouler le flexible et l'accompagner pendant le déroulement afin de ne pas le gâcher.

Option 2 : manu

4. Dérouler le flexible à la main

Pompage Sens client ou Sens décharge

1. Dérouler le flexible (voir déroulement flexible enrouleur) et bien positionner les deux flexibles dans les cuves / futs respectifs
2. Choisir option auto ou manu

Option 1 : auto

3. Soulever le bouton d'arrêt d'urgence rouge de la radiocommande et attendre la lumière verte fixe sur la radiocommande
4. Appuyer sur le bouton vert marche/arrêt de la radiocommande
5. Contrôler que la lumière verte sur la boîte électrique s'est allumée
6. Appuyer sur le bouton poussoir de la radiocommande en position souhaitée pour pomper sens client ou sens décharge. Pour ce qui concerne le sens décharge il faut démarrer la moto-pompe à vide et ensuite mettre le flexible à l'intérieur de la cuve à décharger sur le camion.
7. A la fin du pompage enrouler le flexible (voir enroulement flexible enrouleur)
8. Arrêter le groupe électrogène (voir arrêt groupe électrogène)

Option 2 : manu

3. Placer le bouton 3 positions de la petite boîte en position souhaité pour pomper sens client ou sens décharge. Pour ce qui concerne le sens décharge il faut démarrer la moto-pompe à vide et ensuite mettre le flexible à l'intérieur de la cuve à décharger sur le camion.
4. A la fin du pompage enrouler le flexible (voir enroulement flexible enrouleur)
5. Arrêter le groupe électrogène (voir arrêt groupe électrogène)

A la fin de chaque journée il faut nettoyer le filtre à huile de la pompe.

On a aussi cherché de faire comprendre aux chauffeurs l'importance de ne pas endommager le groupe électrogène en contact avec de l'eau ou des huiles alimentaires. En effet le groupe électrogène est le composant le plus critique au quel il faut prêter attention parce qu'il n'est pas fait exprès pour travailler dans des domaines sales avec de l'eau donc aussi pour le nettoyage du skid il faut prêter absolument attention et sensibiliser les chauffeurs au respect des règles.

C'est pour cette raison qu'on a organisé des journées où on a expliqué tous les fonctionnements du système de pompage aux chauffeurs et tous les possibles risques qu'une utilisation trompée du système de pompage peuvent amener.

On peut voir ci-dessous aussi le mode d'emploi de la commande :

Après avoir démarré le groupe électrogène choisir entre l'option AUTO/MANU :

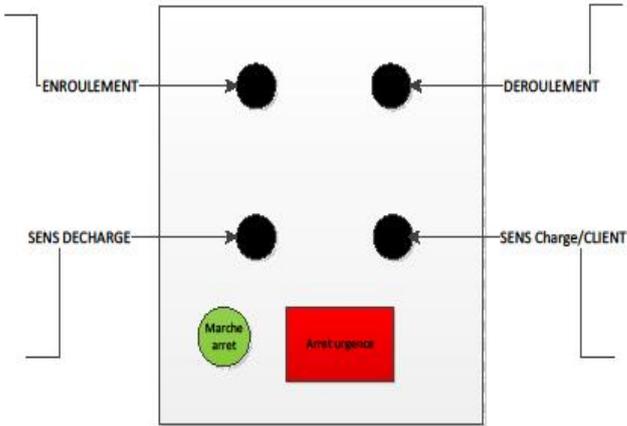
OPTION AUTO



OPTION MANU

La lumière verte sur la boîte électrique doit s'allumer





Pour pomper dans le sens Client: baisser le bouton 3 positions (CL)



Pour pomper dans le sens décharge: démarrer la pompe à vide en soulevant le bouton 3 positions (DECH) et mettre le flexible dans la cuve du camion. Autrement utiliser le tuyau soudé.



Pour enrouler le flexible: appuyer sur le bouton poussoir (ENR)



1. Soulever le bouton d'arrêt d'urgence rouge de la radiocommande et attendre la lumière verte fixe sur la radiocommande
2. Appuyer sur le bouton vert marche/arrêt de la radiocommande
3. Contrôler que la lumière verte sur la boîte électrique s'est allumée
4. Appuyer sur le bouton poussoir de la radiocommande en position souhaitée pour pomper sens client ou sens décharge
5. A la fin du pompage enrouler le flexible (voir enroulement flexible enrouleur)
6. Arrêter le groupe électrogène (voir arrêt groupe électrogène)

Figura 131 : mode d'emploi de la commande

Bibliografia

- [1] Il libro verde, COMMISSIONE DELLE COMUNITA' EUROPEE, Bruxelles,
- [2] Il Brasile primo produttore mondiale di metanolo, www.italiaestera.net ,
- [3] Che cos'è il Biodiesel, Associazione Italiana Produttori Biodiesel
- [4] Il Biodiesel, carburante ecologico alternativo, www.biodiesel.it
- [5] M. Cardone, A. Senatore "Efficienza del Biodiesel ed Emissioni in Atmosfera"
Terrafutura - Convegno Internazionale delle Buone Pratiche di Sostenibilità, Firenze,
1-4 aprile 2004
- [6] M. Cardone, M. Mazzoncini, S. Menini, V. Rocco, A. Senatore, M. Seggiani, S.
Vitolo "Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in
Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and
characterization" *Biomass and Bioenergy* 25 (2003) 623 – 636
- [7] Inquinamento ambientale, www.miw.it/inquinamentoambientale.htm
- [8] Effetto serra: i gas serra, www.nonsoloaria.com
- [9] Un combustibile di origine vegetale, www.gliamicidelbiodiesel.it
- [10] Il Biodiesel, di Andrea Salis, Università di Cagliari, Dipartimento di Scienze
Chimiche, 13 Ottobre 2005, Turismo ambiente energia, Oristano,
- [11] Biodiesel: energia pulita, Ing. Massimo Grotti, www.progettomeg.it
- [12] Cosannuti R., Pinna L., Versori M., Carburanti alternativi di origine agricola: i
derivati degli oli vegetali, Technical Report Abiotech, 1992
- [13] Goering C.E., Schwab A.W., Champion R.M., Pryde E.H., Evaluation of Soybean
Oil-Aqueous Ethanol Micromulsions for Diesel Engines, Proc. Int. Conf. on Plant and
Vegetable Oils as Fuels, Fargo (ND) 2-4 Agosto 1982, ASAE, St. Joseph (MI) 1982.
- [14] Biodiesel: Assegnazione del contingente agevolato per l'annualità 2006, AGENZIE
DELLE DOGANE, 7512ACVCT
- [15] Le decisioni di Kyoto, Ferrara V., ENEA Dipartimento Ambiente
- [16] Padovani L., Carrabba P., Di Giovanni B., 2003. Da Rio a Johannesburg: il percorso
verso lo sviluppo sostenibile. *Energia, Ambiente e Innovazione*, anno 49, 2/2003.

- [17] GARAGUSO G., MARCHISIO S., Rio 1992: Vertice per la Terra, Milano, Franco Angeli, 1993
- [18] MARCHISIO S., RASPADORI F., MANEGGIA A., Rio cinque anni dopo, Franco Angeli, Milano, 1998
- [19] Amici della terra, ISAT (Istituto per le Scelte Ambientali e Tecnologiche, Da Rio a Johannesburg: un bilancio critico dell'indirizzo di sviluppo sostenibile
- [20] ASSOCIAZIONE TERMOTECNICA ITALIANA: Sezione Lombarda, Ingegneria e tecnologia di combustione per il rispetto dell'ambiente, convegno: Milano, 15 ottobre 1996
- [21] Amici della terra, ISAT (Istituto per le Scelte Ambientali e Tecnologiche), Da Rio a Johannesburg: un bilancio critico dell'indirizzo di sviluppo sostenibile
- [22] A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impact on Exhaust Emission, Draft Technical Report, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Air and radiation, EPA420-P-02-001, Ottobre 2002
- [23] E Trapel, C Mayer, C Schulz, P Roth, "Effects of Bio Diesel Injection in a DI Diesel Engine on Gaseous and Particulate Emission Erica Trapel", 2005 SAE Brasil Fuels & Lubricants Meeting, Rio De Janeiro, Brasile, maggio 2005
- [24] K Eiji*, H Kazunori, M T Kagoshima, "Combustion characteristic of a Diesel engine with palm oil methyl ester and its blended fuel with gas oil, FISITA 2004, World Automotive Congress, 23 – 27 Maggio, Barcellona, Spagna
- [25] Reksowardojo, Iman K, Hanif, Hidayat, M. Rachman, Brodjonegoro, Tirto Prakoso, Soerawidjaja, Tatang Hernas, Arismunandar, Wiranto, The performance and exhaust emission of a Diesel engine using Biodiesel fuel from crude palm oil (CPO) and refined bleached deodorized oil from palm oil ,FISITA 2004, World Automotive Congress, 23 – 27 Maggio, Barcellona, Spagna
- [26] K Yamane, R Yuuki and K Kawasaki, "Characteristics of DPF for Diesel Engine Fueled with Biodiesel Fuel - Second Report: Exhaust Gas Emission Characteristics at Self-Regeneration of DPF" 2005 SAE Brasil Fuels & Lubricants Meeting, Rio De Janeiro, Brasile, maggio 2005

- [27] K. Yamane, Biodiesel, Potential of Existing Emission Control Technologies for Diesel Engines Fuelled with Biodiesel, FISITA 2006, World Automotive Congress, 22-27 ottobre, Yokohama, Japan
- [28] Gambino M., Migliaccio M., Carburanti alternativi per l'autotrazione, Liguori, 1993.
- [29] Della Volpe R., Migliaccio M., Motori a combustione interna per autotrazione, Liguori, 1995
- [30] Rocco V., Prati M.V., Senatore A., Cerri E., Benfenati M., Fuelling a Small Diesel Engine by Using Gasoil and RME: Comparative Results and Particulate Characterization, ATA n. 96A3005, 1996.
- [31] A. Williams, R.L. McCormick, R. Hayes, J. Ireland, H. Fang, Effect of Biodiesel Blends on Diesel Particle Filter Performance, Powertrain & Fluid Systems Conference and Exhibition, Toronto, ON, CANAD, Session: Alternative Fuels - Bioesters (Part 1 of 2) , October 2006
- [32]] A.J. Marchese, T.L. Vaughn, M. Hammill, M. Harris, Ignition Delay of Bio-Ester Fuel Droplets, Powertrain & Fluid Systems Conference and Exhibition, Toronto, ON, CANAD, Session: Alternative Fuels - Bio-esters (Part 2 of 2) , October 2006
- [33] R. L. McCormick, B. Terry, M. Natarajan, Impact of Biodiesel Blends on Fuel System Component Durability, Powertrain & Fluid Systems Conference and Exhibition, Toronto, ON, CANAD, Session: Alternative Fuels - Bio-esters (Part 1 of 2) , October 2006
- [34] G. Knothe, The Lubricity of Biodiesel, Powertrain & Fluid Systems Conference & Exhibition, San Antonio, TX, USA, Session: Oxygenated Fuels - Biodiesels (Part 1 of 2), October 2005
- [35] B. Tormos, Heavy-Duty Diesel Engine Performance and Emission Measurements for Biodiesel (From Cooking Oil) Blends Used in the Ecobus Project, 2005 SAE Brasil Fuels & Lubricants Meeting, Rio De Janiero, BRAZI, Session: Oxygenated Fuels - Part 1, May 2005
- [36] N.N. Dung, R.I Kartolaksolo, P.X. Mai, O. Hideyuki, T.Q. Tuyen, R. Sopheak, B. Kusuma, The Influence of Using Biodiesel Fuel from Physic Nuts Oil on a Direct

Injection Diesel Engine, International Congress on Automotive Technology, October 2005

[37] K. Kawasaki, K. Yamane, T. Hara, Accelerated Oxidation Process in Biodiesel and its Effect on Diesel Combustion and Emission Characteristics, The 18th Internal Combustion Engine Symposium (International), December 2005

[38] A.A. Aziz, M.F. Said, M.A. Awang, Performance and Emission Evaluations of Palm Oil-Based Biodiesels with Conventional Diesel using Single Cylinder Direct Injection Engine, 2005 Small Engine Technology Conference September 2005

[39] L.T.N.Y, Biodiesel - Alternative Fuel - Produced by Transesterification of Vegetable Oils, International Congress on Automotive Technology, October 2005

[40] I. Barabas, N. Burnete, A. Todorut, C. Coldea, F. Mariasiu, Experimentation with Fuels Based on Sun Flower Oil on Diesel Engines, International Conference for Road Vehicles CAR 2005 November 2005

[41] W. Mitianiec, Experimental and Simulation Study of Exhaust Emission in Direct Injection Biofuel Diesel Engine, The Tenth International Congress, CONAT 2004

[42] N. Burnete, N. Filip, A. Naghiu, M. Chintoanu, A. Todorut, E. Borza, B. Varga, A. Costea, Biofuels-Diesel Fuel Mixtures – Alternative Fuels for Running Buses from Big Cities, International Conference for Road Vehicles CAR 2005

[43] G. Plassat, Pollutants Emissions, Global Warming Potential effect - Comparison using External Costs on Urban Buses, European Congress: Alternative Energy

[44] Akers, M. S., et al. (2006). Determination of the Heat of Combustion of Biodiesel Using Bomb Calorimetry. *Journal of Chemical Education*, 83(2): p. 260-262.

[45] Marszall, L. (1981) Cloud point and Phenol index of Nonionic surfactants. *American Chemical Society*. 20(4): p. 708-714.

[46] Eliassi, A., Parach, A. (2010) Cloud points of Poly(propylene glycol) Aqueous Mixtures at various concentrations. *Journal of Chemical Society*. 55(9): p. 4010-4012.

[47] Bar, Y. C., et al. (1991) Cloud-Point curver of Polymer solutions from Thermooptical Measurements. *Macromolecules*. 24(15): p. 4403-4407.

- [48] Yin, X., Stover, H. D. H. (2003) Hydrogel microspheres by Thermally induced Coacervation of Poly(N,N-dimethylacrylamide-co-glycidyl methacrylate) Aqueous Solutions. *Macromolecules*. 36(26). p. 1817-1822.
- [49] Balat, M., (2011) Potencial alternatives to edible oils for biodiesel production - A review. *Energy Conversion and Management*, 52 (2): p.1479-1492.
- [50] Singh, S, P., Singh, D., (2010) Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1): p. 200-216.

A tutta la mia famiglia e a tutti miei amici e compagni di università che mi hanno sempre sostenuto e fatto sentire il loro affetto.

E poi a me : per aver creduto sempre in me stesso.

Grazie.