



Conception du système de commande et de contrôle hydraulique d'une remorque auto-chargeuse tractée.

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de bachelier en Electromécanique Orientation Electromécanique et Maintenance

Benoît HAUBRUGE



Responsable en entreprise : Alain DEGROOTE

Promoteur ISAT : Gaël NGUYEN

Année Académique 2022 – 2023

Table des matières

Table des figures.....	2
1. Avant-propos.....	3
2. Remerciements.....	4
3. Abstract	5
4. Présentation de l'entreprise.....	6
5. Présentation de l'OptimaLoader	7
6. Guide des rappels théoriques.....	10
6.1. Fonctionnement d'un distributeur LS.....	10
7. Cahier des charges	15
8. Actionneurs hydrauliques.....	18
8.1. Situation initiale	18
8.2. Distribution et contrôle des débits et pressions	18
8.3. Etude théorique et solutions retenues par élément.....	19
9. Communication entre le tracteur et le bloc de commande	38
9.1. Situation initiale	38
9.2. Etude théorique et solutions retenues.....	38
10. Programmation.....	42
10.1. Situation initiale	42
10.2. Etude théorique et solutions retenues	42
11. Conclusion	46
Bibliographie et sources.....	47
Annexes	48

Table des figures

Figure 1 – Vue d’ensemble de l’OptimaLoader	7
Figure 2 – Ouverture des bras latéraux.....	7
Figure 3 – réglage de la distance entre le bac de ramassage et l’ensemble élévateur	8
Figure 4 – Fond mouvant composé de chaines et lattes.....	9
Figure 5 – Schéma hydraulique distributeur LS StandBy	10
Figure 6 - Schéma hydraulique distributeur LS sortie de vérin	11
Figure 7 - Schéma hydraulique distributeur LS variation de charge	12
Figure 8 - Schéma hydraulique distributeur LS vérin en butée	13
Figure 9 – rentrée du vérin.....	14
Figure 10 – moteur TMTHW400.....	19
Figure 11 – Bande crantée type HN	21
Figure 12 – disposition des composants hydrauliques pour l’entraînement de l’élévateur	22
Figure 13 – tableaux comparatifs moteurs OMP/OMR/OMH.....	23
Figure 14 <i>OMR80 function diagram</i>	26
Figure 15 - disposition des composants hydrauliques pour l’entraînement du fond mouvant.....	27
Figure 16 - disposition des composants hydrauliques pour le réglage de tension des bandes de l’élévateur	29
Figure 17 - disposition des composants hydrauliques pour le réglage de tension des chaines du fond mouvant.....	30
Figure 18 - disposition des composants hydrauliques pour le relevage de l’ensemble élévateur	32
Figure 19 - disposition des composants hydrauliques pour l’ajustement du bac ramasseur	33
Figure 20 - disposition des composants hydrauliques pour l’ouverture des ramasseurs	34
Figure 21 - disposition des composants hydrauliques pour l’ouverture des ramasseurs	34
Figure 22 - disposition des composants hydrauliques pour l’ouverture de la porte guillotine.....	35
Figure 23 - disposition des composants hydrauliques pour le blocage des essieux suiveurs.....	36
Figure 24 – distributeur 4/3.....	38
Figure 25 – distributeur 4/3 proportionnel	38
Figure 26 – distributeur 3/2.....	38
Figure 27 – assignation des fonctions du joystick ST7	40
Figure 28 – Rendu 3D du joystick ST7	41

1. Avant-propos

Depuis mon plus jeune âge, ma curiosité pour les sciences et mon envie de concevoir m'ont amené logiquement à m'orienter dans des études d'électromécanique. Etant passionné de technologie et également de machines agricoles, c'est avec motivation et envie que j'ai couronné la fin de mon bachelier au sein d'une entreprise de conception mécanique, Degroote Solutions à Nivelles.

Lors de mon stage, j'ai tout de suite été considéré comme un membre à part entière de l'équipe ce qui m'a permis de mettre en avant librement mes idées et de faire avancer divers projets durant plus de quinze semaines.

L'objectif principal de mon stage a donc été de réétudier tout le système de commande hydraulique d'une remorque auto-chargeuse tractée étudiée et développée par Alain Degroote. En associant ses années d'expériences, toutes les matières que j'ai pu découvrir lors de mes cours à l'ECAM et à l'ISAT mais également l'ensemble des connaissances liées à mes recherches et découvertes, j'ai permis une modernisation et une optimisation de la machine.

Le fait que mon travail ait pu aider l'entreprise à développer une machine qui sera conçue dans les mois à venir m'a permis d'être actif dans le monde professionnel et m'a confronté à des problématiques réelles. Parmi celles-ci je retiendrai notamment les discussions et négociations dans plusieurs langues, la gestion des délais de livraison mais surtout la capacité à supporter des modifications du cahier des charges durant le projet et à être continuellement à la recherche de nouvelles solutions.

En mêlant à cela les réparations et montages que j'ai pu effectuer au sein de l'atelier, c'est tout un panel de compétences nécessaires et utiles à un électromécanicien que j'ai pu accumuler et approfondir durant mon stage. L'ensemble de ces éléments m'a donc permis de réaliser cette étude que je vous invite à découvrir au fil des pages.

2. Remerciements

C'est avec beaucoup de satisfaction que je peux aujourd'hui développer mes compétences acquises au cours du stage et envisager avec confiance l'avenir de mon parcours professionnel.

Pour y parvenir, j'ai pu m'entourer de personnes qui me sont chères et qui m'ont soutenu tout au long de mes études et bien plus encore dans ma vie personnelle.

Les enseignants de l'ISAT et tout particulièrement mon promoteur de TFE, Monsieur Nguyen, m'ont délivré des cours et des travaux pratiques me permettant de bien assoir mes connaissances et de réaliser ce travail de fin d'études. L'ensemble des membres de l'ISAT m'ont offert l'opportunité de m'accomplir en tant qu'étudiant et de valoriser mon parcours. Je tiens ici à les remercier sincèrement, chacun.

Monsieur Alain Degroote, directeur de l'entreprise Degroote Solutions, qui m'a épaulé, guidé et aussi donné des responsabilités pour mener à bien ce projet, son étude et ses perspectives de commercialisation avec un maximum de garantie de faisabilité. L'environnement de travail, sa disponibilité et sa bienveillance m'ont fortement touché et je l'en remercie sincèrement.

Également mes amis, je citerai Simon, les Max's, Morgane, Bryan, Romain, la confrérie du Vice ainsi que tous les membres de mes différents staffs scout pour ces magnifiques années passées à vos côtés. Ensemble nous avons créé des liens solides qui tissent des valeurs de complicité, sincérité et force qui m'ont aidé à relever les voiles et les défis quand le bateau tanguait...parfois !

Et tout ce parcours d'étudiant se réalise aussi grâce à ma famille, mes parents aimants, mon frère à l'affût du tout dérapage et à la fois tellement bienveillant, mes sœurs qui par leur bonne humeur, leur humour et tendresse ont apprécié et soutenu tous mes projets jusqu'aux plus fantaisistes.

Enfin, aux membres du jury qui prendront connaissance de mon travail que j'ai développé avec conviction dans le respect des consignes et des attendus pour cette épreuve, je vous remercie pour votre lecture attentive et pour votre appréciation.

3. Abstract

J'ai le plaisir de vous inviter à la lecture de mon travail de fin d'étude portant sur le développement de l'Optima Loader, une remorque autochargeuse tractée.

La suite de ce dossier reprend toute mon étude du sujet en commençant par le dimensionnement des équipements hydrauliques et le suivi des commandes électriques, et enfin la mise en place d'une programmation visant à automatiser le processus de chargement.

Au fil des pages vous découvrirez l'ensemble des solutions retenues compte tenu des conditions de travail difficiles de la machine et des besoins de l'exploitant agricole.

Ce rapport est le fruit d'un travail rigoureux et minutieux qui, je le souhaite, participera à développer de nouveaux projets dans l'environnement technologique et mécanique.

Je vous suis reconnaissant pour le temps et l'intérêt que vous porterez à mon travail et vous souhaite une bonne lecture.

4. Présentation de l'entreprise

L'entreprise Degroote Solutions - entreprise de développement de machines agricoles - dans laquelle j'ai effectué mon stage est dirigée par Monsieur Alain Degroote et située à Nivelles.

Monsieur Alain Degroote est un indépendant qui a repris l'entreprise familiale de travaux agricoles en 1989. Dès son plus jeune âge, il s'est intéressé au dessin industriel et a rapidement commencé à dessiner des machines agricoles.

Il décida en 2005 de créer la société BEMAD avec un expert en développement de machines betteravières. Plusieurs projets ont vu le jour et plus particulièrement le GreenCargo, un épandeur autochargeur et automoteur qui est toujours utilisé pour des travaux dans l'entreprise agricole.

Cette société n'existe plus depuis 2015, cependant vous invite à consulter le site de BEMAD pour y retrouver notamment une vidéo du GreenCargo : <https://www.bemad.be>

Suite à cela, l'activité se poursuit dans l'entreprise dénommée Degroote Solutions. En 2019 Monsieur Degroote s'est rendu au Texas (USA) et a dimensionné et monté une remorque auto-chargeuse tractée. Le client texan a demandé de réétudier le projet pour concevoir quelque chose de plus grand et plus avancé en termes de technologie. La première version avait pour dénomination « Optima Loader » et le même nom sera gardé pour la nouvelle génération.

C'est en travaillant comme étudiant avec Monsieur Degroote ces dernières années que j'ai pu apprendre et effectuer des réparations sur différents engins agricoles et assurer leur maintenance.

De fil en aiguille, il m'a proposé de faire mon stage au sein de son entreprise pour concrétiser avec lui le projet du nouvel « Optima Loader ».

5. Présentation de l'OptimaLoader

Afin de faciliter la compréhension des différents points sur lesquels le travail a été fait, voici une présentation générale de la machine utilisée dans de grandes exploitations.

La machine dénommée Optima Loader est une remorque auto-chargeuse (Figure 1) qui permet de récupérer les excréments des vaches le long des mangeoires dans les grandes fermes au Texas. Le chargement terminé, le conducteur peut aller vider la caisse de la remorque alors remplie des boues et autres éléments ramassés au sol dans un espace prévu à cet effet.



Figure 1 – Vue d'ensemble de l'OptimaLoader

Le chargement se fait via un bac récupérateur à géométrie variable qui amène jusqu'à l'avant-centre de la remorque la matière où cette dernière est alors montée dans la caisse par le biais d'un élévateur à courroies placé de manière assez verticale avec un angle compris autour de 45 degrés.

L'ouverture des bras latéraux se contrôle grâce à deux vérins fixés sur la structure et à la base des bras ce qui crée ce mouvement. L'avantage de placer les vérins à la base des bras de ramassage permet de limiter la course des vérins. Le fait que la largeur de travail puisse être contrôlée durant toute la période de travail permet d'une part d'utiliser la machine dans diverses fermes, d'autre part de pouvoir éviter des obstacles. Un dernier avantage de la géométrie variable est la capacité à replier les bras et limiter l'encombrement de la machine lors de trajets sur la route ou encore lors de manœuvres au sein de la ferme.



Figure 2 – Ouverture des bras latéraux

Pour revenir au chargement de la matière, l'élévateur à courroie est contrôlé par un moteur hydraulique robuste. Un système ingénieux a été développé pour permettre de fixer les lattes aux courroies ce qui permet d'amener de plus grosses charges à chaque passage des lattes au niveau du sol tout en garantissant une longue durée de vie à la courroie.

Le dernier point à aborder concernant l'unité de ramassage est la capacité de régler la distance entre le bas de l'élévateur et la partie supérieure du bac de ramassage. En effet au fil des heures d'utilisation les bandes en caoutchouc fixées sur le bac de ramassage et sur les deux bras s'usent. Les bandes sont continuellement en contact avec le sol sous une certaine pression réglée par le chauffeur mais lorsqu'elles s'usent le point haut du bac se rapproche du sol et il y a alors un risque que les lattes de l'élévateur viennent buter sur le béton. Il faut à tout prix éviter cela pour préserver le matériel et ne pas entraîner des casses inutiles. Deux vérins sont alors positionnés de part et d'autre du bac central de ramassage pour régler la distance entre les lattes de l'élévateur et le sol. (Figure 3)

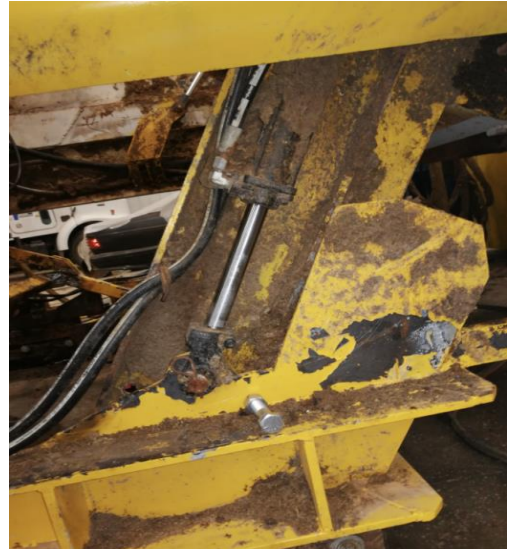


Figure 3 – réglage de la distance entre le bac de ramassage et l'ensemble élévateur

Concernant le déchargement, il s'effectue au moyen d'un fond mouvant composé de chaînes et de lattes permettant de faire avancer le tas de matière dans la caisse (Figure 4). Ce système est déjà utilisé dans les remorques destinées à l'épandage ou encore à l'ensilage. Cela permet de vider tout type de matière sans devoir lever la caisse par le biais d'un vérin vertical positionné à l'avant. C'est une fonction importante permettant de fixer un module d'épandage à l'arrière de la remorque mais également d'éviter les accidents lors du déchargement lorsque le chauffeur doit réaliser des manœuvres avec la caisse levée. Ce sont plusieurs dizaines de tonnes qui sont alors levées et soumises aux mouvements dans la remorque qui ne se trouve pas toujours sur un sol plat. Ces accidents sont nombreux dans le milieu agricole et la solution du fond mouvant nous assure une certaine sécurité à ce niveau-là.

Ce fond mouvant est également utilisé lors du chargement pour répartir au mieux la matière dans la caisse. Cela permet de faire tourner le moteur hydraulique à un régime stable et d'optimiser le chargement en remplissant un maximum la caisse et donc limiter le nombre de trajets nécessaires pour aller vider la caisse.



Figure 4 – Fond mouvant composé de chaines et lattes

La version existante de l'Optima Loader est équipée d'un élément d'épandage qui est fixé après la porte arrière. Pour la nouvelle version, seule une porte guillotine est demandée.

Le montage de l'Optima Loader se fera à Nivelles dans les ateliers de la société Degroote solutions. Bien entendu, une partie du travail sera fait en sous-traitance comme les découpes laser des tôles, l'assemblage des essieux ou encore celui du bloc de vannes hydrauliques. L'ensemble des raccords hydrauliques seront sertis à l'atelier ce qui nécessite de déterminer chaque composant et pièces utiles au montage. La première machine sera complètement montée afin de vérifier qu'il ne faut rien modifier dans les commandes et les plans avant d'être redémontée pour être envoyée par containers au Texas. Les autres remorques seront alors pré assemblées à Nivelles et envoyées par lot de la même manière.

La dernière étape sera alors de se rendre au Texas pour remonter les sous-ensembles correctement et faire les tests de mise en route. Une fois les machines opérationnelles, elles seront livrées aux différentes fermes de la région où les exploitants recevront toute les informations nécessaires à l'utilisation de la machine ainsi que des documents relatifs aux détections de pannes et de remise en route lorsque la machine se met automatiquement en sécurité.

6. Guide des rappels théoriques

6.1. Fonctionnement d'un distributeur LS

Le rôle d'un distributeur LS est de contrôler la pression hydraulique en fonction de la charge. Ce type de distributeur est très répandue dans le milieu agricole et dans les travaux public car il permet d'optimiser l'énergie nécessaire à déplacer des charges surtout lorsque ces dernières varient.

Afin de réaliser ce rappel théorique le plus explicitement possible, je me suis permis de reprendre les schémas disponible sur le site www.sebhydro.com

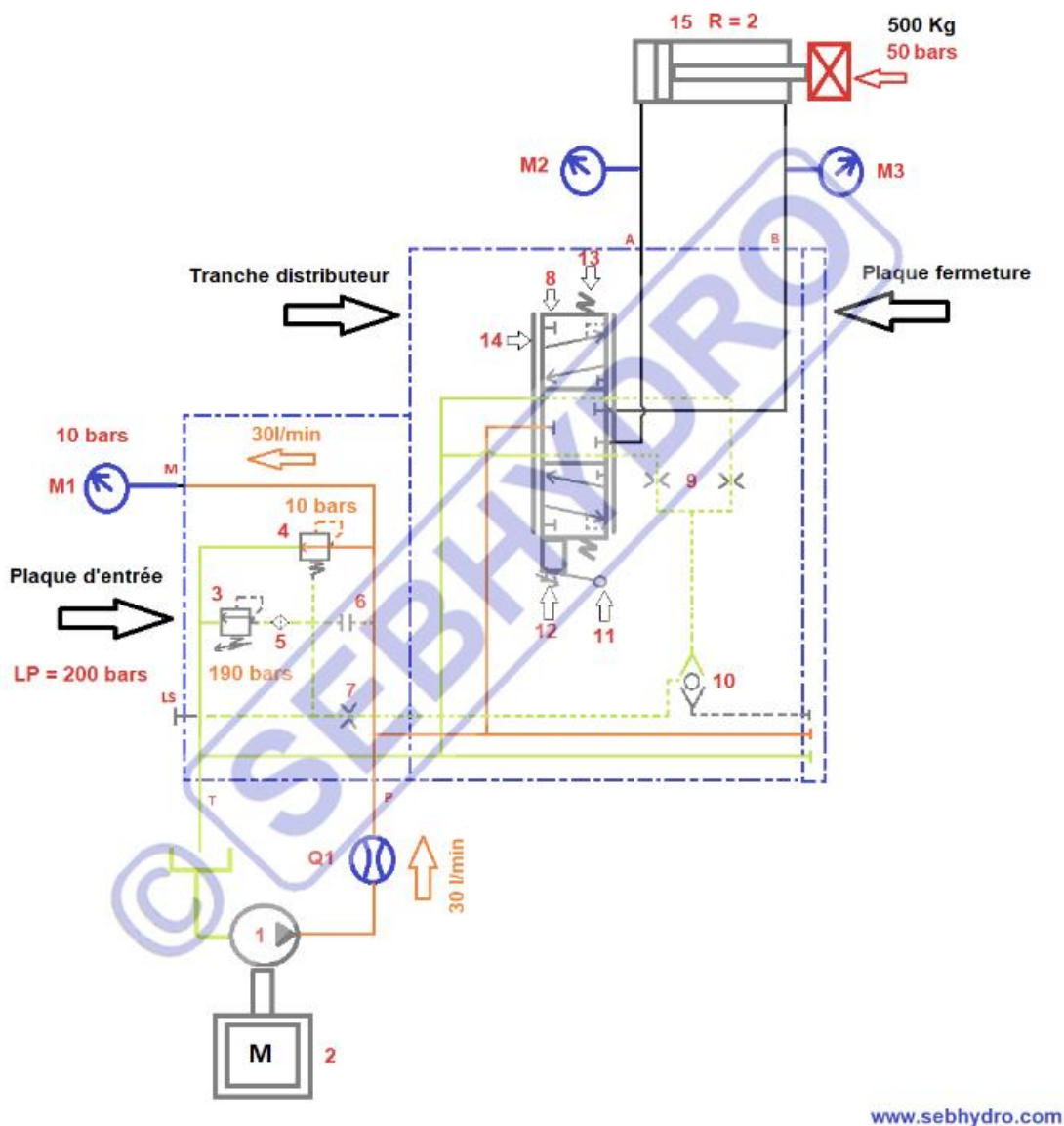


Figure 5 – Schéma hydraulique distributeur LS StandBy

Dans le schéma ci-dessus, le système hydraulique est en attente. Une charge de 50bar est positionnée au bout du piston et aucune commande n'a été activée. Etant donné que le distributeur est en position fermée, l'huile hydraulique retourne directement au réservoir avec 10bar de pression et un débit de 30L/min.

Durant l'opération, un débit de 10l/min permet la sortie du vérin tandis que les 20l/min excédentaires sont renvoyé directement au réservoir sous une pression de 60 bars donc.



11

Le cas suivant est une augmentation de la charge sur la tête du vérin. La charge passe désormais à 100 bars (Figure 7)

Cette pression est directement envoyée dans la balance de pression au moyen des perçage dans le bloc et la pression est instantanément équilibrée à 110 bar. La commande n'étant pas modifiée, le débit passant par le distributeur hydraulique est toujours de 10l/min mais à 100 bar cette fois ci tandis que l'excédent de 20l/min retourne au réservoir sous une pression de 110 bar résultant de la charge et du ressort de la balance de pression.

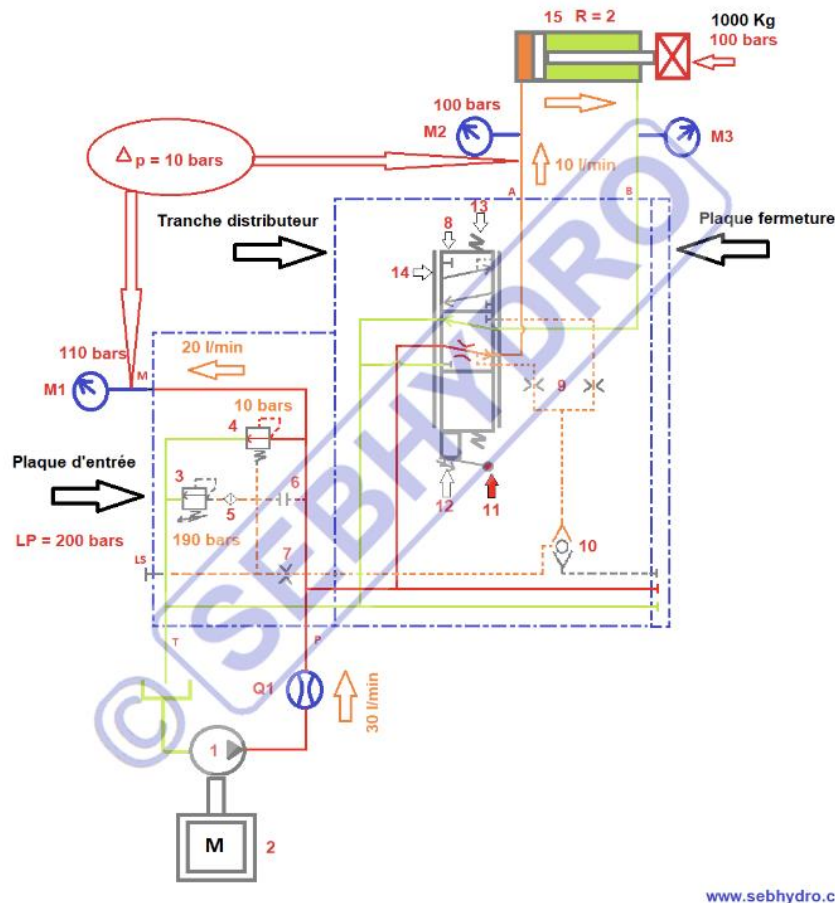
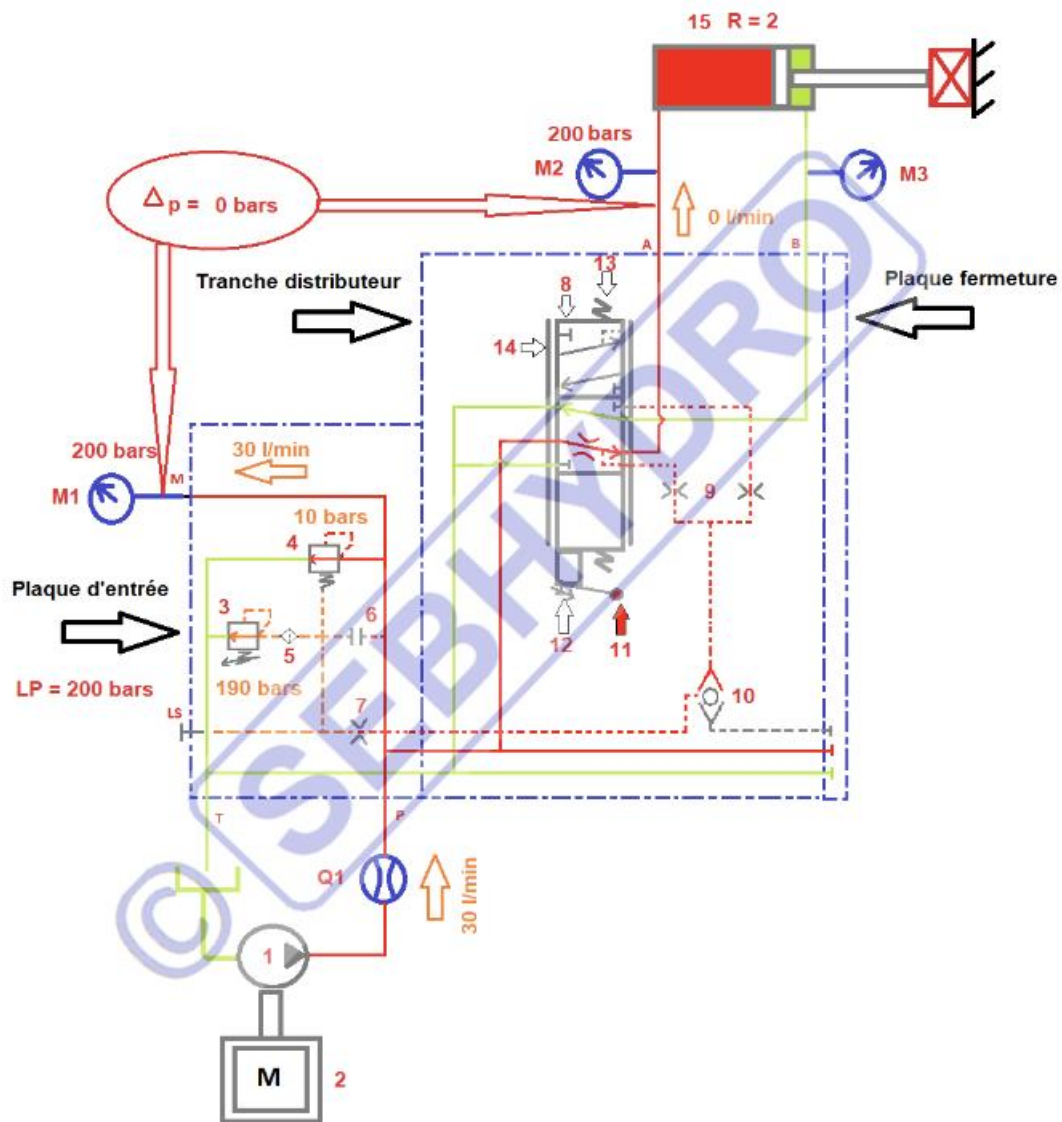


Figure 7 - Schéma hydraulique distributeur LS variation de charge

L'avant dernier cas que nous allons voir est le moment où le vérin arrive en butée. (Figure 8)

À ce moment précis le débit passe donc de 10 à 0 l/min. Le ΔP vaut 0 ce qui amène la pression de sortie de pompe sur la balance de pression qui se ferme instantanément. La pression augmente alors jusqu'à atteindre les 190 bar nécessaires à déclencher le limiteur de pression. Le débit de retour est alors de 30 l/min à une pression de 200 bar résultant du clapets du limiteur de pression ainsi que 10 bar provenant du ressort de la balance de pression.



www.sebhydro.com

Figure 8 - Schéma hydraulique distributeur LS vérin en butée

Le même principe que lors de la sortie du vérin s'opère également. Cette fois ci c'est le canal B qui va fermer instantanément la balance de pression jusqu'à ce qu'elle rééquilibre le système puis la pression de sortie sera l'addition de cette pression et celle du ressort de la balance de pression.



14

7. Cahier des charges

Le cahier des charges, qui a été établi par Alain Degroote, a pour objectif de reprendre tous les éléments techniques et fonctionnels nécessaires à la conception de la remorque auto-chargeuse. Il est très important que ce cahier des charges soit précis et complet pour permettre la concrétisation du projet.

Les différents éléments ont été classés en **cinq parties** :

1. Partie moteurs hydrauliques

- Entraînement des bandes crantées de l'élèveur

Il faut des moteurs résistants aux efforts radiaux car ils seront montés directement sur les disques qui entraînent les bandes. Ces moteurs et ces bandes doivent être capables de déplacer entre une et deux tonnes de matières et résister aux à-coups dus aux chocs des lattes lorsque la matière est relativement solide. Le diamètre du pignon d'entraînement est de 550mm.

Les bandes d'entraînement doivent avoir un cran de minimum 7mm et être capable de supporter les mêmes contraintes que le moteur.

- Entraînement des chaînes du fond mouvant.

Il faut un couple important sur l'arbre d'entraînement pour pouvoir entraîner les 30m³ de matières qui peuvent représenter jusqu'à 20 tonnes mais également une vitesse élevée pour vider la caisse en une minute.

La solution est un moteur hydraulique avec une cylindrée inférieure à 100cc et un boîtier réducteur qui augmentera le couple en sortie.

2. Partie vérins hydrauliques

- Réglage du bac

Le bac est composé de 3 éléments réglables : la hauteur de l'ensemble de l'élèveur, la hauteur du bac de ramassage vis-à-vis du bloc élèveur et l'ouverture des palettes de chaque côté du bac.

Chaque vérin sera sélectionné en fonction de la course et de la force nécessaire. En plus de cela, l'élèveur doit pouvoir suivre librement le sol lors du travail ce qui impose de mettre en place des accumulateurs en série.

Concernant les palettes latérales, une sécurité doit être mise en place pour qu'il ne s'arrache pas ou force de trop sur la structure en cas de collision avec un objet sur le chemin de ramassage.

- Réglage tension de chaîne

Les chaînes de l'élévateur et du fond mouvant doivent être tendues en continu pour assurer leur prise dans les pignons d'entraînement. Cette tension sera ajustée à l'aide d'un vérin hydraulique sur chaque chaîne/bande. Il y aura donc 8 vérins à dimensionner et à placer. Des accumulateurs hydrauliques permettront un léger jeu dans les vérins en cas nécessité. Le réglage de la tension se fera manuellement à l'avant de la remorque à l'aide d'une vanne et d'un manomètre.

- Ouverture de la porte arrière

La porte s'ouvre de manière verticale ; des vérins de longue portée seront placés de part et d'autre de celle-ci.

- Blocage des essieux suiveurs

Les essieux étant suiveurs non forcés, il est important de pouvoir les bloquer lors de manœuvres. Si un chauffeur se met à reculer sans bloquer les essieux suiveurs, la remorque peut alors se mettre de travers et être incontrôlable.

3. Bloc de commande

Déterminer le nombre et le type de vannes à insérer dans les blocs de vannes qui contrôlent toutes les fonctions de la machine.

Chaque fonction hydraulique reprise dans le point 1 et 2 doit être contrôlée par l'intermédiaire d'un bloc de vanne. Un bloc NG6 avec un bloc PVG en amont seront nécessaires pour permettre d'utiliser des commandes à grandeurs variables et également pouvoir connecter des tracteurs avec différents modèles de pompes.

Il est important de signaler que tous les modèles de tracteur ne sont pas équipés des mêmes pompes et il sera alors important de placer des limiteurs de débit et pression dans le circuit hydraulique pour éviter qu'un tracteur trop puissant puisse endommager les composants.

4. Communication

La méthode de communication entre la commande installée dans la cabine du tracteur et les blocs d'électrovannes sera câblée étant donné que la commande se fait via un joystick. L'avantage du joystick est la bonne prise en main et la facilité de réglage de l'ouverture des palettes latérales.

Une option en cours d'étude pourrait proposer une communication télécommandée : la commande se ferait via un système émetteur récepteur. Cela permettrait un changement plus rapide lorsque la remorque doit être attelée à un autre tracteur.

5. Programmation

La programmation comprend trois parties, les capteurs, les alarmes de sécurité et l'automatisation du processus.

- Les capteurs

Mise en place de capteurs pour détecter le tas de matière et faire avancer le fond mouvant en fonction. Mise en place de capteurs dans le fond de la caisse pour arrêter le chargement lorsque cette dernière est pleine, ainsi que des capteurs de pression dans les tendeurs de chaînes pour assurer.

- Les alarmes de sécurité

Différentes alertes visuelles ou sonores lorsque le blocage des essieux est activé, la caisse est remplie, le capteur de remplissage est activé (en sortie d'élévateur), la pression dans les tendeurs est insuffisante. Ces sécurités servent à éviter de mettre en route les moteurs hydrauliques et d'entraîner des casses.

- L'automatisation du processus

Un mode automatique permettra un chargement simplifié. Le tapis avancera dès que le niveau de matière est trop haut en sortie d'élévateur pour permettre un chargement bien réparti dans la caisse.

8. Actionneurs hydrauliques

8.1. Situation initiale

Comme précisé dans le cahier des charges, l'Optima Loader doit être capable de réaliser plusieurs actions lors d'une journée. L'utilisation d'un circuit hydraulique permet d'allier force et précision dans chaque opération. L'objectif est de réaliser chaque schéma hydraulique et de vérifier que l'ensemble de ces circuits peuvent être montés ensemble sur un ou plusieurs blocs de vannes.

L'option que le client texan a retenue est d'utiliser uniquement les pompes hydrauliques de son tracteur pour alimenter en huile les vérins et moteurs de la remorque.

8.2. Distribution et contrôle des débits et pressions

Deux prises hydrauliques seront nécessaires pour assurer le fonctionnement de la remorque.

La première sera destinée à alimenter les moteurs qui entraînent les bandes de l'élévateur. Divers éléments de sécurité sont à étudier pour garantir le fonctionnement optimal de ces moteurs.

La deuxième alimentera un ensemble distributeur LS - bloc PVG qui renverra l'huile à une pression donnée au moteur entraînant le fond mouvant d'une part et dans le bloc NG6 contrôlant toutes les autres fonctions reprises dans le cahier des charges d'autre part.

Voici quelques détails supplémentaires concernant les blocs cités dans le paragraphe précédent.

Concernant les blocs PVG (Proportional Valve Group), ils seront composés d'une tranche contrôlée indépendamment. Ces blocs seront donc à régler lors de la mise en route de la machine. Il faudra alors s'assurer que le débit et la pression en sortie du bloc PVG correspondent bien aux attentes.

L'avantage du bloc PVG est son adaptabilité quel que soit la tâche à réaliser. Le débit de chaque pompe sera adapté en fonction du nombre de commandes utilisées simultanément.

Cela permet donc d'optimiser la consommation d'huile dans le système en distribuant uniquement la quantité nécessaire lors de la commande d'un vérin ou d'un moteur. Le bloc PVG fait également office d'élément de sécurité en cas de surpression engendrée par une surcharge par exemple.

Ces derniers éléments rendent donc le système plus efficace car ils permettent un gain de performance ; et ils rendent le système plus sûr du point de vue de la protection des composants hydrauliques.

Concernant le bloc NG6, ce dernier est une configuration standardisée de vannes hydrauliques très répandue dans le milieu agricole et industriel. Le "NG" signifie "taille normale" en allemand et le chiffre "6" indique le diamètre nominal du raccordement de la valve à savoir 6mm.

Généralement le bloc NG6 est usiné dans un seul bloc d'aluminium ou d'acier auquel on vient ensuite fixer tout type de vannes hydrauliques

Les blocs NG6 offrent plusieurs avantages :

Les blocs sont normalisés au niveau de leur taille et de leur résistance notamment ce qui permet d'installer ou modifier aisément les types de vannes montées sur le bloc. C'est également intéressant d'un point de vue maintenance car en cas de défaut dans une vanne ou électrovanne, cette dernière est facilement démontable et il suffit alors de remettre une autre vanne sans devoir changer tout le bloc.

Les blocs NG6 permettent donc de combiner plusieurs types de vannes en fonction des besoins spécifiques du montage hydraulique ce qui laisse une certaine flexibilité pour la conception de tout type de système. Il est possible de monter ensemble des vannes proportionnelles et des vannes tout ou rien (TOR) pour permettre d'être très précis mais également très réactif à partir d'un seul et même bloc.

Enfin, le bloc NG6 étant usiné dans un seul bloc, cela limite le risque de fuites d'huile. Il est alors plus facile de détecter d'éventuelles pertes et le nombre de joints à vérifier est peu élevé.

Pour assurer les différents débits nécessaires à l'utilisation de la remorque deux blocs PVG seront montés sur le circuit du 2^e distributeur hydraulique du tracteur. Pour rappel le client possède des tracteurs équipés de puissantes pompes hydrauliques pouvant fournir plus de 200bar de pression et des débits excédents 150l/min.

Un bloc PVG32 permettra d'envoyer jusqu'à 180l/min et une pression montant jusqu'à 350bar vers les moteurs qui entraînent le fond mouvant. La suite de mon étude explique plus précisément les débits et pressions attendus pour chaque fonction.

Le deuxième bloc sera un PVG16, régulant le débit jusqu'à 80l/min et une pression de sortie pouvant atteindre 350bar, directement raccordé au bloc NG6 sur lequel divers types d'électrovannes seront montées.

8.3. Etude théorique et solutions retenues par élément

8.3.1. Entraînement des courroies de l'élèveur

Afin de résister aux efforts radiaux, un moteur de type « Wheel » convient mieux. Ces moteurs sont munis d'une flasque circulaire en sortie ce qui permet de fixer le disque d'entraînement directement dessus.

Danfoss propose différents moteurs dans cette gamme-là dont le TMTHW400 (Figure 10). Ce dernier est un moteur hydraulique à pistons axiaux à cylindrée variable. Ces moteurs ont été développés pour allier puissance et fiabilité. Ces moteurs peuvent atteindre un couple de sortie de 2000Nm et une puissance de 80hp.



Figure 10 – moteur TMTHW400

Voici quelques caractéristiques qui ont justifié le choix de ces moteurs :

Leur principal avantage est de résister aux efforts radiaux importants ce qui est idéal pour fixer le disque d'entraînement ainsi que toute la structure cylindrique directement dessus.

En plus de cela, les moteurs TMTHW400 ont une plage de vitesses très large allant de 50 à 450 tours par minute en régime standard. Cela permet donc au chauffeur de contrôler la vitesse de rotation des bandes crantées comme il le souhaite. En cas de chargement pauvre, il n'est pas utile d'entraîner les bandes à pleine vitesse.

Ces moteurs sont également à la pointe de la technologie d'un point de vue efficacité. Le rendement des moteurs TMTHW est élevé ce qui signifie qu'ils convertissent efficacement l'énergie hydraulique (fournie par la pompe du tracteur dans notre cas) en énergie mécanique de rotation. La puissance hydraulique fournie est optimisée au maximum en termes d'efficacité ce qui augmente les performances général de l'ensemble élévateur et donc de la machine dans sa globalité.

Concernant la fiabilité, cette gamme de moteur est réputée pour être composée de matériaux de haute qualité. Ils sont notamment insensibles à la pression de retour, sont dotés d'une excellente étanchéité, résistent à des pressions nominales élevées et d'un excellent rapport poids/puissance.

Un dernier élément important à mettre en avant est le faible niveau sonore. En effet, les moteurs TMTHW sont spécialement étudiés pour réduire les vibrations et le bruit pendant leur fonctionnement. Ce point n'est pas à négliger car le respect du cadre de vie des animaux est un élément important pour les éleveurs de vaches. Réduire le niveau sonore pendant le travail engendre moins de stress pour le bétail ce qui n'est pas négligeable.

En résumé, les moteurs de la gamme TMTHW offrent une série d'avantages tels que la résistance aux efforts radiaux, une large plage de vitesse, un rendement élevé, une fiabilité et un confort d'utilisation. En mêlant performance et durabilité le moteur TMTHW400 remplira parfaitement son rôle dans le projet OptimaLoader.

Etant donné que les tracteurs ont des capacités de débits et pressions différentes, il est nécessaire de mettre en place un élément de sécurité pour éviter par exemple qu'un chauffeur puisse envoyer plus de 180l/min dans un moteur. Cela serait négatif pour le moteur mais provoquerait également une vitesse excessive pour les bandes crantées.

Un bloc Bypass également appelé vanne de dérivation pilotée permet de limiter le débit d'huile qui la traverse. Cette vanne peut être pilotée grâce à un signal électrique fourni par un compte tour par exemple. Le débit d'huile qui n'est pas conservé est donc dévié vers une voie alternative comme le retour hydraulique libre.

Un débit d'huile trop important pourrait endommager le moteur hydraulique ou du moins perturber son fonctionnement. Le réglage du Bypass dépendra donc de deux facteurs : la vitesse maximale tolérée par le moteur ainsi que la vitesse maximale de rotation des bandes crantées. Pour rester dans la zone nominale de fonctionnement du moteur un débit de 180l/min par moteur est le maximum que la vanne peut laisser passer.

Du point de vue de la bande crantée, la vitesse maximale tolérée est de 25m/s.

Le diamètre de la couronne d'entraînement étant de 550mm, la vitesse de rotation maximale de cette dernière est donc d'environ 430tr/min si l'on applique la formule suivante :

$$V[m/s] = R [m] \cdot \omega [rad/s]$$

$$N [tr/min] = \omega [rad/s] \cdot 60/2\pi$$

$$25 = 0,55 \cdot \omega$$

$$\omega = 45,45$$

$$45,45 \cdot 60/2\pi = \boxed{434 \text{ tr/min}}$$

En plus de contrôler le débit, il est nécessaire d'installer une choc valve. Son rôle est de réduire les surpressions engendrées par un changement de débit trop brutal afin de protéger les moteurs.

Ces chocs également appelés coup de bélier en français peuvent endommager les tuyaux, les vannes et même les moteurs. La choc valve réduit considérablement les vibrations et les bruits indésirables produits par ce phénomène en créant une résistance qui atténue les coups de bélier. La choc valve contribue donc à améliorer la fiabilité et la longévité du circuit hydraulique.

Concernant les bandes crantées, le fournisseur proposait 2 types de bandes correspondant au pas des pignons d'entraînements. Ce dernier est de 50mm. (Figure 11)

Bande hautement crantée – Type HN



- Identique au type N, mais les crans plus hauts améliorent l'entraînement.

Réf	Pas	A	C	Largeur de bande
HN 40	40	11	20	60
HN 50	50	11	20	60 - 75 - 100
HN 55	55	11	20	60 - 75

Figure 11 – Bande crantée type HN

Une bande HN50 classique de 75mm de large peut supporter 7500N de traction. Les bandes renforcées peuvent-elles supporter jusqu'à 9375N pour la même largeur.

Etant donné que le montage est composé de 4 bandes reliées deux à deux, les bandes classiques sont largement suffisantes car elles peuvent entraîner 30.000N soit un peu moins de 3 tonnes de matières si l'on soustrait le poids des lattes et leur supports.

Les lattes seront rivetées aux bandes dans l'atelier à Nivelles. Lors de mes dernières semaines de stage nous avons réalisé le montage afin que le client puisse faire les essais sur la machine déjà présente au Texas. Les 1ere bandes montées ne sont plus fabriquées de nos jours c'est pourquoi une nouvelle étude a été réalisée par mes soins.

Voici donc un croquis du passage de tuyaux reliant les deux moteurs au tracteur en passant par la boîte de commande hydraulique (Figure 12). Un raccord en T permettra d'envoyer la même quantité d'huile dans chaque moteur. Le raccord se trouvera après le passage du tuyaux vers la partie mobile.

Le bloc Bypass ainsi que le choc valve sont fixés dans la boîte de commande hydraulique et feront le raccord entre les tuyaux des moteurs et les tuyaux à coupleurs rapides standardisés.

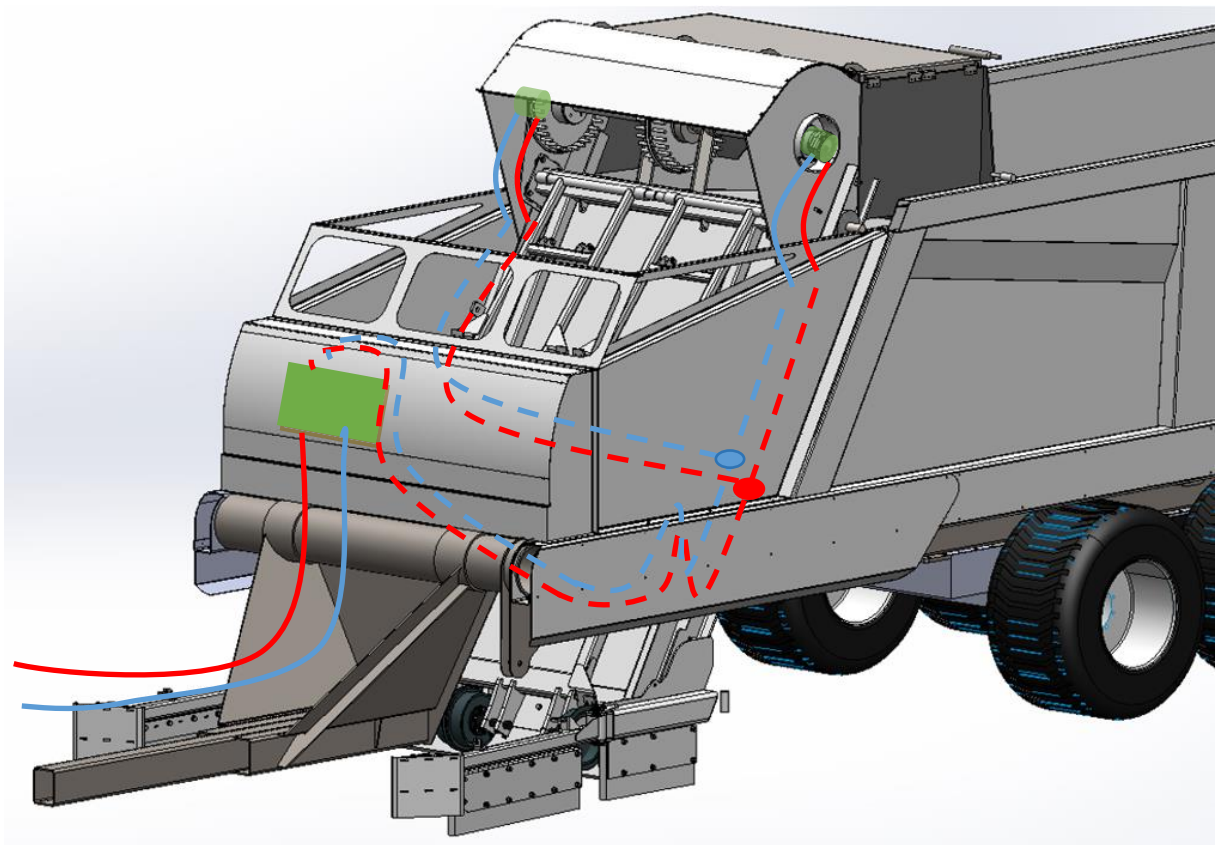


Figure 12 – disposition des composants hydrauliques pour l'entraînement de l'élévateur

Légende pour tous les schémas de disposition des composants hydrauliques.

Trait rouge	Tuyaux de pression hydraulique
Trait bleu	Tuyaux de retour vers le reservoir
Eléments verts	Actionneurs/composants hydrauliques

8.3.2. Entraînement du fond mouvant

Le fond mouvant est composé de chaîne très résistantes et de lattes qui une fois en mouvement entraînent la matière vers l'arrière de la caisse afin de, soit obtenir une bonne répartition lors du chargement, soit procéder au déchargement lorsque la porte du fond est également ouverte.

Pour mettre en rotation l'axe positionné à l'arrière de la machine il faut donc un moteur puissant et permettant une vitesse de rotation élevée. Étant donné la position de ce moteur il faut trouver quelque chose de peu encombrant pour éviter d'élargir l'arrière de la machine et donc simplifier les manœuvres.

Plusieurs configurations existent à l'heure actuelle pour entraîner ce genre d'axe.

Certains modèles sont entraînés mécaniquement par un axe traversant tout le châssis et raccordé à la prise de force du tracteur. Dans notre cas ce n'est pas envisageable car l'ensemble élévateur occupe la totalité de la largeur de la machine. De plus, certains tracteurs ne sont pas équipés d'une prise de force à l'arrière ce qui limiterait la vente de la machine.

Pour permettre une vidange complète en 1min, il faudrait donc une avance de tapis de 7m/min. Le fond de la caisse mesurera environ 5,50~6m, c'est pourquoi il faut prendre un valeur plus grande afin d'anticiper le tassement du tas de matière lorsqu'il avance dans le fond de la caisse durant la vidange.

Pour faciliter la commande des pièces et pouvoir négocier de meilleurs prix, les moteurs seront des modèles OMR de chez Danfoss.

Le moteur hydraulique OMR de Danfoss est un moteur à piston radial. Ils sont couramment utilisés dans le domaine industriel et surtout dans le matériel mobile et ce pour plusieurs raisons.

Premièrement, les moteur OMR offrent des couples et puissances de sortie élevées ce qui les rendent très performants. La gamme proposée par Danfoss est très large et les moteurs OMR sont le juste milieu entre vitesse et couple comme indiqué dans le tableau ci-dessous (Figure 13)

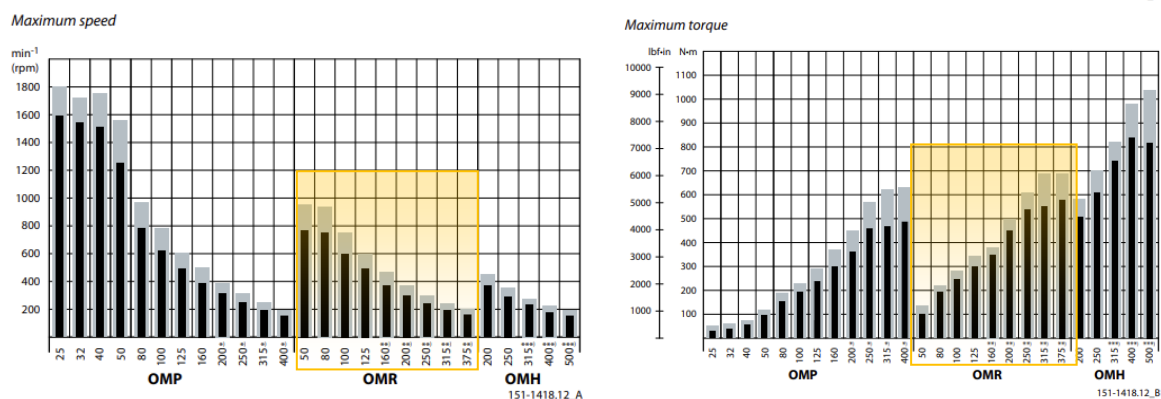


Figure 13 – tableaux comparatifs moteurs OMP/OMR/OMH

La plage de vitesse est étendue ce qui permet de choisir le bon modèle en fonction de l'utilisation attendue. Le moteur OMR80 permet notamment une grande flexibilité avec un couple d'environ 200Nm et une vitesse de rotation pouvant atteindre 750 tours par minute en régime standard.

Tout comme les moteurs de l'élévateur, les moteurs ORM sont réputés pour être très robustes avec un rendement excellent. Ils sont conçus pour travailler dans des environnements et des conditions difficiles.

Ces moteurs sont également dimensionnés pour travailler dans les deux sens de rotation, c'est-à-dire qu'ils sont réversibles. Grâce à cela il est possible de faire tourner les chaînes dans l'autre sens pour débloquer une pièce par exemple.

Leur petite taille et leur faible poids permet de les monter et démonter facilement ce qui est un plus en matière d'entretien et de montage. En cas de soucis avec un des moteurs, il peut être facilement remplacé. Leur conception permet de facilement les démonter en cas de panne et de changer uniquement les pièces nécessaires.

Le moteur OMR sera alors couplé à un boîtier réducteur de la marque Berma qui est une société réputée en Italie chez qui l'entreprise est déjà cliente et a donc des prix avantageux.

Leur gamme RTxxx offre des boîtiers peu encombrant qui utilisent les mêmes normes en termes de dimension d'axe que les moteurs OMR de chez Danfoss ce qui assure leur compatibilité.

Cette gamme de boîtier possède son lot d'avantages dont certains d'entre eux sont exposés ci-après.

Les plus gros modèles de la gamme ont une capacité de charge élevée. En effet ils sont capables de tolérer jusqu'à près de 10000Nm, ces boîtiers peuvent donc résister à des charges lourdes. Cela découle également d'une efficacité de transmission à la pointe de la technologie. Les boîtiers sont conçus avec des engrenages de précision qui offrent un rendement élevé. Les pertes d'énergies sont minimisées ce qui assure une performance optimale et une économie de l'énergie nécessaire. Compte tenu des charges et des puissances à assurer, il est primordial de minimiser ce genre de perte.

Ces boîtiers sont fabriqués avec des matériaux robustes et de bonne qualité ce qui leur assure une fiabilité et durabilité importante même dans des conditions de travail difficiles mêlant diverses vibrations, un environnement poussiéreux voir boueux tout en devant constamment entraîner de lourdes charges.

Ces boîtiers sont également dimensionnés pour minimiser le niveau sonore lors de l'utilisation ce qui est à nouveau un plus dans ce projet.

Enfin ces modèles sont à chaque fois disponibles avec divers diamètres d'arbre ce qui agrandi encore un peu plus les possibilités de montage. Le démontage de ces boîtier est relativement simple et il suffit alors de changer le pignon de sortie ainsi que le kit de roulement et bourrage dans le cas où le dessinateur voudrait changer le diamètre de l'axe d'entraînement par exemple.

Pour faciliter la recherche, j'ai donc rassemblé les diverses données relatives aux boîtiers et au moteur OMR que j'ai pu trouver directement sur le site de Berma et de Danfoss.

Le diamètre du pignon d'entraînement est de 140mm et la vitesse finale de vidange à atteindre est de 7m/min.

Voici donc deux tableaux reprenant mes calculs de dimensionnement.

boîtier	ratio	vitesse sortie <i>tr/min</i>	vitesse entrée <i>tr/min</i>	diamètre <i>m</i>	vitesse <i>m/min</i>
RT430	10,9	15,82	172,44	0,14	7
RT500	43,6	15,82	689,75	0,14	7
RT650	37,8	15,82	598,00	0,14	7
RT800	31,7	15,82	501,49	0,14	7

moteur	vitesse rotation <i>tr/min</i>	couple <i>daNm</i>
OMR50	775	10
OMR80	750	20
OMR100	600	24
OMR125	475	30

C'est donc en associant le moteur OMR80 avec le boîtier RT500 que la vidange se fera en moins d'une minute.

-Calcul du temps de déchargement

Le débit en sortie du bloc PVG32 sera limité à 120l/min ce qui revient à 60l/min par moteur. A ce débit-là, la vitesse de rotation varie entre 675 et 750tr/min. (Figure 14)

Pour la suite du calcul, une vitesse de 725tr/min sera utilisée afin de déterminer le temps moyen de déchargement dans des conditions standards, c'est-à-dire que ce temps peut varier en fonction de niveau de remplissage de la caisse, de la masse de la matière chargée et de la consistance plus ou moins épaisse des boues ce qui impacte directement leur fluidité.

Lorsque le moteur OMR80 effectue 725tr/min, la vitesse de rotation de l'axe en sortie du boîtier est alors de : $725/43,6 = 16,63\text{tr/min}$

Le pignon d'entraînement à un diamètre de 140mm soit 70mm de rayon.

$$V[\text{m/s}] = R[\text{m}] \cdot \omega[\text{rad/s}]$$

$$N[\text{tr/min}] = \omega[\text{rad/s}] \cdot 60/2\pi$$

$$16,63\text{tr/min} = 1,74\text{rad/s}$$

$$1,74 \cdot 0,07 = 0,12\text{m/s}$$

$$0,12\text{m/s} = 7,31\text{m/min}$$

Si la caisse mesure 5,50m de long, la latte la plus avancée met 45s pour arriver à la porte.

-Calcul de la masse maximale entraînée

En régime intermittent, le moteur OMR80 peut développer jusqu'à 215Nm à une pression de 200bar et un débit de 60l/min. (Figure 14)

Couplé au boîtier RT500 le couple de sortie maximum est alors de 9374Nm. En tenant compte de la dimension du pignon, chaque couple moteur/boîtier est capable de fournir 133914N en traction soit déplacer 13,65 tonnes de matière. Afin de minimiser le frottement dans le fond de la caisse, les chaînes glissent sur des bandes lisses qui minimisent le coefficient de frottement.

Les deux ensembles n'auront alors aucun mal à fonctionner même en pleine charge. Selon le client texan, une caisse pleine représente environ 20 tonnes de matière.

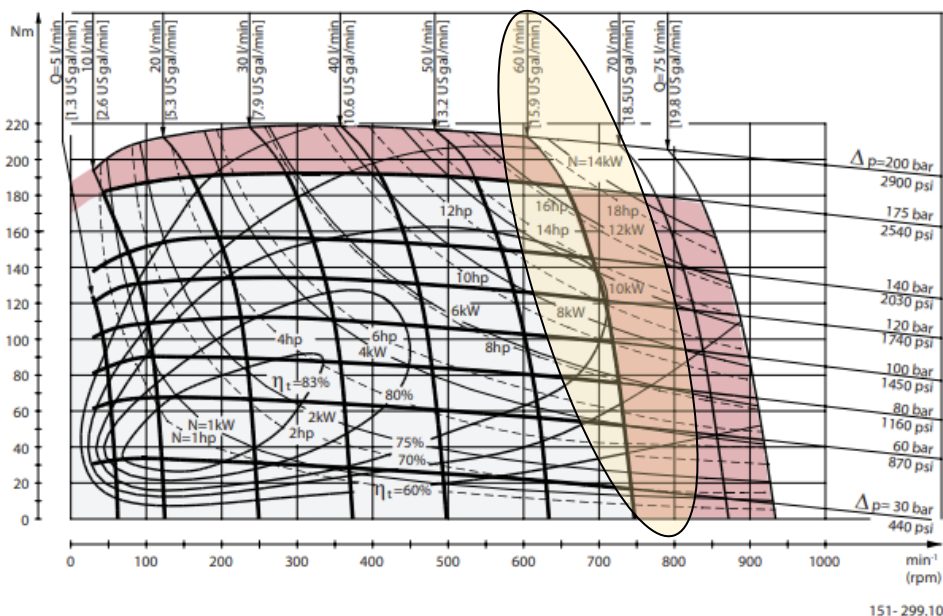


Figure 14 OMR80 function diagram

Les tuyaux à coupleurs rapides standardisés transfèrent l'huile dans le bloc PVG 32 qui est fixé dans la boîte de commande à l'avant de la remorque. Les tuyaux hydrauliques partent donc de là et longent le châssis dans les montants spécialement dessinés pour rejoindre le moteur OMR à l'arrière de la remorque (Figure 15).

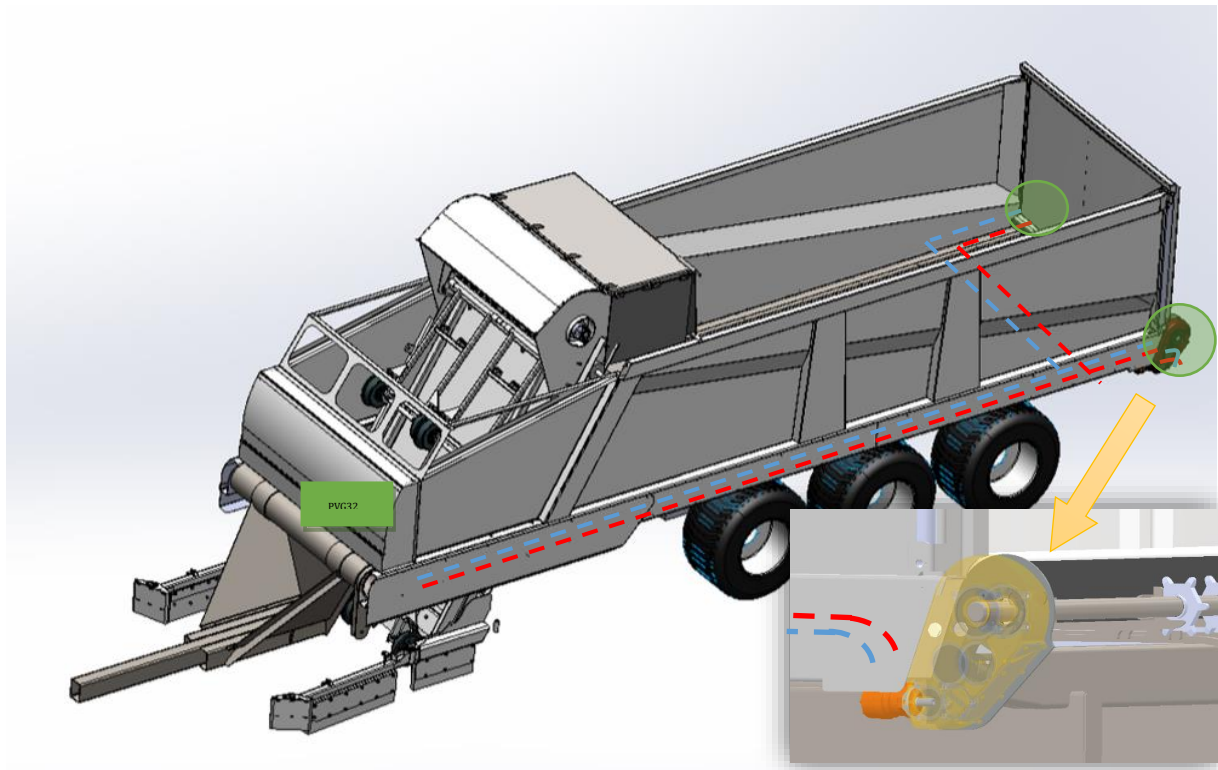


Figure 15 - disposition des composants hydrauliques pour l'entraînement du fond mouvant

8.3.3. Réglage tensions des tendeurs

Dans les deux fonctions étudiées jusqu'ici il est nécessaire de pouvoir ajuster la tension tantôt des chaînes tantôt des courroies. Un manque de tension sur un de ces deux éléments entraîne de sérieux risques d'usure et de casse. Dans le cas des bandes crantées, une sous tension entraîne une usure accélérée des dents ainsi que des vibrations qui usent la courroie mais également le reste des éléments du chemin de courroie. Dans le cas des chaînes, on parle alors de déraillement, d'usure accélérée des pignons d'entraînement ou encore de vibration et battement. Dans notre cas, si les chaînes sont trop détendues, les lattes peuvent même se coincer dans la structure inférieure de la caisse. Dans tous les cas il est évident que toutes ces conséquences sont à éviter à tout prix c'est pourquoi la tension sera réglée hydrauliquement afin d'assurer une tension constante et réduire le risque d'erreur humaine lors du réglage.

8.3.3.1. Tension des bandes crantées

L'élévateur est composé de deux paires de bandes crantées. Chaque jeu doit pouvoir être tendu indépendamment de l'autre c'est pourquoi deux circuits hydrauliques seront installés. Ces deux circuits seront identiques car ils doivent répondre aux mêmes attentes à savoir maintenir une pression de 30bar dans les vérins tendeurs. Cette pression a été calculée et appliquée sur le 1^{er} prototype de l'OptimaLoader.

Des accumulateurs sont alors montés sur le circuit afin de maintenir la pression constante lors du travail mais permettent également une certaine tolérance lorsque de gros tas de matières passent dans l'élévateur. (Figure 16)

Pour dimensionner ces accumulateurs il est nécessaire de connaître le volume d'huile des vérins tendeurs en plus de la pression attendue.

L'espace disponible au sein du bloc élévateur est relativement restreint ce qui nécessite des vérins ayant un faible encombrement. Un vérin de type « frein » ne nécessite pas de composants supplémentaires de sécurité pour éviter le retour de la tige. Ce modèle a aussi l'avantage d'offrir un maintien continu de sa position haute même lors de perte hydraulique ce qui améliore l'aspect sécurité au niveau de la tension des bandes crantées. Cette technologie permet également de réduire l'espace nécessaire autour du vérin et facilite son montage car il n'y a qu'un seul embout hydraulique à raccorder.

Une course de 100mm est largement suffisante étant donné la géométrie de l'élément tendeur.

L'ensemble des vérins sera sélectionné dans le catalogue de Chapel Hydraulique, une société française avec laquelle Alain Degroote a l'habitude de travailler.

Le modèle choisi sera le 630F/110.

Le diamètre intérieur est de 30mm et la course de 110mm. Ce vérin peut accepter une pression maximale de 200bar ce qui est très largement au-dessus de la moyenne de 30bar utile dans cette application. Le volume intérieur est de 0.1l selon les données disponibles sur le site internet du fournisseur ce qui signifie qu'un accumulateur de 1l est suffisant pour assurer une pression constante dans les deux vérins tendeurs.

Etant donné que les plans ont été modifiés par le dessinateur au sein des bureaux à Nivelles, il faudra régler cette pression au moment du montage de la machine car elle peut être différente de celle reprise dans mon étude.

Pour faciliter la mise sous pression des accumulateurs, les deux circuits hydrauliques seront raccordés sur une tranche prévue à cet effet. Le bouton d'ouverture de l'électrovanne se trouvera au sein de la boîte de commande. Une série de vanne 3 voies sera alors montée à la sortie de l'électrovanne pour ajouter/enlever de la pression indépendamment dans chaque circuit.

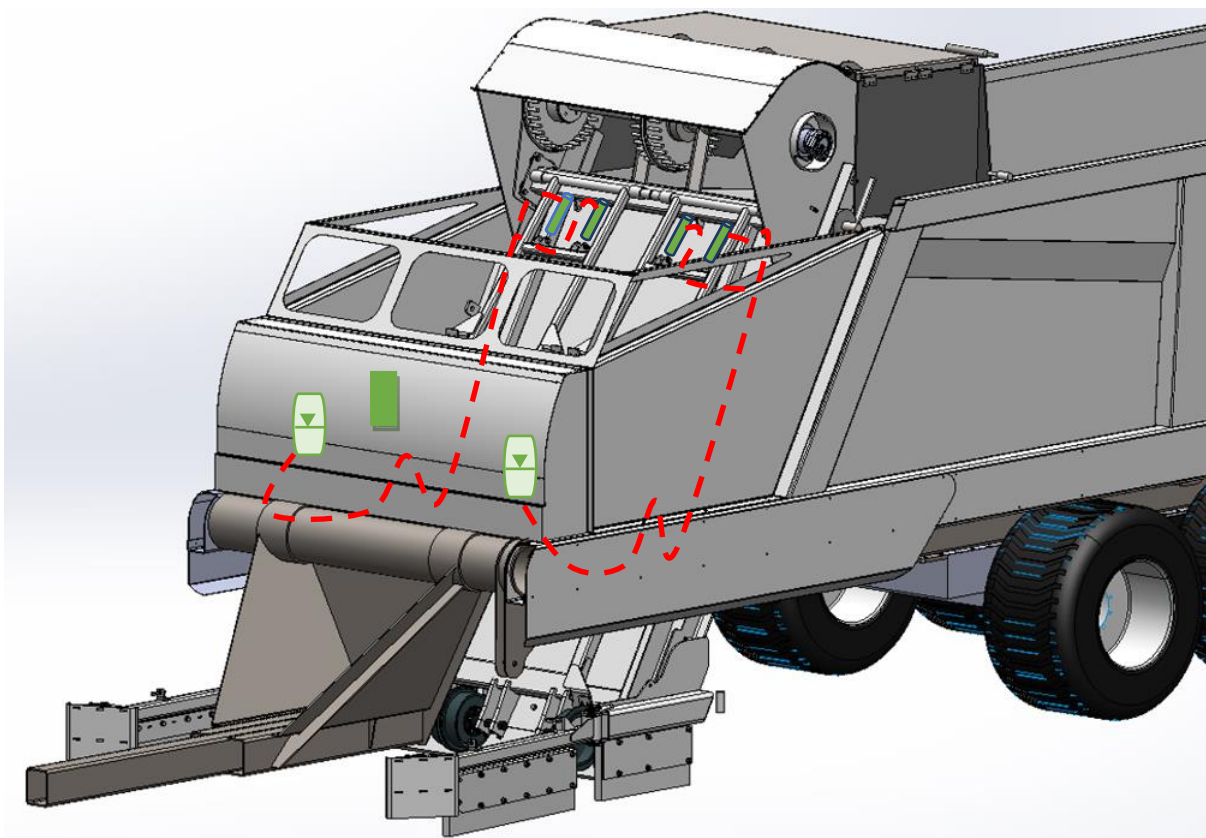


Figure 16 - disposition des composants hydrauliques pour le réglage de tension des bandes de l'élévateur

8.3.3.2. Tension des chaînes du fond mouvant

Tout comme pour les bandes de l'élévateur, les vérins tendeurs du fond mouvant sont associés deux à deux. Sur certains modèle de remorques les tendeurs sont réglables par l'avant de la caisse mais dans notre cas, les tendeurs doivent être à l'intérieur des chaînes étant donné que l'élévateur se positionne à ras de la tôle du fond.

Sur la Figure 17, l'avant de la remorque se trouve à gauche et l'arrière à droite. Les tiges de vérins effectuent une action de poussée ce qui permet de mettre des vérins simple effet.

Les vérins de type frein pourraient convenir dans cette situation si leur seul rôle était de tendre les chaînes. La différence ici réside dans le fait de pouvoir monter et démonter la chaîne facilement. Le type de chaîne utilisé dans le projet OptimaLoader nécessite une importante longueur de mou afin de pouvoir défaire les maillons. Une course de 200mm sera nécessaire dans ce cas-ci or celle des vérins de type frein disponible chez le fournisseur est limité à 110mm.

Des vérins classiques simple effet de type 625/200 suffisent donc à tendre les chaînes du fond mouvant et permettent un montage simplifié des chaînes du fond mouvant.

Concernant les accumulateurs utilisés dans le circuit hydraulique des tendeurs de l'élévateur, les mêmes seront montés entre les tendeurs des chaînes et la même tranche sur le bloc NG6.

Les vérins 625/200 ont un volume de 0.15l chacun soit 0.3l par pair ce qui est toujours largement en dessous de la capacité de l'accumulateur qui, pour rappel, est de 1l.

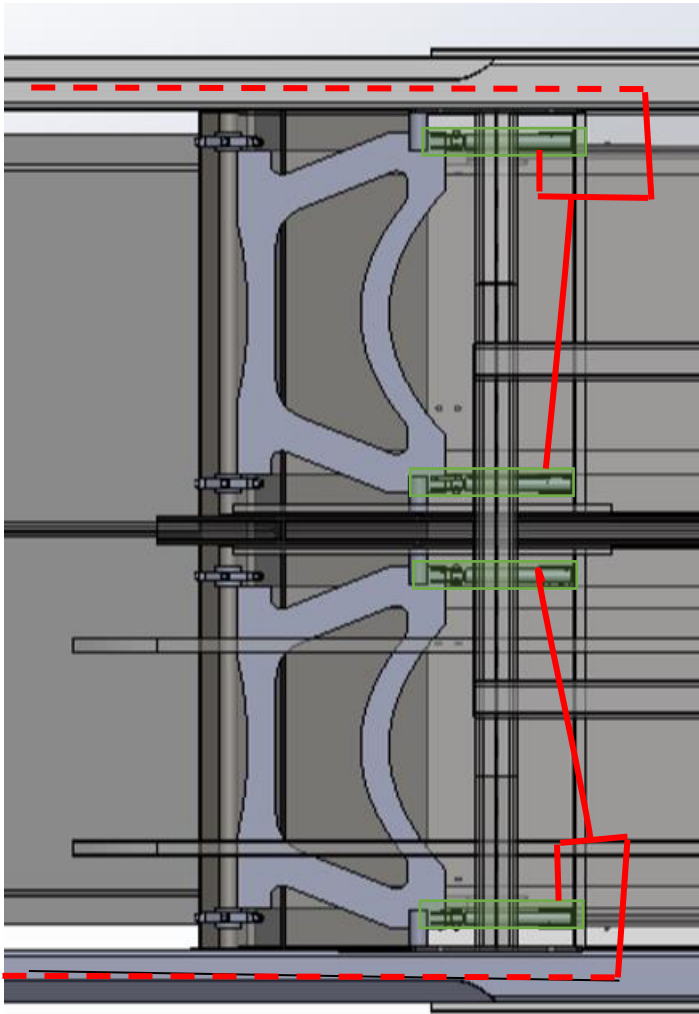


Figure 17 - disposition des composants hydrauliques pour le réglage de tension des chaines du fond mouvant

8.3.4. Positionnement du bloc élévateur

Afin de racler de manière efficace le sol, le poids propre de l'ensemble élévateur sera utilisé pour appliquer une certaine pression. L'ensemble pesant environ 3,5 tonnes, il est évident qu'il n'est pas toujours nécessaire d'avoir une telle force perpendiculairement au sol. En plus du fait que ce n'est pas spécialement utile, cela accélérerait de manière importante l'usure des bandes en caoutchouc qui sont fixé sous le bac ramasseur.

La formule du calcul de la force d'un vérin est la suivante :

$$F = P \times S$$

$$\text{Dans notre cas } F = 9,81 \cdot 3500 = 34335\text{N}$$

$$P = 200\text{bar} = 20.000.000\text{Pa}$$

$$S = 0,00171675\text{m}^2 = 1716,75\text{mm}^2$$

$$S = \pi r^2$$

$$r = 23,38\text{mm}$$

$$D = 46,76\text{mm} \text{ soit un minimum de } 23,4\text{mm} \text{ de diamètre par vérin.}$$

Afin de garder la base du vérin sur la partie non mobile de la remorque, un vérin double effet avec le piston orienté vers le bas sera utilisé dans cette application. Cela offre également l'avantage de ne pas accumuler de boue sur les bourrages et minimise les risques d'usure prématurée.

Il faut donc trouver un vérin qui possède une surface supérieure à 1716mm^2 du côté fût – tige.

Dans le catalogue de chez Chapel Hydraulique c'est le modèle 703/800 qui sera retenu pour permettre de relever assez haut l'ensemble élévateur pour un maximum de confort sur la route et les chemins de terre. Son diamètre de fût est de 60mm et le diamètre de la tige est de 30mm

La surface d'appui de l'huile vaut donc : $60^2 - 30^2 = 2700\text{mm}^2$ par vérin soit une surface totale de 5400mm^2 .

Avec cette surface d'appui, la pression nécessaire pour décoller du sol l'ensemble élévateur est de :

$$34335 / 0,0054 = 6481481 [\text{Pa}] \text{ soit environ } 65 [\text{bar}].$$

Il faut également intégrer un accumulateur hydraulique qui permettra le mouvement vertical du bloc élévateur lorsque le tracteur passe dans un trou ou sur une bosse. Cela permet un meilleur suivi du sol dans un premier temps et ralentit la dégradation du matériel en évitant de trop gros chocs sur les pièces mécaniques dans un deuxième temps.

Ces accumulateurs seront réglés lors de la mise en route de la machine.

Afin de permettre au chauffeur de voir quelle pression il a appliqué dans le circuit hydraulique, un grand manomètre sera installé à l'avant de la remorque afin d'être facilement lisible depuis le poste de travail.

3 positions seront mises en avant, 0bar, 20 bar et 40bar. Le chauffeur pourra alors choisir entre ces 3 options pour travailler différents types de sol avec une pression plus ou moins grande.

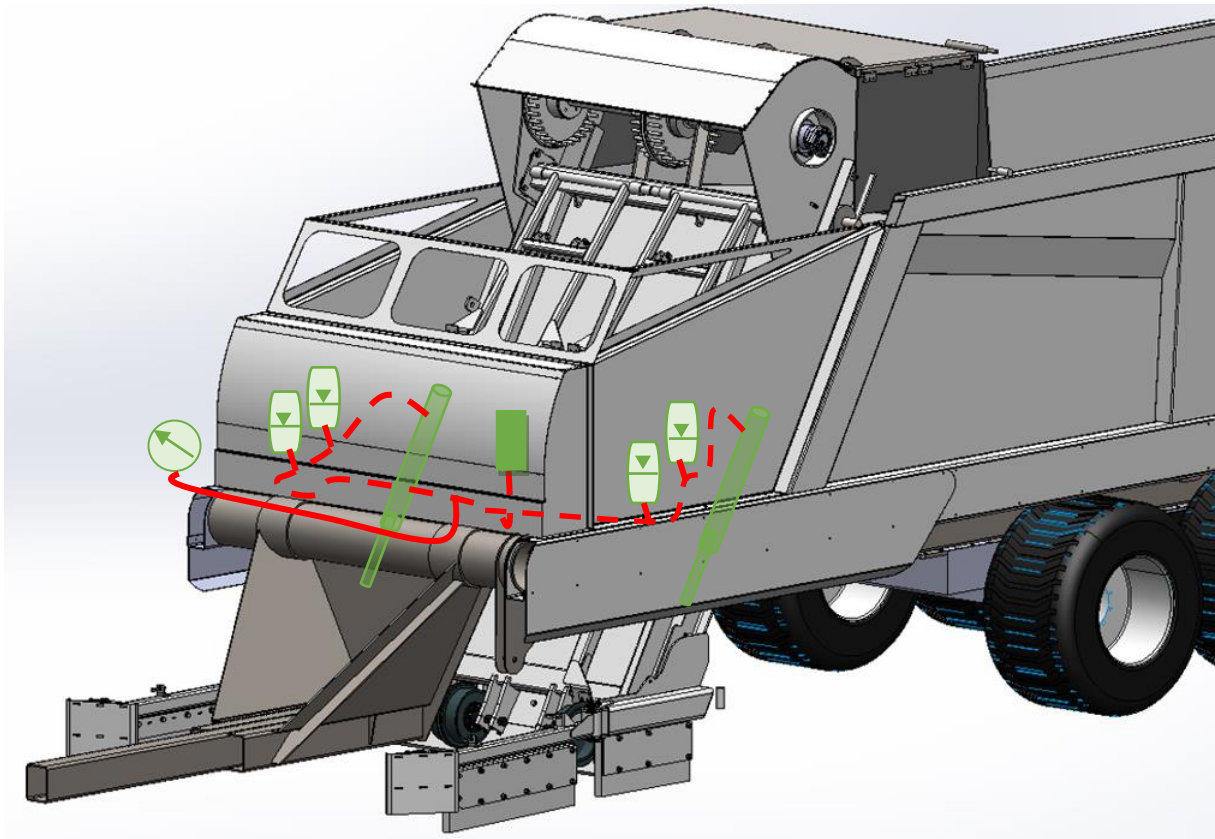


Figure 18 - disposition des composants hydrauliques pour le relevage de l'ensemble élévateur

8.3.5. Positionnement du bac ramasseur

Le bac ramasseur est composé d'une structure en acier et de bandes en caoutchouc.

Ce sont ces bandes qui raclent le sol pour diriger la matière vers le centre du bac où se situe l'élévateur. Ces dernières s'usent évidemment avec le temps et il faut donc régler la position du bac en conséquence pour éviter que les lattes en acier de l'élévateur viennent taper contre le sol.

Ici des vérins doubles effets seront nécessaire car cela permet de gérer avec précision la hauteur du support de bande et de pouvoir relever le bac lorsque de nouvelles bandes sont installées.

Il faut ensuite réfléchir à une solution pour permettre au bac de suivre le sol. Pour cela, une liaison doit être faite entre les deux vérins. Lorsqu'un des deux pistons remonte, par exemple sur une bosse, la pression est instantanément transférée dans l'autre vérin. Les deux vérins sont alors toujours en équilibre et la bande en caoutchouc peut épouser le sol. (Figure 19)

La partie composée uniquement de caoutchouc à une hauteur de 50mm donc une course de 200mm est suffisante pour assurer la fonction de suivi du sol.

Le modèle choisi est donc le 702/200 .

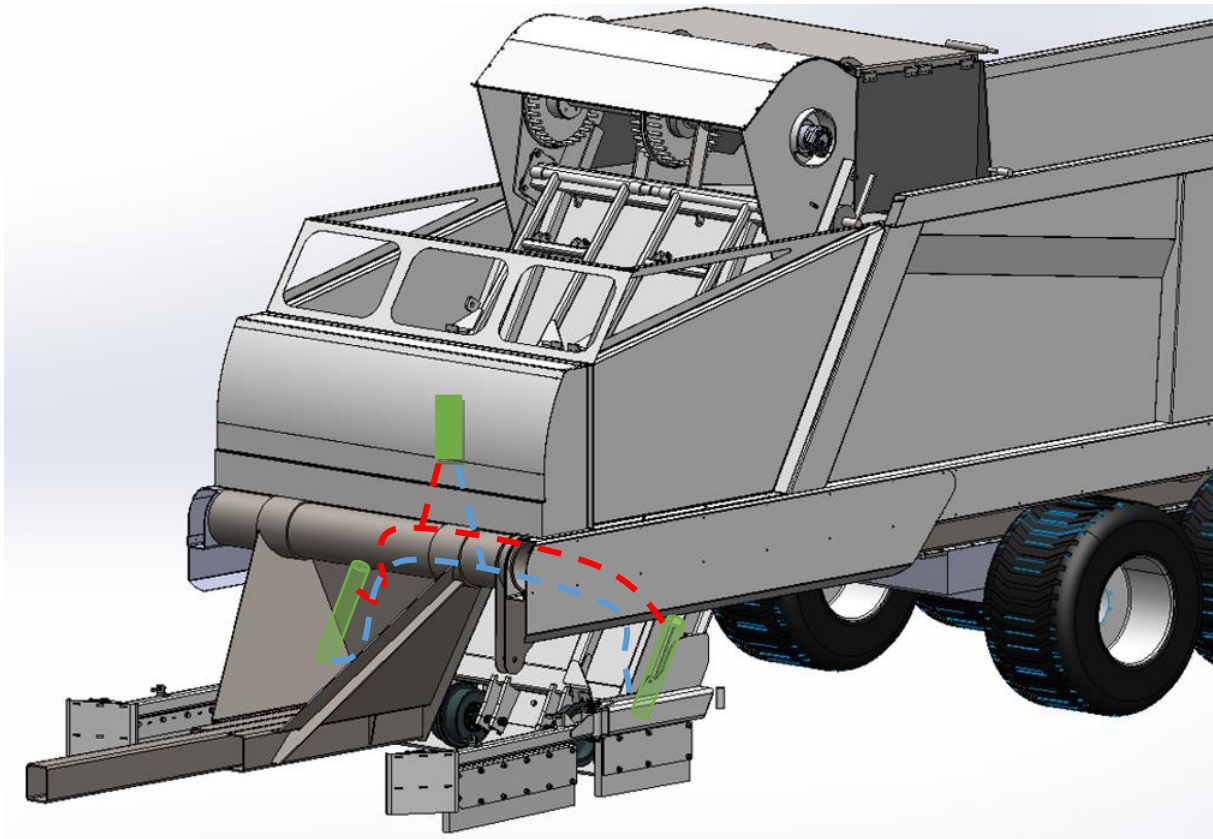


Figure 19 - disposition des composants hydrauliques pour l'ajustement du bac ramasseur

8.3.6. Ouverture et fermeture des palettes latérales

Afin de pouvoir contrôler indépendamment et précisément chaque palette, chacune d'entre elles a son propre circuit hydraulique contrôlé par une électrovanne à grandeur proportionnelle.

Les vérins sont positionnés fort proche de la charnière de rotation. Cela réduit la course de la tige mais augmente également le bras de levier créé par l'accumulation de la matière sur les palettes latérales lors du travail. Pour être sûr de ne pas avoir d'ennuis avec ces deux vérins, ils ont été surdimensionnés

Un système de sécurité a également été étudié pour permettre aux bras de se laisser aller en cas de contact avec un obstacle. Ce système fonctionne de manière hydraulique au moyen d'une valve de surpression. Lorsqu'une palette butte contre un obstacle, la pression augmente rapidement dans le vérin. Une valve de surpression permet de renvoyer l'huile devenue excédent dans le réservoir d'huile du tracteur. Une autre option plus simple à monter est un boulon de sécurité. Le principal problème de cette solution est que les ouvriers qui conduisent la remorque ne sont pas spécialement formés à cela et le but est demander le minimum d'intervention de la part des ouvriers.

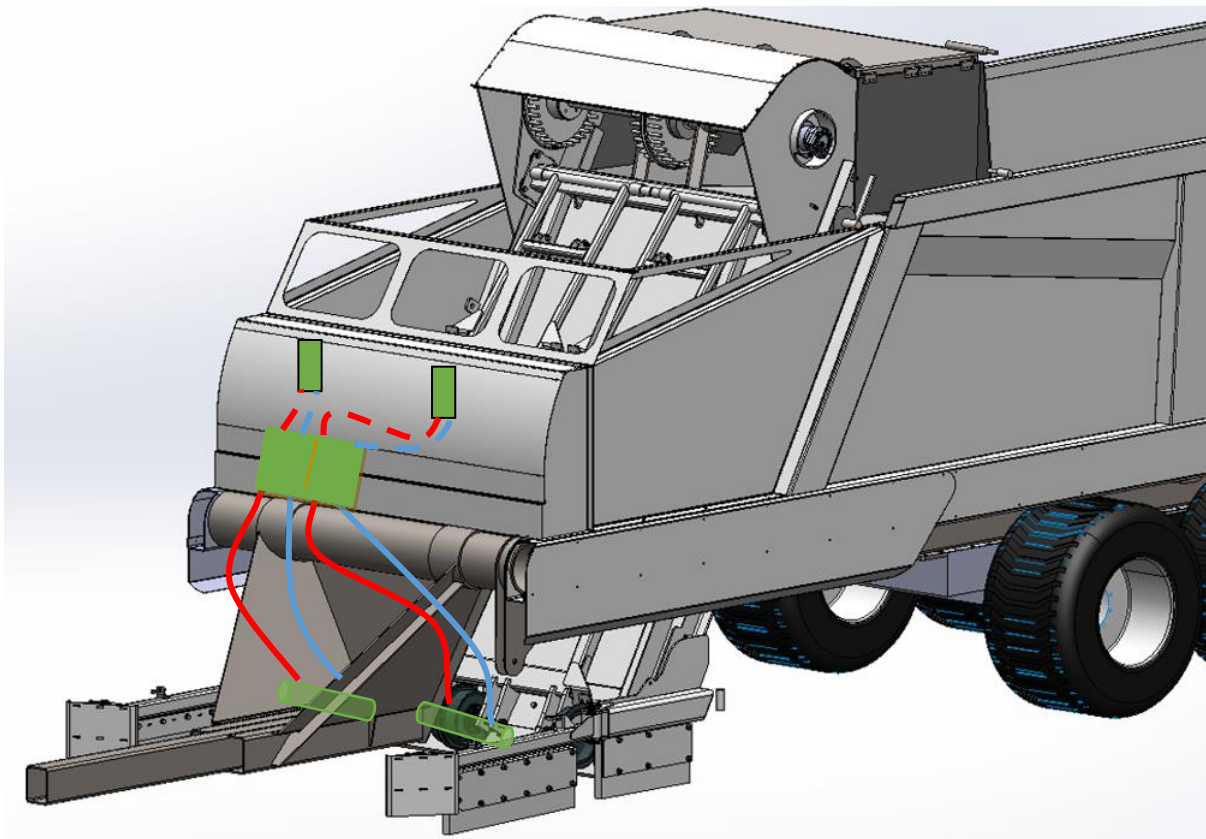


Figure 20 - disposition des composants hydrauliques pour l'ouverture des ramasseurs

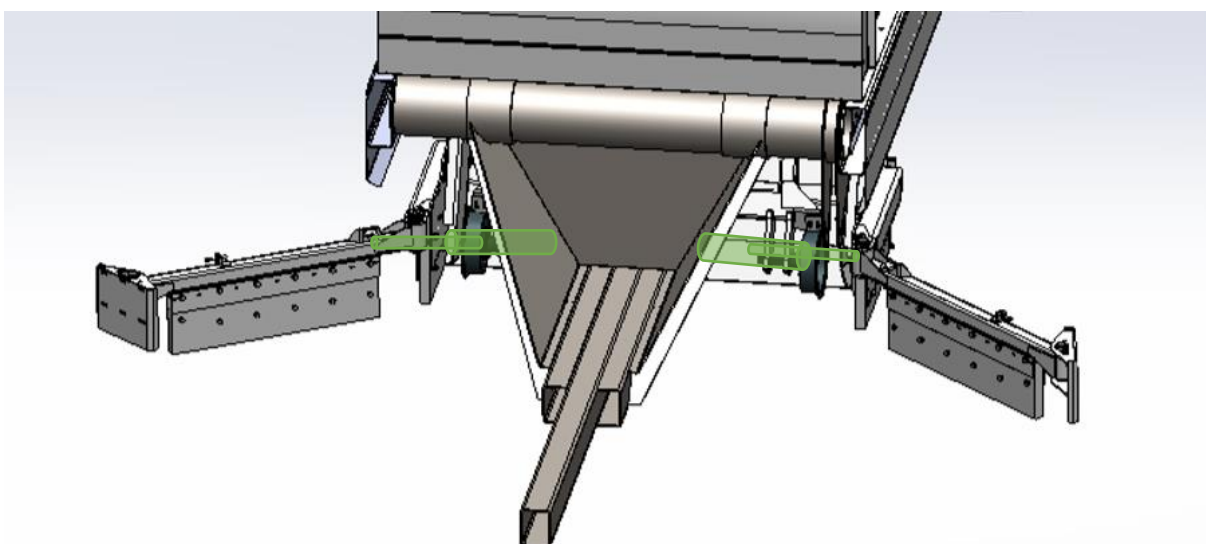


Figure 21 - disposition des composants hydrauliques pour l'ouverture des ramasseurs

8.3.7. Ouverture de la porte guillotine

L'ouverture se fera de manière proportionnelle pour permettre de mieux contrôler le débit de déchargement. C'est également un avantage dans le cas où un élément d'épandage est monté à l'arrière de la remorque pour doser plus précisément le nombre de tonnes épandues à l'hectare.

La hauteur de la caisse à l'arrière de la machine est de 1400mm. Pour éviter que la porte puisse sortir de son guide, une course de 1200mm sera retenue pour les vérins placés verticalement. (Figure 22).

Ce sont des vérins fait sur mesure ayant pour référence 702/1200 chez Chapel hydraulique

Ce sont des vérins double effet avec une tige de 30mm de diamètre. Une tige de plus petit diamètre aurait suffi à soulever la porte qui pèse environ 250 kg mais pour éviter tout risque de flambage un diamètre 30 sera utilisé.

Pour éviter que la porte se mette de travers lors du travail, une solution avec un diviseur de débit est en cours d'étude afin de garantir que la même quantité d'huile soit envoyée dans chaque vérins.

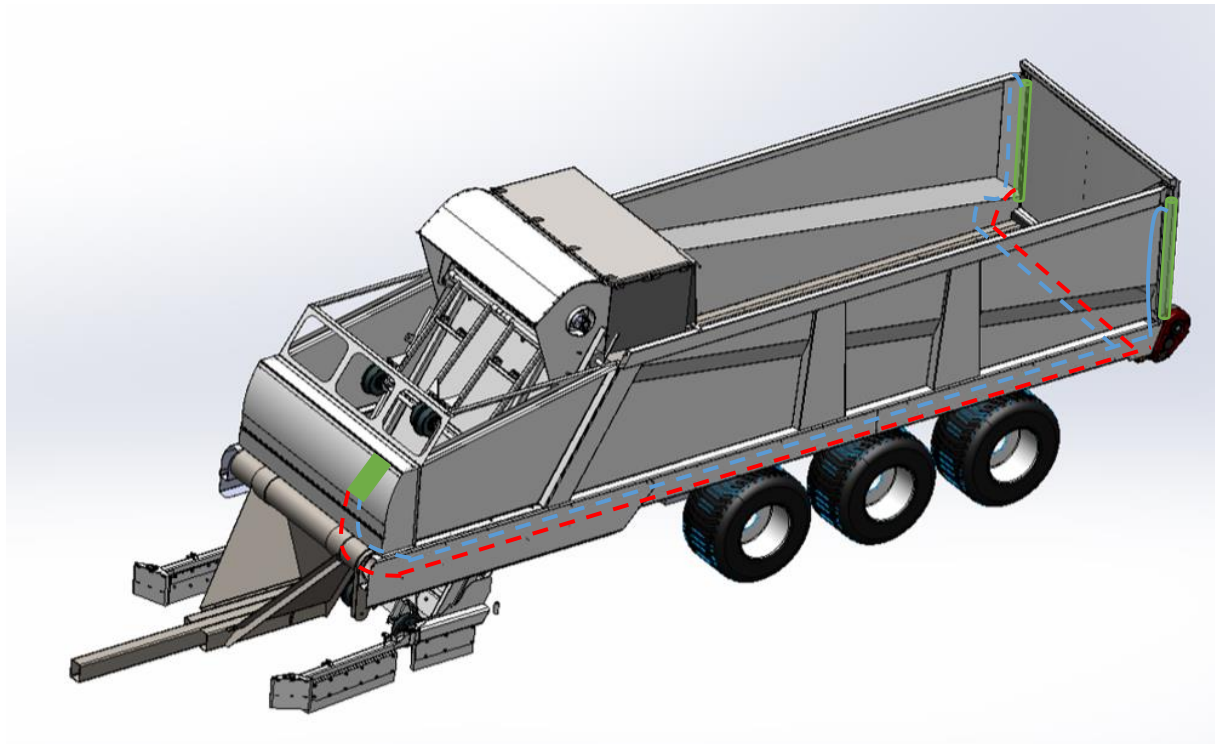


Figure 22 - disposition des composants hydrauliques pour l'ouverture de la porte guillotine

8.3.8. Blocage essieux

Les essieux étant commandés déjà montés chez le fournisseur, les vérins de blocages seront déjà montés dessus. La société n'a pas encore déterminé quels essieux seront montés sur la nouvelle remorque mais le principe de blocage de direction reste relativement le même entre les différents modèles disponibles.

Pour faire simple, un ou plusieurs vérins sont installés perpendiculairement aux roues et sont fixés sur l'essieu. Une fois la commande de blocage activée, les vérins sont alors déployés et les tiges appuient sur des butées positionnées à côté des fixations de la barre d'accouplement.

Une fois la fonction désactivée, l'huile a la possibilité de retourner librement dans le réservoir d'huile et la direction est à nouveau libre de tout mouvement de rotation.

Voici un exemple de système de blocage d'essieux Collard (Figure 23) qui est envisagé pour le projet OptimaLoader.

En fonction du modèle choisi, il suffit de régler la pression et le débit suivant les instructions fournies par le constructeur.

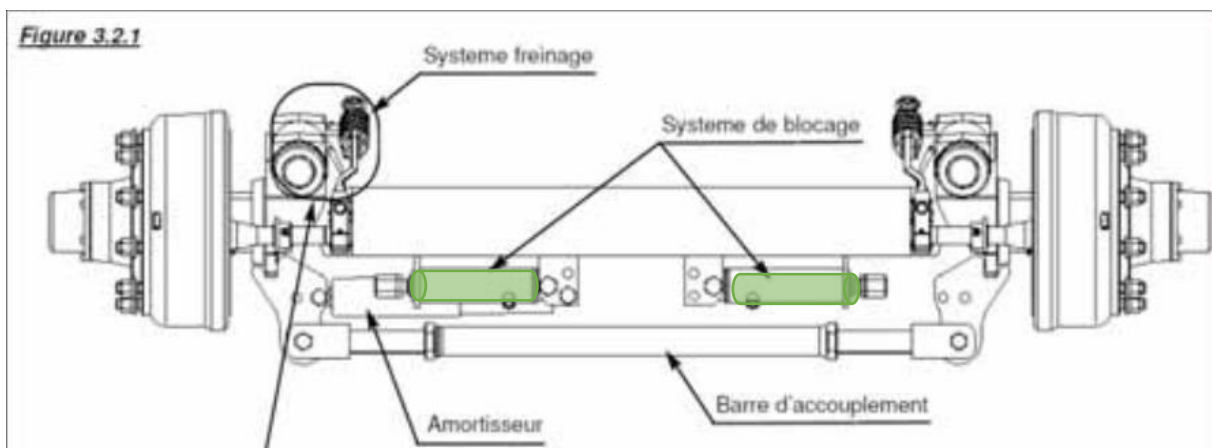


Figure 23 - disposition des composants hydrauliques pour le blocage des essieux suiveurs

8.3.9. Bloc d'électrovannes

Voici un résumé de l'ensemble des blocs et des actionneurs hydraulique détaillés jusqu'ici.

Le type de vannes et de distributeurs seront détaillés dans le point suivant en même temps que le type de commande. Il est possible que ceux-ci soient modifiés après mon stage car des discussions sont toujours en cours concernant les différentes options et fonctions particulières à mettre en place. Toutefois, les tiroirs garderont cet ordre et cette dénomination-là.

Ce tableau nous donne une vision plus claire du nombre de tuyaux et raccords hydrauliques présents dans ce compartiment de commande.

	fonctions	vers
prise 1	prise double effet du tracteur	Bloc PVG
Bloc PVG32	vers fond mouvant	2x moteur OMR80
Bloc PVG16	vers bloc de vannes	NG6
tiroir 1	hauteur porte	vérin 702/1200
tiroir 2	hauteur élévateur	vérin 703/800
tiroir 3	hauteur bac ramasseur	vérin 702/2
tiroir 4	palette gauche	vérin 703/2
tiroir 5	palette droite	vérin 703/2
tiroir 6	blocage essieux	vérin essieux
tiroir 7	réglage tendeur	vannes 3 voies
tiroir 8	option	
prise 2	prise double effet du tracteur	
Bypass	pression maximal (sécurité)	2x moteur TMTHW400

9. Communication entre le tracteur et le bloc de commande

9.1. Situation initiale

La partie commande doit se trouver dans la cabine du tracteur. Le client a demandé qu'on fasse au plus simple car ce ne sont pas tout le temps les mêmes chauffeurs qui roulent pour effectuer ce travail de récupération. J'ai donc pensé à un joystick, ce qui permet d'avoir une grande précision lors des réglages des palettes latérales. Cela permet aussi de recentrer toutes les fonctions sur un même élément.

9.2. Etude théorique et solutions retenues

La première étape était donc de dresser une liste claire et détaillée de chaque fonction pour déterminer le nombre de boutons nécessaires :

1. Entraîner les chaînes du fond mouvant

Un seul bouton sera suffisant. Dans le cas où l'on voudrait faire tourner le fond mouvant dans l'autre sens, il faut alors se rendre dans le boîtier hydraulique à l'avant de la remorque. Un distributeur 4/3 sera donc utilisé dans ce cas.

(Figure 24)

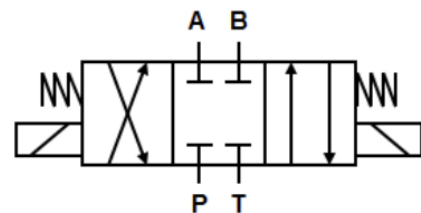


Figure 24 – distributeur 4/3

2. Faire monter/descendre la porte arrière

La porte n'a pas besoin d'être réglée au centimètre près c'est pourquoi deux boutons poussoirs seront amplement suffisants dans ce cas. De nouveau le distributeur utilisé sera un 4/3

(Figure 24)

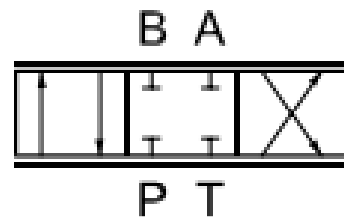


Figure 25 – distributeur 4/3 proportionnel

3. Faire monter/descendre l'ensemble élévateur

Ici la commande se fait via les axes du joystick pour permettre de gérer la vitesse de sortie des vérins. le distributeur sera alors un 4/3 proportionnel

(Figure 25)

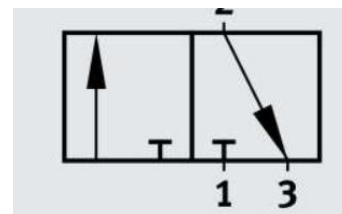


Figure 26 – distributeur 3/2

4. Ajuster la position du bac ramasseur

Ce réglage se fera à l'arrêt sur un sol plat. La hauteur de l'élèveur est déjà réglée de manière proportionnelle et il suffit alors de simplement venir poser le bac contre le sol une fois que la hauteur des lattes de l'élèveur a été ajustée. Un distributeur 4/3 commandé par 2 boutons sera donc suffisant.

(Figure 24)

5. Ouvrir/fermer les palettes de gauche

La commande se fait via l'axe du joystick en maintenant un autre bouton. Le réglage des palettes doit être facile et précis, c'est donc un distributeur 4/3 proportionnel qui sera monté sur le bloc de vanne.

(Figure 25)

6. Ouvrir/fermer les palettes de droite

Le principe de réglage est exactement le même que pour la palette de gauche. Le distributeur sera du même type à savoir un 4/3 proportionnel.

(Figure 25)

7. Blocage de l'essieux

Dans ce cas-ci, on envoie l'information au PLC en appuyant une fois sur un bouton. Tant que l'on ne rappelle pas sur ce bouton la commande du distributeur est toujours activée. Lorsque l'on désactive la commande, l'huile enfermée dans le vérin doit être libre de retourner au réservoir librement. Un distributeur 3/2 comme illustré dans la [Figure 26] sera donc monté sur le bloc.

Il est conseillé d'utiliser le même type de distributeur sur un même bloc NG6. La solution est alors soit de ne monter que des distributeurs proportionnels quitte à les utiliser en tout ou rien, soit de mettre deux blocs NG6 en parallèle et en utiliser un avec des distributeurs proportionnel et l'autre avec des distributeurs simples.

En fonction des options qui s'ajouteront peut-être lors de la finalisation du projet dans les mois à venir l'option A ou B sera retenue.

Maintenant que les types de distributeurs sont choisis, il faut trouver un joystick permettant de mettre autant de boutons et de fonctionnalités sur une seule manette.

Après avoir contacté diverses marques, réalisé plusieurs devis, la décision la plus rentable et plus sûre d'un point de vue suivi de projet et service après-vente est donc de travailler avec le modèle ST7 de chez Danfoss.

De par sa conception robuste et son ergonomie le modèle ST7 est réputé pour être très apprécié dans le domaine de l'industrie hydraulique. Il a l'avantage d'être modulable et offre la possibilité de placer jusqu'à 11 boutons tous à portée de main.

La bonne prise en main permet d'effectuer un travail de précision et son ergonomie est très appréciée par les opérateurs. Résistant aux vibrations, à une utilisation intensive, ce joystick a été étudié pour travailler dans des conditions difficiles tout en assurant une maîtrise des équipements de par ses commandes intuitives et très précises.

Enfin, il a été développé pour fonctionner avec le reste de la gamme hydraulique de chez Danfoss ce qui assure la compatibilité entre la commande et les actionneurs hydrauliques.

La [Figure 27] reprend donc toutes les fonctions nécessaires à l'utilisation de l'OptimaLoader mis à part la commande de l'élévateur qui s'effectue directement via la commande du tracteur.

Les fonctions les plus souvent utilisées se retrouvent donc sur la face supérieure du joystick afin de pouvoir les actionner avec le pouce tout en pouvant incliner le manche dans 4 directions.

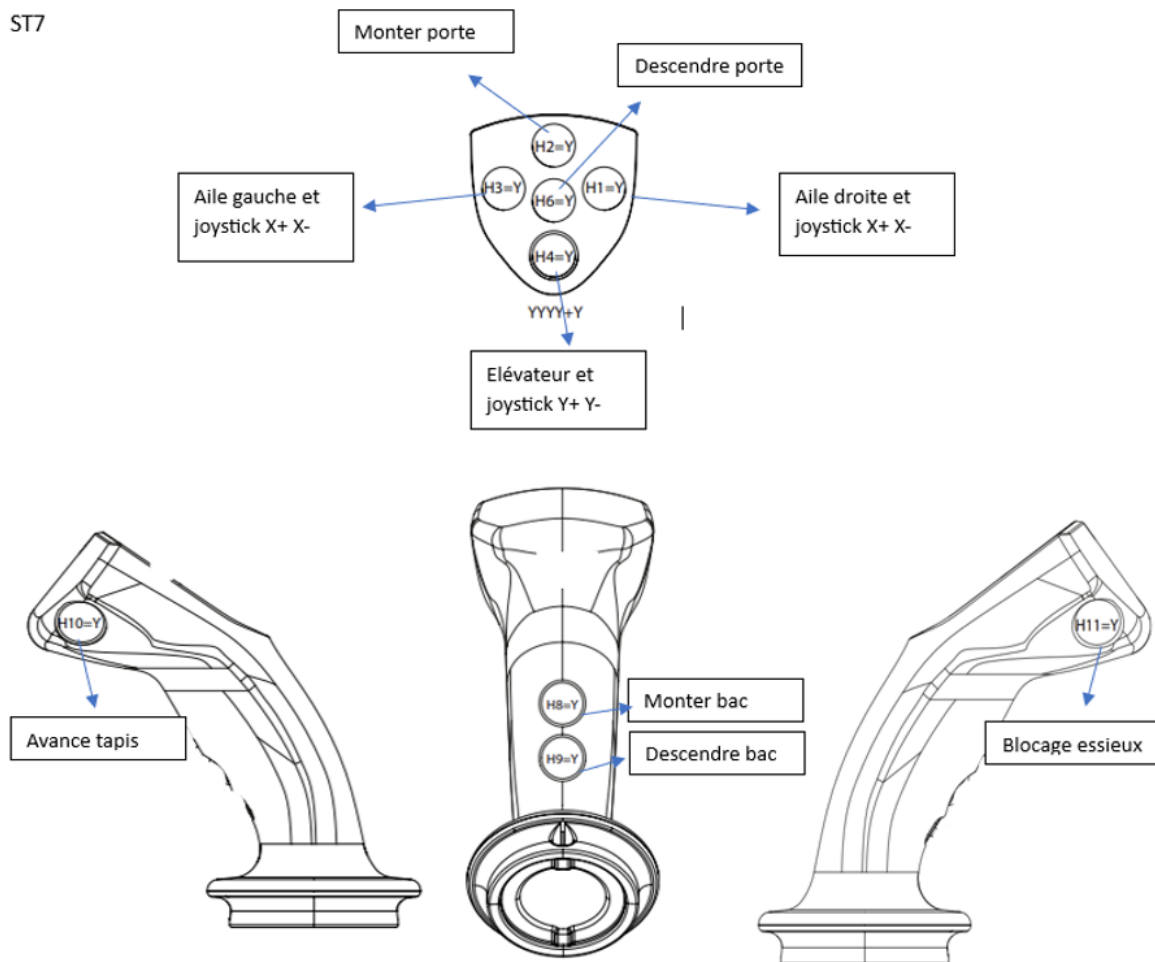


Figure 27 – assignation des fonctions du joystick ST7

Afin de rendre l'utilisation encore plus intuitive, les boutons des réglages de palettes seront de couleur rouge, ceux du réglage de la porte guillotine en gris et le bouton permettant de contrôler la hauteur de l'ensemble élévateur sera de couleur jaune. Avec cette disposition le chauffeur peut facilement et intuitivement retrouver quel bouton utiliser pour effectuer ses manœuvres. [Figure 28]



Figure 28 – Rendu 3D du joystick ST7

Chaque tracteur ayant sa propre configuration et aménagement de cabine, il sera nécessaire de concevoir un support adapté à chaque client. Il est très important que le joystick soit bien fixé soit à côté des organes de commandes du tracteur soit directement au siège du chauffeur si la disposition le permet.

Pour permettre un changement facile et rapide de tracteur, le joystick sera fixé sur un support à clipser sur le support de cabine. Une fiche électrique se trouvera également sur le support mobile pour éviter de devoir passer le joystick par la fenêtre arrière de la cabine.

Afin d'éviter que le câble soit sectionné lors de manœuvre et empêche l'utilisation de la remorque, une tresse de deux mètres rejoindra la cabine à la boîte électrique à l'avant de la remorque. Elle sera connectée via deux fiches rapides disponibles chez le fournisseur. En cas d'accident il suffira alors de changer cette section de 2m sans devoir vérifier le câblage dans la boîte électrique.

10. Programmation

10.1. Situation initiale

La première version de l'OptimaLoader n'était pas équipée d'un PLC permettant une programmation.

La mise en place d'un joystick et de divers capteurs ayant pour but de simplifier l'utilisation et d'assurer une meilleure sécurité a nécessité la mise en place et la programmation d'un Plc. Il a donc fallu établir une liste reprenant l'ensemble des fonctions hydrauliques attendues mais également les divers capteurs utiles à la sécurisation et l'automatisation de l'Optimaoader.

10.2. Etude théorique et solutions retenues

Comme indiqué dans le cahier des charges, la programmation est donc divisée en trois parties : les capteurs, les alarmes et l'automatisation.

Les capteurs

Concernant la partie capteur, la recherche est divisée en deux parties.

- Détection de matières

La première partie concerne les capteurs permettant de détecter la matière dans la caisse pour contrôler l'avancement du fond mouvant.

J'ai donc proposé deux idées différentes permettant de détecter la matière en sortie d'élévateur

La première solution est un capteur mécanique.

Lorsque la matière solide tombe dans la caisse, elle forme un tas conique. Une solution était donc de monter une sorte de palpeur sur le dessus de la caisse qui serait activé par le tas de matière. Un fois que le tapis avance vers le fond de la caisse, le sommet du tas de matière n'est plus en face du palpeur et ce dernier se relâche ce qui envoie comme information « stop » à l'avancement du tapis.

La deuxième solution est d'installer un capteur ultrason permettant de détecter également un objet ou de la matière à une certaine distance de ce dernier en fonction du modèle choisi.

Une distance minimale de 30cm doit séparer le haut du tas de matière et les courroies entraînant les lames de l'élévateur.

Une fois le chargement terminé, l'information que la caisse est pleine doit également parvenir au PLC.

Si l'on ne détecte pas que la matière arrive en butée contre la porte du fond, on risque de forcer sur cette dernière et sur les chaînes du fond mouvant ce qui peut entraîner de la casse.

Les solutions envisageables sont les mêmes que celles reprises ci-dessus à savoir un palpeur ou un capteur ultrason.

Le tas peut arriver jusqu'à mi-hauteur de la porte mais le tapi doit s'arrêter à ce moment-là.

- Capteur de pression

La deuxième partie concerne les capteurs de pressions permettant de s'assurer que les chaînes et courroies soient toujours tendues lors du travail.

Ces capteurs seront à placer dans le bas de la caisse au niveau des tendeurs des chaînes mais également le long de l'élévateur.

La pression maximale voulue est de 30bar, il faut donc prendre une valeur supérieur à cela dans le dimensionnement des capteurs.

Les alarmes

Concernant les alarmes de sécurité, plusieurs points sont à mettre en évidence. Tout d'abord les alarmes et témoins lumineux se divisent en 2 catégories.

La première partie sont les témoins visuels et alarmes visibles/audibles depuis la cabine du tracteur.

-Signal blocage essieux

Lorsque le chauffeur active le blocage d'essieux, une led s'allume sur l'avant de la remorque. En se concentrant sur autre chose le chauffeur peut oublier que le blocage est activé et sans le suivi de la remorque les pneus s'usent beaucoup plus vite. Il est donc important que le chauffeur ait cette information afin de désactiver le blocage de direction lorsque ce n'est pas nécessaire

-Manomètre électronique allument une led différente à 0, 20 et 40bar

Ce manomètre mesure la pression au niveau des vérin de levé de l'élévateur. Le chauffeur ne doit donc pas se concentrer pour lire la valeur sur le manomètre à aiguilles mais peut simplement se référer aux led allumées face à lui lorsqu'il regarde la remorque depuis la cabine.

-Capteur matière ON

Ce témoins signal au chauffeur que le capteur de matière avant ou arrière est en mode ON ce qui veut dire que soit le tapis est en train de reculer soit que la caisse est pleine.

La deuxième partie concerne les témoins visuels fixées à côté du bloc de vanne.

-Pression tendeur

Lorsque la pression dans les tendeurs est inférieure à 30 bar, le système n'autorise pas le chauffeur à actionner l'un ou l'autre moteur hydraulique.

Lorsque ce cas se présente, un témoin lumineux sera alors allumé dans le compartiment hydraulique. Cela force le chauffeur à descendre de son tracteur pour ensuite détecter l'éventuelle panne ou raison pour laquelle la machine refuse de démarrer.

-Capteur matière en position ON

Lorsque le capteur de matière détecte quelque chose, ce témoins lumineux s'active. Dans le cas où la caisse est vide et que la led reste allumée, cela signifie qu'il faut nettoyer le capteur et vérifier qu'il n'y ait pas d'obstacle dans son champ de détection.

L'automatisation

Un mode automatique permettra un chargement simplifié. Le tapis avancera dès que le niveau de matière est trop haut en sortie d'élévateur pour permettre un chargement bien réparti dans la caisse.

Pour faciliter l'utilisation mais également gagner en rapidité de travail plusieurs programmations ont été mises en place.

La première consiste à automatiser le processus de chargement. Pour ce faire, le chauffeur devra maintenir le bouton H10 pendant 3 secondes. Le système fera alors avancer les chaînes du fond mouvant lorsque le capteur en sortie d'élévateur s'active. Lorsque la caisse est remplie et que le capteur au niveau de la porte est activé, le processus s'arrête.

La seconde programmation concerne le repliage automatique des ailes. L'idée est de faire gagner du temps au chauffeur lorsqu'il arrive à la fin d'un mangeoire. Lorsqu'il appuie 2 fois sur le bouton H1 ou H3 l'aile concernée se replie.

La même idée est reprise pour l'ensemble du bloc élévateur. Appuyer deux fois sur le bouton H4 permet de relever l'ensemble élévateur.

En 3 actions simples la remorque est repliée et le chauffeur peut reprendre la route ou entamer une manœuvre pour aller travailler dans une autre zone.

Se référer à la [Figure 27] pour repérer les différents boutons.

Concernant la partie programmation, l'ensemble des fonctions attendues ont été transmises au fournisseur par le biais d'un document disponible en annexe. Danfoss propose un service de programmation avec leur propre programme « PLUS 1 ». Pour éviter de devoir payer une licence, Danfoss propose donc de programmer l'ensemble des actionneurs et automatisations et de laisser quelques paramètres modifiables tels que les pressions attendues ou les temporisations et le nombre de push nécessaires sur les boutons. Cela permettra donc de pouvoir facilement modifier ces paramètres si les chauffeurs font part de retours négatifs. Un exemple simple serait que les chauffeurs veulent une tempo de 5 secondes pour le mode auto et non 3 ou bien encore 3 push au lieu de 2 pour le repliage.

La mise en place de ces automatismes nécessite de fournir des documents supplémentaires aux ouvriers chargés de la mise en route de la machine mais également au client pour le permettre de s'y retrouver en cas de panne.

Je vous invite donc à aller parcourir les différentes annexes de ce travail pour avoir des informations supplémentaires sur les différents montages et assemblages de l'OptimaLoader, divers documents fournis par les fournisseurs concernant les entretiens des moteurs hydrauliques notamment et également un document visant à aider le client à comprendre les différentes sécurités mises en place grâce aux différents capteurs sélectionnés.

11. Conclusion

Au vu des solutions proposées dans ce rapport, je n'ai nul doute que ce projet verra le jour brillamment et s'étendra au-delà des frontières du Texas.

Les possibilités d'amélioration sont grandes et la demande grandissante. Afin de toucher un plus grand nombre d'exploitants agricoles, il est impératif que ce projet se concrétise, c'est une responsabilité que je n'ai pas manqué d'apprécier.

D'autres versions de l'OptimaLoader verront sûrement le jour notamment avec un système de pompes intégrées à la remorque par exemple. Ce système permettra d'utiliser uniquement la prise de force du tracteur ce qui évitera notamment de mélanger les huiles hydrauliques de différents tracteurs.

Concernant la commande en tant que telle, il ne serait pas impossible de monter un système isobus, un protocole permettant de gérer la communication entre des logiciels, des équipements connectés et le tracteur, afin d'avoir des retour d'informations dans la cabine et offrir un plus large choix de paramétrage.

A titre plus personnel, durant plus de quinze semaines, j'ai eu l'occasion de découvrir tout un tas de choses sur la vie d'un entrepreneur dans le domaine de la conception mécanique. Au fur et à mesure des jours, j'ai eu l'occasion d'étoffer mon panel de connaissances notamment en discutant avec Monsieur Alain Degroote ainsi qu'avec ses collègues ; tous ont permis de faire avancer ce projet. Je remercie encore Alain pour la confiance qu'il m'a accordée quand il s'agissait de me laisser entreprendre des démarches administratives, des explorations techniques ou encore de contacter des fournisseurs. C'est avec respect que j'ai représenté les couleurs de l'entreprise durant toute la durée de mon stage. Ce sujet passionnant qu'est l'OptimaLoader m'a donné l'envie chaque jour de découvrir de nouvelles choses pour repousser les limites de son développement, et, du mien.

Pour conclure, je suis très heureux d'avoir pu participer à mon échelle à la conception de l'OptimaLoader qui selon moi est une machine révolutionnaire qui ne cessera d'être améliorée au fur et à mesure des versions. La marge de progression est grande ce qui a rendu ce projet intéressant étant donné que j'ai vraiment dû démontrer ma capacité d'adaptation et ma polyvalence tout au long de mon stage.

Bibliographie et sources

Sites web consultés :

Site web de fournisseur, Danfoss :

<https://www.danfoss.com/en/products/dps/motors/low-speed-high-torque-motors/orbital-motors/char-lynn-motors/tmt-tmv-tmk-series/#tab-overview>

Site web de fournisseur, Kramp :

<https://www.kramp.com/shop-fr/fr/vp/bo%C3%A0Etes-d-engrenages-berma-type-rt-500--ticItemGroup-47643932>

<https://www.kramp.com/shop-ch/fr/p/accumulateur-1-l-210-30-bar--WA210210010FDA30>

<https://www.kramp.com/shop-ch/fr/p/accumulateur-1-l-210-30-bar--WA210210010FDA30>

Site web de fournisseur, Chapel Hydraulique :

<https://chapel-hydraulique.com/product/verin-simple-effet/>

<https://chapel-hydraulique.com/product/verin-double-effet/>

Site web fournisseur, Pepperl-Fuchs

https://www.pepperl-fuchs.com/belgium_frb/fr/index.htm

Module d'apprentissage en ligne :

[https://www.unilim.fr/pages_perso/thierry.cortier/Hydraulique_cours/co/Hydraulique -
De la mecanique des fluides a la transmission de Puissance 147.html](https://www.unilim.fr/pages_perso/thierry.cortier/Hydraulique_cours/co/Hydraulique_-_De_la_mecanique_des_fluides_a_la_transmission_de_Puissance_147.html)

<https://www.sebhydro.com/pages/documentation/fiche/page-37.html>

Vidéo consultée

https://www.youtube.com/watch?v=BYzOz-8RtUU&ab_channel=SEBHYDROFormation

Annexes

Annexe 1 : Schémas Hydrauliques

Annexe 2 : Fonction à programmer chez Danfoss

Annexe 3 : Mise en route

Annexe 5 : Documents moteurs Danfoss

As part of my end-of-study work on the design of a hydraulic command and control system, I was able to carry out a study aimed at optimizing and automating the hydraulic system of a towed self-loading trailer, the OptimaLoader.

The hydraulic system studied is the heart of this trailer. Throughout my project, I was able to dimension various hydraulic actuators essential to the machine's operation. The tough working conditions in which this machine is used led me to select robust and reliable components to ensure optimum performance at all times of the year.

Innovative solutions were integrated into the project, such as pressure sensors, ultrasonic detectors as well as proportional distributors, enabling greater precision in the way the various components are operated. All the valves and hydraulic blocks were sized to meet the specifications, while also opening the door to possible future improvements.

My study also led to the implementation of a series of automation and safety features to make the control unit more intelligent. As a result, the machine's output has been considerably improved, particularly due to a better distribution of material in the trailer body, enabling the machine to be used to its full potential. The emptying time has been reduced and the loading optimized, resulting in improved trailer productivity. These automated systems also aim to reduce the risk of human error by lightening the driver's workload, so that he can concentrate more on the pickup area.

In the course of my study, you'll discover how the machine's handling has been redesigned to make it easier to use on a daily basis, while offering a safe working environment optimized in terms of productivity and efficiency.