MODULE TRANSMISSION

4

INTRODUCTION À LA MÉCANIQUE

LKDF
Learning and Knowledge Development Facility

Une initiative de : UNIDO

Sida

Table des Matières

1. La boite de vitesses manuelle....1
1.1. L'engrenage coulissant....1
1.2. La boîte de vitesses en prise constante....2
1.3. Les mécanismes synchronisés....2
1.3.1. La boite synchronisée à charge constante....2
1.3.2. L'anneau de synchronisation (collier)....3
2. Boîtes de vitesse d'un véhicule à propulsion....5
2.1. Quatre vitesses et marche arrière....5
2.2. Le mécanisme de changement de vitesses....7
2.3. Cinq vitesses et marche arrière....7
2.4. Reverse Detent....8
3. Boîtes de vitesse d'un véhicule à traction avant....9
3.1. Mécanisme de changement de vitesse....9
4. Le fonctionnement du convertisseur....10
4.1. Introduction....10
4.2. Le coupleur hydraulique....11
4.2.1. La roue et la turbine....11
4.2.2. Section transversale de turbine....12
4.2.3. Débit d'huile du coupleur hydraulique....12
4.2.3.1. Débit d'huile rotative....13
4.2.3.2. Débit d'huile en tourbillon....13
4.3. Le convertisseur de couple....14
4.3.1. Composants du convertisseur de couple....14
4.3.2. Principes du convertisseur de couple....16
4.3.3. Les avantages du convertisseur de couple....16
4.3.4. Lockup Clutch Torque Converter....16
4.4. Le diviseur de couple....17
4.5. Les transmissions à arbre supplémentaire....20
4.6. Les transmissions planétaires....26
4.6.1. Les plages de vitesse des engrenages planétaires....26
5. Réductions finales....28
5.1. La réduction finale planétaire....28
5.1.1. Le planétaire monté à côté du différentiel....29
5.1.2. Le planétaire situé dans le moyeu de roue ou le pignon....30
5.2. L'entretien des réductions finales....31
5.2.1. Jeu axial de l'arbre excessif....31
5.2.2. Surchauffe....31

5.2.3. Manque de lubrification....32
5.3. Réglage de la transmission finale....32
5.3.1. Réglage des roulements d'essieu....32
5.3.2. Pré-chargement des roulements....32
5.3.3. Réglage de jeu axial....33
6. Le différentiel....34
6.1. Précautions....35
6.2. Différentiel auto-bloquant....35
7. Hydrostatic drives....37
7.1 Wheel loader drive train....38
7.2 Transfer Gearbox (Drop box)....39
7.3 Universal drive shaft....39
7.4 Axles....39
7.5 Hydrostatic Drive Train....40
8. Conclusion....43
9. Practical Exercises....52

Note : en conformité avec l'objectif de l'Académie d'enseigner à ses stagiaires des bases d'anglais technique, les textes de certaines des illustrations de ce manuel ont volontairement été laissés en anglais.

1. La boite de vitesses manuelle

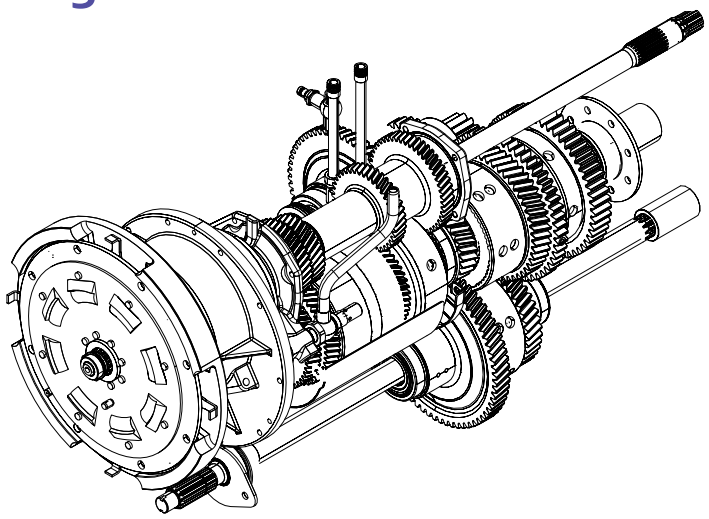
Les inconvénients de l'engrenage coulissant

Bien que la boite de vitesse à engrenages coulissants soit très efficace, elle a deux inconvénients :

1. son bruit en raison du type d'engrenages

2. la difficulté d'obtenir un changement de vitesse rapide et silencieux sans faire preuve de compétences et de bon sens. Des efforts ont été déployés au cours des 50 dernières années afin que ces inconvénients soient surmontés dans les nouveaux modèles de boites de vitesse. La première étape dans cette évolution était le résultat de l'utilisation de la boite de vitesse à charge constante.

1.1. L'engrenage coulissant



Le double débrayage était nécessaire lors du changement de vitesses. En particulier, pour débrayer de la deuxième à la première vitesse, le double débrayage était une obligation. Trouver le tour par minute et la bonne vitesse de déplacement étaient aussi nécessaire pour permettre à la boite de vitesse des changements sans à-coups.

Les dents coulissantes de l'arbre principal et leurs groupes de roues correspondants doivent être à denture droite, de sorte que lorsqu'ils sont engagés il n'y aura pas de poussée latérale, contrairement aux dentures hélicoïdales. Le principal problème avec ce type d'engrenage est qu'au moment de changement de vitesse, les vitesses des arbres d'entrée et de sortie sont d'abord mis en correspondance, autrement les dents coulissantes des pignons d'entrainement ne s'alignent pas et s'entrechoquent.
L'arbre moteur (arbre primaire) contient l'engrenage moteur principal, qui tourne à la vitesse de l'arbre d'embrayage. L'engrenage principal est en prise constante avec l'arbre secondaire (arbre de renvoi). Les vitesses A, B et C sont des vitesses à engrenage coulissant.

1.2. La boîte de vitesses en prise constante

Elle fut utilisée pour la première fois au début des années 1930, mais a été très vite remplacée par d'autres modèles, bien qu'elle soit toujours utilisée sur les véhicules commerciaux et les tracteurs.

La principale caractéristique est l'utilisation des vitesses à denture hélicoïdale et bihélicoïdale plus solides qui ont permis une utilisation plus silencieuse. Chaque paire d'engrenages est en prise constante, et l'opération d'engrenage est obtenue par le verrouillage de la vitesse respective à l'arbre principal au moyen d'un embrayage à crabot.

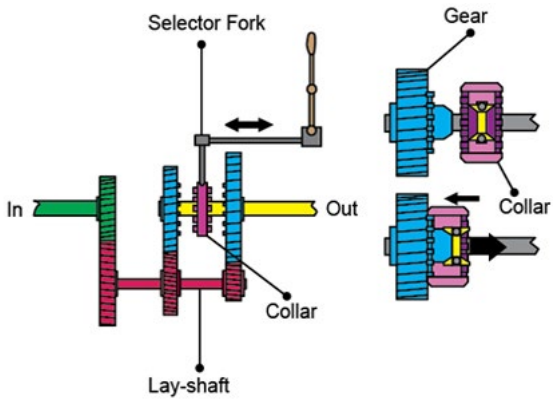
Les engrenages de l'arbre principal sont montés sur des coussinets ou des roulements à aiguilles et sont fixés par des bagues de butée. Lorsque l'arbre est sollicité, le sélecteur fait glisser un embrayage à griffe sur l'arbre principal, pour s'engager avec les dents de crabot formées sur l'arbre. Cela aura pour effet de verrouiller la roue dentée à l'arbre. Le bruit persistera si les dents de crabot ne tournent pas à la même vitesse après l'enclenchement, nécessitant de ce fait un double débrayage, mais le dégât sera limité à l'embrayage à griffe.

1.3. Les mécanismes synchronisés

L'amélioration obtenue fut extraordinaire, mais une certaine compétence était encore nécessaire pour produire un changement rapide et silencieux. La difficulté était le double débrayage, et l'objectif de cette opération était d'égaliser les vitesses des deux ensembles de dents de l'embrayage à crabots avant d'engager la vitesse. Il est vite devenu évident que certains systèmes étaient nécessaires pour synchroniser les vitesses mécaniquement, et lorsque le système fut inventé il était connu sous le nom de boite de boite de vitesse synchronisée.

1.3.1. La boite synchronisée à charge constante

Ce fut le premier type de synchronisation utilisée. La boîte est en fait organisée de la même manière qu'une boite de vitesse à prise constante, mais un embrayage à cône est monté entre les composants des vitesses et de l'embrayage à crabot.



Le cône femelle de cet embrayage est formé dans un moyeu, qui contient des cannelures internes et externes. Une série de billes à ressort est déplacée dans les orifices radiaux dans le moyeu, et elles poussent vers l'extérieur un manchon usiné. La fourchette de sélection contrôle la position du manchon, qui a des cannelures de la même hauteur que les dents de l'embrayage à crabot.

Le mouvement initial du sélecteur et du manchon porte le moyeu vers l'engrenage et permet aux cônes de rentrer en contact. À ce stade, le frottement entre les cônes ajuste la vitesse de la roue d'engrenage pour permettre au moyeu et à l'arbre principal de fonctionner. Une pression supplémentaire sur le levier permettra au manchon de prendre le dessus sur les billes à ressort, et de s'enclencher avec l'embrayage à crabot.

Si le changement de vitesse est accéléré, il n'y aura pas suffisamment de temps pour la synchronisation et le changement sera bruyant. Le temps nécessaire pour que la vitesse soit égalisée est régi par la force de frottement qui existe au niveau du cône. Cette force est contrôlée par : (a) la force totale du ressort, (b) la profondeur de la rainure du manchon, (c) angle de cône, et (d) le coefficient de frottement entre les cônes. Par conséquent, si, en raison de défaillances mécaniques, l'un de ces facteurs est réduit, la synchronisation prendra plus de temps, et le bruit sera probablement bruyant. Ce facteur temporel a présenté des problèmes pour le spécialiste en lubrification, car l'huile, dont la viscosité est élevée en raison des engrenages, prend un temps considérable à se disperser à partir des cônes.

La solution à ce problème était d'utiliser une huile à viscosité inférieure (similaire à moyen d'huile moteur - SAE 30) et fournir une série de rainures sur la face du cône pour traverser le film d'huile et disperser le lubrifiant. Jusqu'à récemment, le drainage et remplissage de la boîte de vitesse tous les 8000 km était essentiel, afin de retirer les particules usées des cônes et des dents de l'embrayage. Grâce aux calendriers d'entretien étendu, ce kilométrage a été considérablement augmenté, et certains fabricants ont recommandé qu'après le premier changement, aucun autre changement n'était nécessaire.

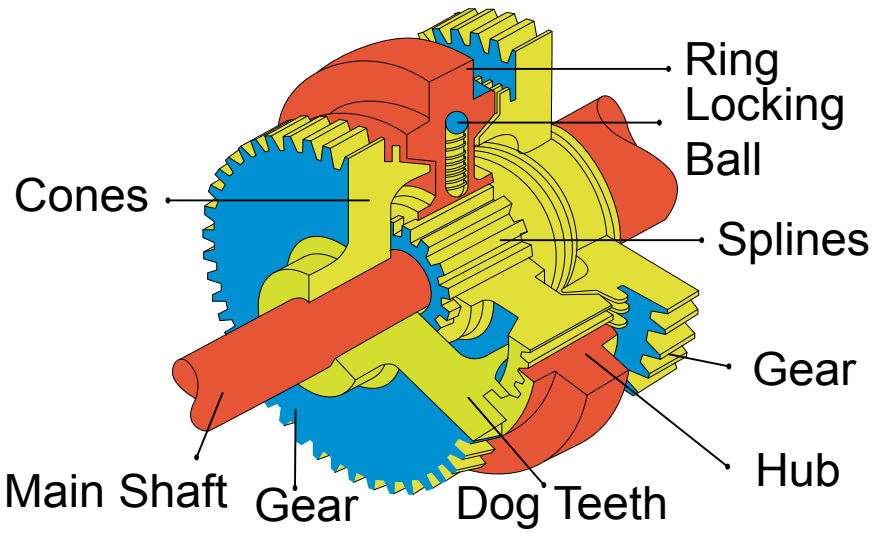
1.3.2. L'anneau de synchronisation (collier)

Le système d'anneau de synchronisation, qui est parfois appelé anneau bloquant ou verrou d'inertie est un développement ultérieur du système et est conçu pour surmonter le principal inconvénient de la conception initiale - le bruit ou plantage des vitesses en raison d'un changement rapide.

Deux caractéristiques principales sont incorporées dans le système d'anneau de synchronisation :

1. La pression ou la charge du cône est proportionnelle à la vitesse du changement.
2. Un dispositif d'interception empêche le changement de vitesse positif jusqu'à ce que la vitesse des deux composants soit égale.

Anneau de synchronisation

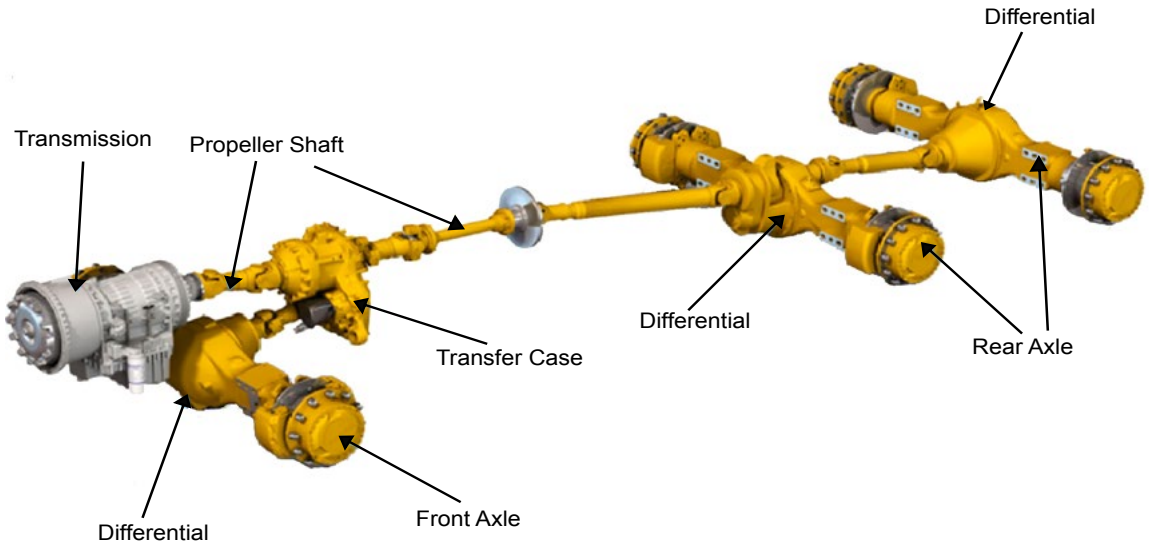


Des constructions différentes sont utilisées pour produire ces fonctionnalités. Trois plaques de déplacement à ressort, qui poussent à partir du concentrateur dans une rainure du manchon, et s'insèrent dans des fentes du cône de synchronisation. Chaque emplacement est plus large que la plaque ; l'écartement sur chaque côté est égal à la moitié de la hauteur des cannelures sur le manchon. Le cône de synchronisation composé de bronze phosphoreux et des dents biseautées à l'extérieur, d'une hauteur similaire à celle des dents de l'embrayage à crabot sur le manchon de la vitesse.

Le mouvement du levier de vitesse déplacera le manchon et les plaques glissantes vers la vitesse sélectionnée. Les plaques pousseront le cône de synchronisation qui rentrera en contact avec le cône de vitesse, et la différence de vitesse permettra au cône de vitesse de transporter le cône de synchronisation vers la limite contrôlée par la plaque (mouvement de demi-cannelure). Une pression supplémentaire sur le levier aura tendance à déplacer le manchon vers les dents de l'embrayage à crabot, mais si les deux composants ont des vitesses différentes, les dents de l'embrayage à crabot sur le cône de synchronisation bloqueront le passage du manchon. Dans cette position, les cannelures sur le manchon touchent les dents sur l'anneau de synchronisation. Par conséquent, si une plus grande force est appliquée au levier, une plus grande force agira entre les cônes et la synchronisation sera réalisée dans un laps de temps plus court.

Au fur et à mesure que les vitesses deviennent égales, les plaques prennent une position centrale dans les fentes de l'anneau, et toutes les dents sont alignées. Par conséquent, le manchon peut maintenant dépasser le cône de synchronisation et s'engager positivement avec les dents de l'embrayage à crabot.

2. Boîtes de vitesse d'un véhicule à propulsion



2.1. Quatre vitesses et marche arrière

La disposition de l'engrenage d'une boite à quatre vitesses et d'une marche arrière d'un véhicule à traction arrière :

Cette boîte de vitesses utilise un anneau de synchronisation sur toutes les vitesses en marche avant.

Pour simplifier la construction, un arrangement à engrenage coulissant est utilisé pour la marche arrière.

Ce type de boite utilise un moyeu pour serrer les cônes de synchronisation. Il utilise trois billes à ressort dans le moyeu pour verrouiller au début le moyeu à la bague du percuteur et trois tenons sur la bague synchro, qui s'insèrent dans les fentes du moyeu et lui donne son oscillation. On obtient le mouvement circonférentiel de la bague par rapport au moyeu en laissant un interstice entre les côtés des tenons et le moyeu. Cela permet à la bague de bouger d'une demie cannelure de chaque côté, et de bloquer le passage de la bague du percuteur lorsqu'elle tente de s'engager avec les crabots sur l'arbre.

Dans ce schéma les roulements à aiguille libres sont utilisés pour soutenir les pignons sur arbres intermédiaires. Ce mode de roulement est courant désormais, car outre la faible friction, la rigidité supplémentaire des roulements à aiguille fournit à l'arbre un engrenage plus précis. On obtient, en conséquence, un bruit réduit au chargement de la boite de vitesse. Cette architecture rend le réassemblage de la boite plus difficile, mais avec l'aide d'un arbre intermédiaire factice d'une longueur égale à celle du baladeur, la tâche devient plus facile.

Chaque boîte de vitesses doit pouvoir empêcher toute fuite d'huile.

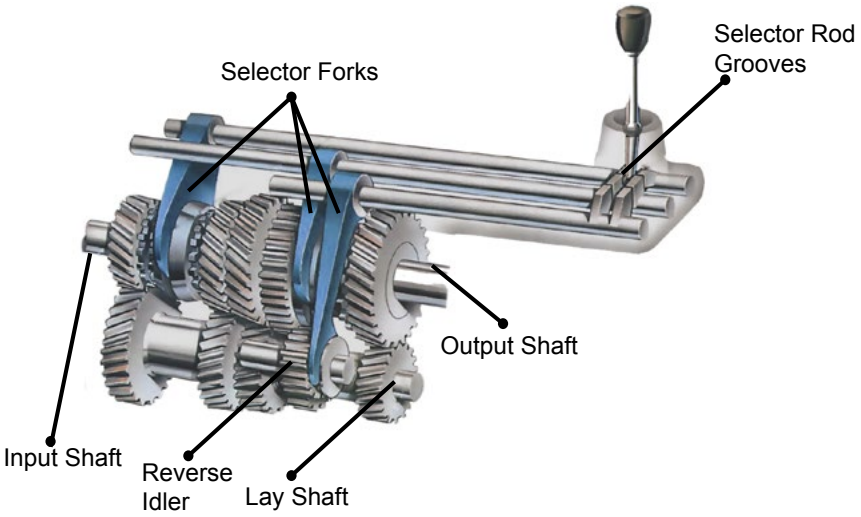
Pour le raccordement, un joint d'étanchéité en papier ou, pour les surfaces en métal, l'application d'un joint silicone bleu ou noir d'étanchéité est utilisé.

Les fuites le long des arbres et à travers les roulements sont empêchées grâce à des bagues d'étanchéité. Elles sont placées sur le côté embrayage du palier d'arbre primaire et au niveau de l'extrémité du joint universel du boîtier d'engrenage.

Le tachymètre est entrainé par un engrenage hélicoïdal à partir de l'arbre principal. Une vis en acier, montée sur l'arbre principal dans l'extension du logement de la boite de vitesse, entraine généralement un pignon moulée en plastique, raccordé soit à un câble flexible, soit à un transducteur

2.2. Le mécanisme de changement de vitesses

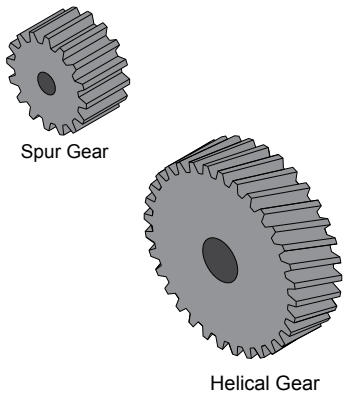
En raison de la position assise, tous les sélecteurs de boîte de vitesses sont situés à l'avant du conducteur. Dans le passé, un long levier était utilisé, mais aujourd'hui, la rigidité d'un levier court et d'un mécanisme de contrôle à distance permet au conducteur de sélectionner les vitesses avec plus de précision.



2.3. Cinq vitesses et marche arrière

Au cours des dernières années, les gains en consommation de carburant grâce à l'utilisation d'un overdrive, a fait de la boîte à cinq vitesses un trait commun des camions modernes. Le terme overdrive signifie que l'arbre de transmission tourne plus vite que le moteur, de sorte que dans une boite à cinq vitesses, la quatrième vitesse est la 'vitesse de pointe' normale, ou vitesse prise directe (direct drive).

Les engrenages hélicoïdaux sont utilisés dans tout le processus et chaque engrenage sur l'arbre principal est soutenu par des roulements à aiguilles ; ceci réduit le bruit et améliore l'efficacité. Le carter de boite, qui est nervuré afin d'éviter la distorsion sous la charge, est en alliage d'aluminium injecté.



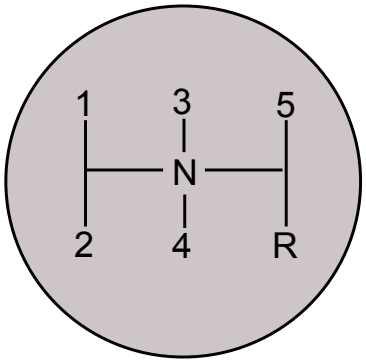
Les procédés de fabrication contrôlés par ordinateur ont permis, ces dernières années, de produire des engrenages avec une grande précision, ce qui réduit les tolérances et, partant, conduit à un fonctionnement plus silencieux. Cette évolution permet, en outre, l'utilisation d'huiles de faible viscosité, de sorte qu'en consommant moins d'énergie pour faire tourner l'arbre intermédiaire, l'efficacité de la boite de vitesses s'en trouve améliorée. Dans la BDV illustrée, on recommande une huile très mince semblable à celle utilisée dans les transmissions automatiques.

Comme dans beaucoup d'autres boites de vitesses, la cinquième vitesse de la boite illustrée est située à l'arrière de la BDV.

2.4. Détente marche arrière

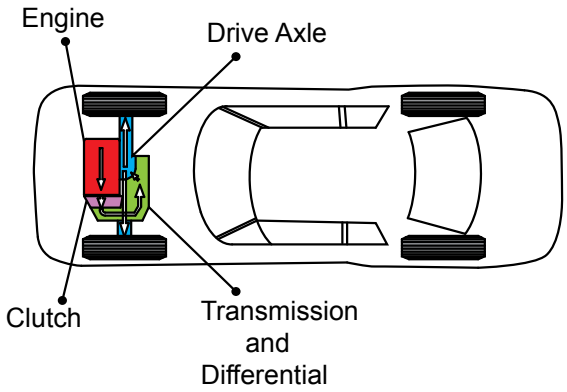
La boite de vitesse est dotée d'un système de 'blocage' pour empêcher l'engagement accidentel de la marche arrière pendant l'avance du véhicule. Le moyen le plus simple est le cran à ressort de rappel ; celui-ci doit être compensé par le conducteur avant de déplacer le levier en position 'marche arrière'. Pour dépasser ce ressort, le conducteur doit soit relâcher le levier ou exercer une pression supplémentaire dessus.

Les boites à cinq vitesses utilisent parfois un type de mouvement de levier (type grille) en vertu duquel la cinquième vitesse et la marche arrière sont sur le même plan, c.-à-d. que la cinquième et le recul s'obtiennent par le mouvement avant et arrière respectif du levier. Dans ces cas, on utilise un verrou positif de barrière.



3. Boîtes de vitesse d'un véhicule à traction avant

Pour les véhicules à traction avant, le mode le plus courant se compose d'un moteur transversal assorti d'un ensemble de transmission. Cette boite de vitesse compacte exige normale des arbres d'entrée et de sortie à la même extrémité ; d'où l'utilisation d'un dispositif à arbre double.

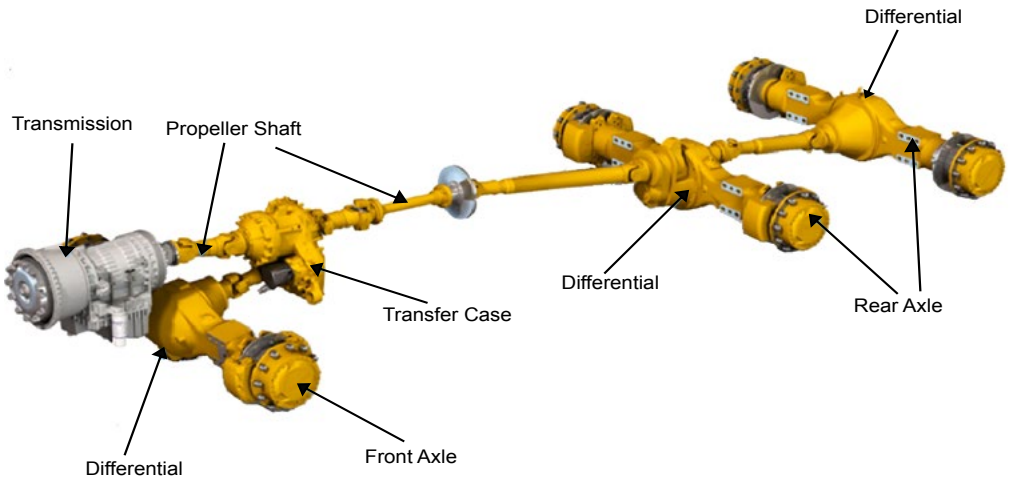


Etant donné qu'un système d'engrenage à simple réduction est utilisé et non à double réduction, un arbre intermédiaire n'est plus nécessaire. Dans cette conception, chaque engrenage est soutenu par une bague de roulement à l'extrémité de l'entrainement ; l'autre extrémité est dotée d'une bague de rouleaux pour soutenir la charge radiale qui est beaucoup plus lourde. La charge axiale de chacun des engrenages est assumée par un roulement à billes de type radial, positionnant ainsi l'engrenage et maintenant son alignement, tout en absorbant la poussée des engrenages hélicoïdaux. Dans une configuration à deux arbres, le roulement du tenon n'est plus nécessaire avec une BDV à arbre intermédiaire. Cela permet d'obtenir un train d'engrenages plus rigide et une boite de vitesses plus silencieuse. De meilleurs résultats peuvent encore être obtenus en utilisant des roulements à aiguille pour soutenir les engrenages des arbres.

3.1. Mécanisme de changement de vitesse

Etant donné la grande flexibilité d'un long levier, il est essentiel de disposer d'un mécanisme ayant une certaine forme de commande à distance. Le lien utilisé doit être en mesure de transmettre deux mouvements. Le premier est le mouvement longitudinal du levier lorsqu'il se déplace, par exemple, de la première à la deuxième vitesse. Le second, est transversal, et correspond au besoin de sélection d'une autre paire de vitesses. Pendant l'opération et en raison de la réaction du couple, le mouvement du moteur est compensé soit au moyen d'un joint universel ou en se fiant à la flexibilité inhérente du câble.

Configuration des voitures à quatre roues motrices



4. Le fonctionnement du convertisseur

4.1. Introduction

Le convertisseur de couple est une forme de coupleur hydraulique utilisé pour transmettre la puissance du moteur à l'arbre d'entrée de la transmission. Les convertisseurs de couple utilisent du liquide (huile) pour connecter le volant du moteur hydrauliquement à l'arbre d'entrée de la transmission.

A moins que la machine soit équipée d'un verrouillage d'embrayage, il n'y a pas de connexion directe entre le moteur et la transmission, si ce n'est la fluidité de l'entrainement du mécanisme.

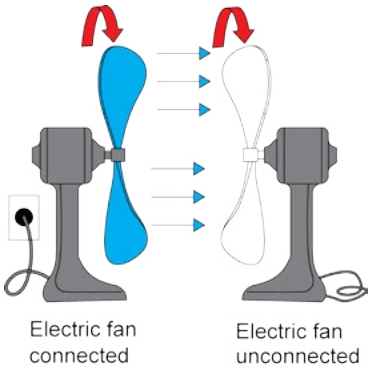
Les mécanismes hydrauliques utilisés pour transmettre la puissance

- **Les coupleurs hydrauliques,**
- **Le convertisseur de couple,**
- **Le diviseur de couple.**

Ce sont tous des dispositifs d'entraînement de liquide qui utilisent l'énergie d'un fluide en mouvement pour transmettre la puissance.
Le convertisseur de couple a commencé sa «carrière» en tant que coupleur hydraulique. (convertisseur de couple sans stator).

4.2. Le coupleur hydraulique

Fonctionnement d'un coupleur hydraulique peut être comparé à l'action de deux ventilateurs électriques placés l'un en face de l'autre et proche l'un de l'autre.

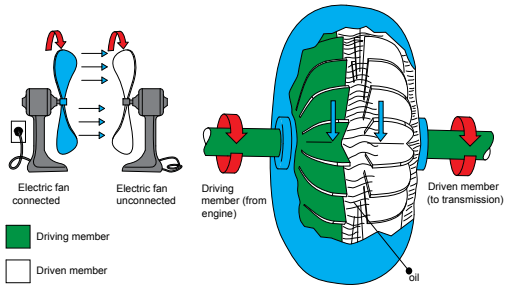


Si un ventilateur tourne l'énergie de l'air en mouvement entraîne le fonctionnement de l'autre ventilateur.

Dans un coupleur hydraulique, le fluide agit comme de l'air entre les deux ventilateurs. Tout comme avec les ventilateurs, la puissance de sortie du fluide du composant moteur agit comme la puissance d'entrée pour le composant entraîné. Le liquide est plus lourd que l'air, il transmet donc plus d'énergie.
La puissance mécanique du moteur est convertie en puissance liquide et la puissance liquide est reconvertie en puissance mécanique pour faire tourner l'arbre de sortie.

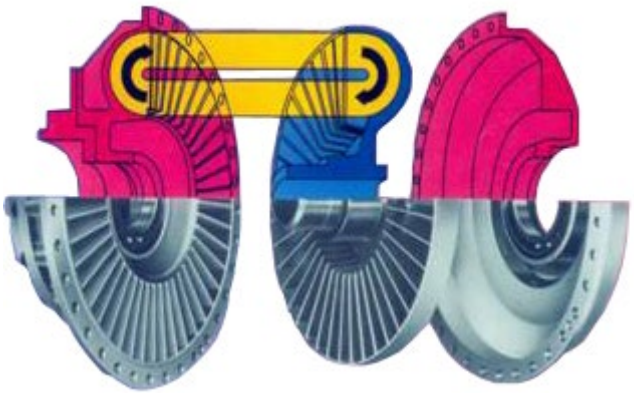
4.2.1. La roue et la turbine

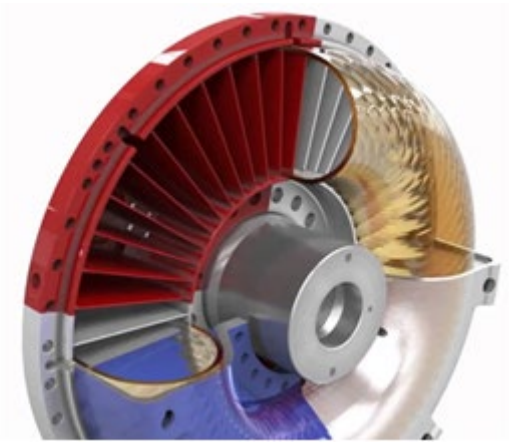
Un certain nombre de lames droites et radiales s'étendent de l'intérieur vers l'extérieur. Les lames dans le cadre du côté droit font partie du boîtier. Cette partie est appelée la roue ou la pompe. Les lames dans le cadre du côté gauche font partie de la turbine.



4.2.2. Section transversale de turbine

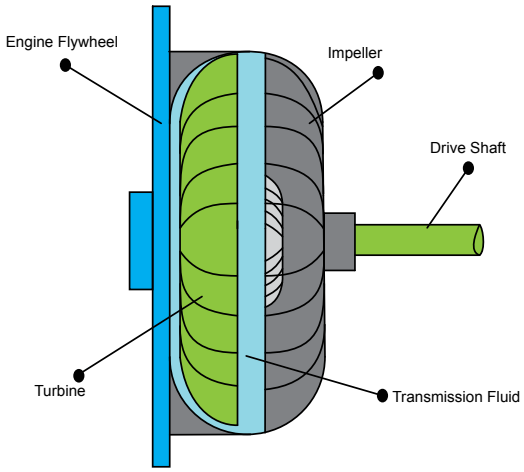
La turbine et la roue ont un profil arrondi. Lorsque la turbine est coupée le long de l'axe, sa section transversale ressemblera à l'illustration sur la droite.





4.2.3. Débit d'huile du coupleur hydraulique

L'arbre de la pompe se raccorde au volant-moteur. L'arbre de sortie de la turbine se connecte à l'unité de propulsion. La roue et la turbine tournent toutes les deux dans le boîtier. Elles ne sont pas du tout directement connectées ensemble. Le boîtier est rempli d'huile.



Lorsque le moteur démarre, la roue commence à tourner. Alors que la roue tourne, elle projette l'huile à partir du centre vers le bord extérieur. La forme de la roue et la force centrifuge déplacent l'huile vers l'extérieur et partout dans la turbine. L'huile touche les plaques de la turbine. L'énergie de l'huile en mouvement est absorbée par la turbine et commence à la faire tourner. Lorsque l'huile touche la turbine, l'huile ralentit et s'écoule vers l'intérieur, vers le centre pour entrer à nouveau dans la roue.

Lorsque l'huile sort de la turbine, elle circule dans une direction opposée du flux d'huile dans la roue et a tendance à s'opposer à la roue. Ceci, nous l'apprendrons plus tard, est une différence importante entre le coupleur hydraulique et le convertisseur de couple.

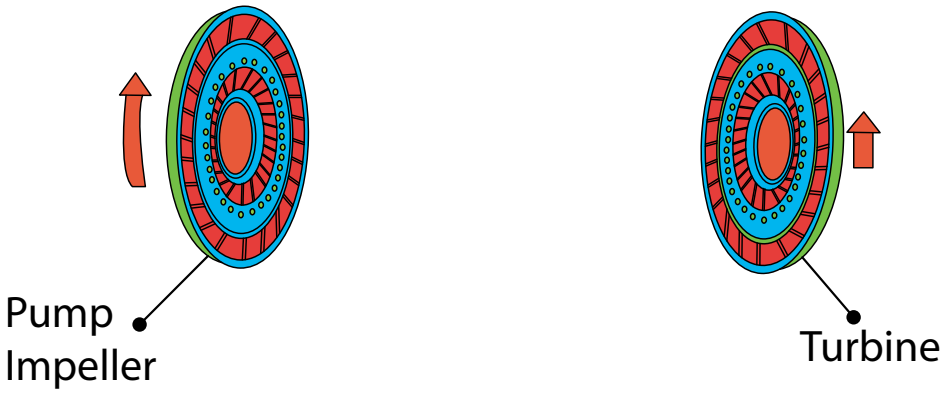
4.2.3.1. Débit d'huile rotative

Le débit rotatif survient lorsque l'huile se déplace avec la roue et la turbine dans le sens de rotation. Cela se produit lorsque la roue et la turbine se déplacent pratiquement au même régime, par exemple lorsque la machine est en « cabotage » ou lorsqu'un bulldozer pousse avec peu ou pas de charge. L'huile est projetée vers l'extérieur par la force centrifuge dans la roue et la turbine. L'huile suit simplement la roue et la turbine.

Avec le débit d'huile rotative, il n'y a pas de «patinage» minimum ou de différence de vitesse de rotation entre la roue et la turbine. Le couple de sortie de la turbine est zéro.

4.2.3.2. Débit d'huile en tourbillon

Le débit d'huile en tourbillon, survient lorsque l'huile se déplace vers l'extérieur par la roue, à travers la turbine et vers l'intérieur à travers la turbine vers la roue. La roue tourne avec le moteur. La turbine est calée ou maintenue stationnaire par une charge. L'huile qui se déplace et frappe les lames de la turbine, limite le mouvement d'huile dans le sens de rotation avec la roue. L'acheminement du débit d'huile ressemble à une spirale.



Lorsque nous avons un flux en tourbillon, il y a un «patinage» maximum entre la roue et la turbine. Le couple de sortie est plus grand lorsque la turbine est calée.

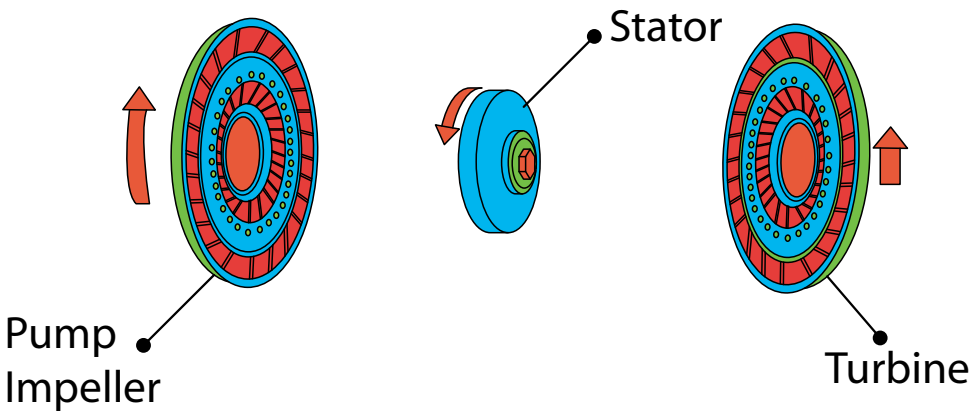
Dans des conditions normales de fonctionnement, le débit d'huile dans un coupleur hydraulique combinera les flux rotatifs et en tourbillon. Le chemin du débit d'huile imaginaire sera comme une bobine de fil, qui se desserre ou devient plus dense en fonction de la quantité ou du degré de «patinage» entre la roue et la turbine.

Dans un coupleur hydraulique, le couple d'entrée est le même que le couple de sortie. Le

coupleur hydraulique transmet la puissance, mais ne multipliera pas le couple. Alors que l'huile circule de la roue vers la turbine dans un coupleur hydraulique, l'huile ne se déplace pas dans la même direction que la turbine. Cela produit une charge inutile sur le moteur. Un stator est nécessaire pour multiplier le couple.

4.3. Le convertisseur de couple

Un convertisseur de couple est un coupleur hydraulique avec un stator en plus.



Tout comme le coupleur hydraulique, le convertisseur de couple ,relie le moteur à la transmission et transmet la puissance nécessaire pour déplacer la machine.

Contrairement au coupleur hydraulique, le convertisseur de couple peut également multiplier le couple du moteur, ce qui augmente le couple à la transmission. Le convertisseur de couple utilise un stator, qui redirige le fluide vers la pompe dans le sens de rotation. La force de l'huile du stator augmente la quantité de couple transféré de la pompe vers la turbine créant la multiplication du couple.

Les composants de base du convertisseur de couple sont un boîtier de rotation, la pompe, la turbine, le stator et l'arbre de sortie.

4.3.1. Composants du convertisseur de couple

Le carter rotatif et le rotor tournent avec le moteur, la turbine tourne l'arbre de sortie, et le stator est fixé et maintenu stationnaire par le carter du convertisseur de couple.

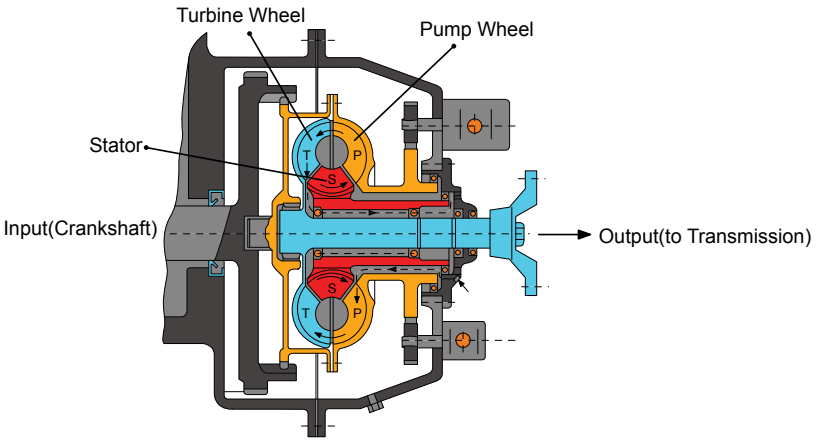
L'huile s'écoule vers le haut à partir de la pompe de rotation, autour de l'intérieur du boîtier et vers le bas en passant par la turbine. À partir de la turbine, l'huile est redirigée vers la pompe par le stator.

Le boîtier de rotation est connecté au volant-moteur et entoure tout le convertisseur de couple. La soupape de sûreté d'entrée et de sortie contrôle la quantité de pression d'huile

contenue dans le convertisseur de couple.

A) La pompe force l'huile contre la turbine

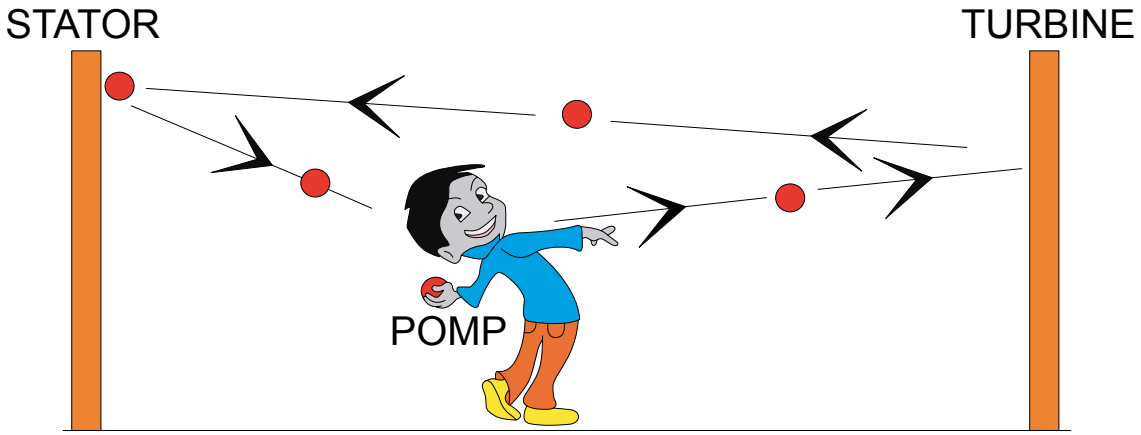
La pompe est le membre de propulsion du convertisseur de couple. Il s'emboite sur le volant-moteur et tourne au régime moteur. La pompe contient des lames qui poussent l'huile contre les lames de la turbine. Alors qu'elle tourne, la pompe jette l'huile à l'extérieur vers l'intérieur du boîtier de rotation. L'huile va dans le sens de rotation lorsqu'elle sort des lames de la pompe.



La turbine est le membre de propulsion du convertisseur de couple avec des pales qui reçoivent le débit d'huile de la pompe. L'impact de l'huile de la pompe fait tourner les pales de la turbine. La turbine fait tourner l'arbre de sortie (qui s'emboite sur la turbine). L'huile va dans la direction opposée du moteur/volant-moteur lorsqu'elle se détache des ailettes de la turbine.

B) Le stator redirige l'huile vers la pompe

Le stator est l'élément fixe avec les pales qui multiplient la puissance en redirigeant le flux d'huile de la turbine vers la pompe. Le but du stator est de modifier la direction du flux d'huile entre la turbine et la pompe.



Le changement de direction augmentera le rythme de flux de l'huile, augmentant ainsi la capacité de couple du convertisseur. Le stator est connecté au boîtier du convertisseur de couple. Le rythme de flux de l'huile va dans la même direction que celle de la pompe. L'huile touche l'arrière des lames de la pompe et la fait tourner. Ceci est appelé la réaction.

4.3.2. Principes du convertisseur de couple

Le convertisseur de couple absorbe les chocs. La viscosité de l'huile du convertisseur de couple est un bon moyen de transmission de puissance. L'huile est nécessaire pour réduire la cavitation, pour dissiper la chaleur, et pour lubrifier les composants du convertisseur de couple.

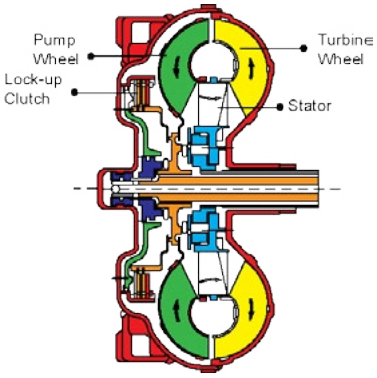
Le convertisseur de couple s'ajuste à la charge de la machine. Sous une charge élevée, la roue tourne plus rapidement que la turbine pour augmenter le couple et réduire la vitesse. Avec une petite charge sur la machine, la pompe et la turbine tournent presque à la même vitesse. La vitesse augmente et le couple diminue. En cas de calage, la turbine est stationnaire et la pompe tourne. On atteint un couple maximal et la turbine s'arrête.

4.3.3. Les avantages du convertisseur de couple

Le convertisseur de couple multiplie le couple lorsque c'est nécessaire pour la charge et empêche le moteur de caler durant les applications à charge élevée. Le convertisseur de couple permet également au circuit hydraulique de la machine de continuer à fonctionner et permet l'utilisation d'une transmission à changement de vitesse.

4.3.4. Verrouillage de l'embrayage du convertisseur de couple

Certaines machines ont besoin de transmission
à convertisseur de couple dans certaines conditions et de transmission directe dans d'autres conditions.



L'embrayage en prise directe du convertisseur de couple fournit une connexion directe entre la transmission et le moteur.

Il fonctionne également de la même façon qu'un convertisseur de couple classique lorsqu'il n'est pas en mode de verrouillage.

L'embrayage en prise directe est connecté au boîtier du convertisseur de couple.
Lorsque l'embrayage en prise directe est engagé, l'embrayage se connecte au boîtier rotatif directement sur l'arbre de sortie et la turbine. L'arbre de sortie tourne au régime moteur. La

transmission directe fournit la transmission la plus efficace à grande vitesse. L'embrayage de verrouillage connecte la turbine au boîtier rotatif. Le boîtier rotatif tourne à la même vitesse que celle de la pompe. L'embrayage en prise directe est enclenché automatiquement à chaque fois que les conditions de fonctionnement de la machine nécessitent une transmission directe.

Pour améliorer davantage l'efficacité des machines équipées de convertisseurs de couple, différents convertisseurs de couple ont été conçus:

- Convertisseur de couple à embrayage de modulation
- Convertisseur de couple à capacité variable
- Diviseur de couple

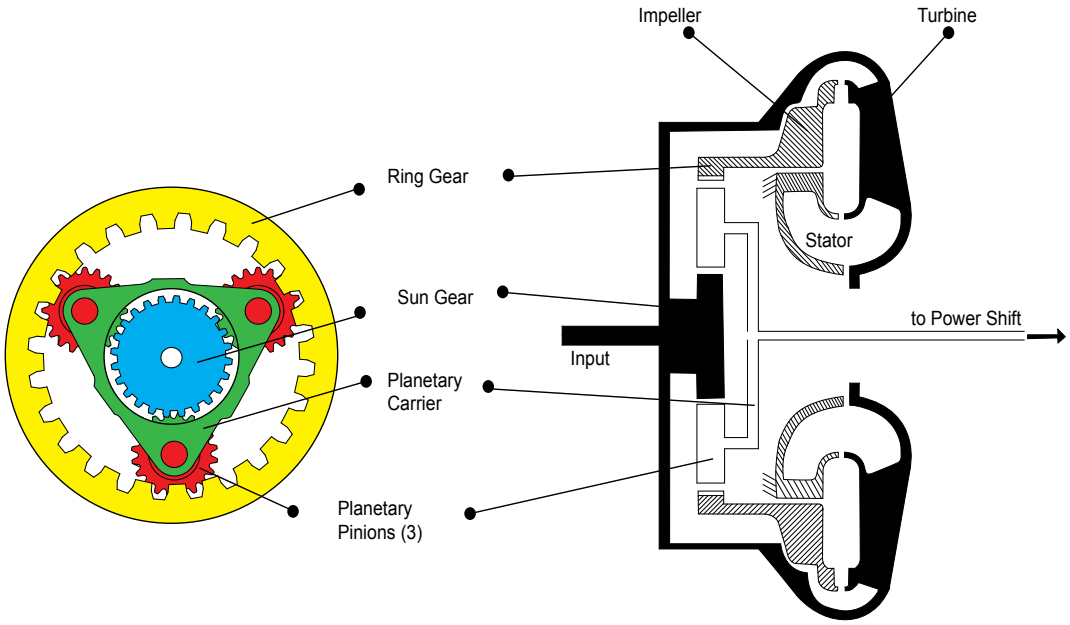
4.4. Le diviseur de couple

Certains bulldozers sont équipés de coupleurs différentiels

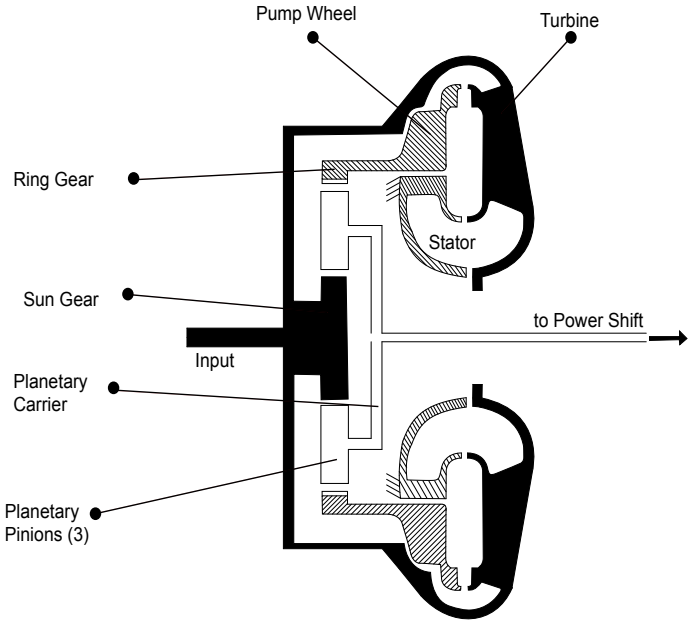
But : Le couple moteur est transmis à l'arbre de sortie sur deux canaux ;

a) Quand un niveleur creuse, la transmission du convertisseur de couple fournit automatiquement la multiplication de couple élevée nécessaire pour répondre à l'accroissement de la charge.

b) Lorsqu'une charge est bougée ou lorsque la machine bouge à vide, la transmission directe est plus efficace.



Fonctionnement: Notez que le volant-moteur entraîne le planétaire et la pompe.



La turbine s'emboite et propulse la couronne de train planétaire. L'arbre de sortie s'emboite au porte-satellite et c'est ce dernier qui entraîne l'arbre de sortie. L'engrenage planétaire est entraîné par la couronne de train planétaire et le planétaire. Dans le coupleur différentiel, le couple moteur est transmis à l'arbre de sortie sur deux canaux. D'où son nom «coupleur différentiel».

Un des canaux se situe à travers la connexion mécanique directe au planétaire. L'autre canal se situe à travers le convertisseur de couple à la couronne de train planétaire. En raison de l'amplitude de la couronne de train planétaire, une grande partie de la répartition du couple passe par le convertisseur de couple et la couronne de train planétaire.
En supposant que la machine est à vide. Le volant-moteur entraîne directement la pompe et le planétaire. Si nous supposons que la pompe et la turbine tournent à la même vitesse, la couronne du train planétaire et le planétaire tournent aussi à la même vitesse. Si la machine est à vide, l'arbre de sortie n'est pas restreint et toutes les pièces du planétaire tournent dans la même direction et à la même vitesse.

Lors de l'augmentation de la charge, l'arbre de sortie et le porte-satellites ralentissent, mais le planétaire continue de tourner au régime moteur. Cette condition force l'engrenage planétaire à tourner sur leurs arbres au lieu de tourner autour du planétaire. Ceci ralentit la couronne de train planétaire, et lorsque l'arbre de sortie est suffisamment ralenti la couronne de train planétaire tournera en sens inverse. Rappelez-vous, la couronne de train planétaire et la turbine ne forment qu'une seule unité. Lorsque l'arbre de sortie et le porte-satellites ralentissent le rapport de vitesse entre l'engrenage planétaire et la couronne de train planétaire provoque un ralentissement rapide de la rotation de la couronne de train planétaire. Si le ralentissement est suffisamment rapide, le sens de la couronne de train planétaire et de la turbine peut être inversé.

Parce que la pompe est entraînée par le volant-moteur au régime moteur, lorsque la couronne de train planétaire et la turbine ralentissent, l'huile de la pompe actionne la turbine. En raison de la différence de vitesse entre la pompe et la turbine il y a multiplication du couple et la turbine transmet le couple par le biais de l'engrenage planétaire et du porte-satellites.

En raison du rapport d'engrenage dans le planétaire, la couronne de train planétaire et la turbine ralentissent beaucoup plus vite que l'arbre de sortie. Cela signifie que la prise d'une charge permet une accélération plus rapide de la multiplication du couple que si seulement un convertisseur de couple était utilisé.

Transmission à changement de puissance
Arbre intermédiaire et engrenages planétaires
Transmission entièrement automatique

Si la transmission est entièrement automatique, le convertisseur de couple hydrodynamique est suivi d'un train intermédiaire (épicyclique) planétaire. Les différents rapports d'engrenage sont automatiquement sélectionnés par une unité de commande électromécanique ou hydraulique en fonction de la charge du moteur et de la vitesse de déplacement.

Le mot «changement de vitesse » signifie «changer de vitesse alors que l'alimentation n'est pas interrompue».
L'embrayage n'est pas nécessaire, le changement de vitesse se fait automatiquement.

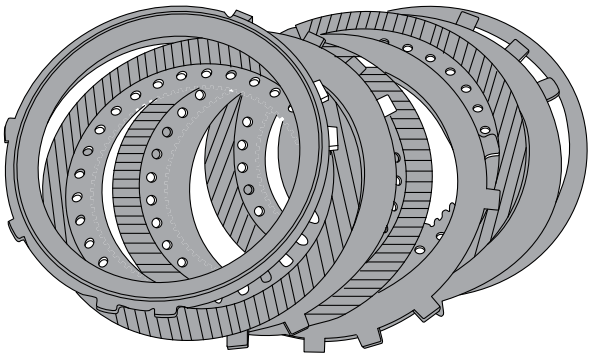
Les machines de construction et de terrassement sont équipées de transmissions de changement de vitesse automatique ou semi-automatique. L'utilisation d'une transmission à changement de vitesse avec un convertisseur de couple permettra un changement de vitesse en douceur. Dans ce module, nous discuterons de la différence entre un changement de puissance planétaire et un changement de vitesse à arbre intermédiaire.

La transmission hydraulique est un train d'engrenages qui peut être déplacé sans interrompre le débit de puissance. Les engrenages sont conservés en prise constante tandis que deux ou plusieurs embrayages hydrauliques contrôlent le flux d'énergie.

Les pièces fonctionnent ensemble de la façon suivante :

- Les embrayages hydrauliques contrôlent le flux d'alimentation
- Le train d'engrenage transmet le flux de puissance

Lorsque l'opérateur change de vitesse, l'huile hydraulique engage les embrayages qui transmettent la puissance à la vitesse sélectionnée. Un embrayage hydraulique est normalement composé de plaquettes et disques de frottement. L'embrayage est enclenché lorsque la pression de l'huile est envoyée pour pousser le piston contre les disques et les plaquettes, en les resserrant. Les disques s'emboitent au tambour, tandis que les plaquettes s'emboitent sur le moyeu. En conséquence, la puissance d'entrée à travers le tambour est envoyée à travers le moyeu vers la sortie par l'embrayage engagé.



L'embrayage est désenclenché lorsque la pression de l'huile est libérée et le piston se déplace dans le sens opposé du disque de l'embrayage. Cela libère les disques des plaquettes et le flux de puissance est arrêté. L'action du ressort ou de la pression d'huile de l'autre côté du piston peut être utilisée pour aider à libérer les disques et les plaquettes.

4.5. Les transmissions à arbre supplémentaire

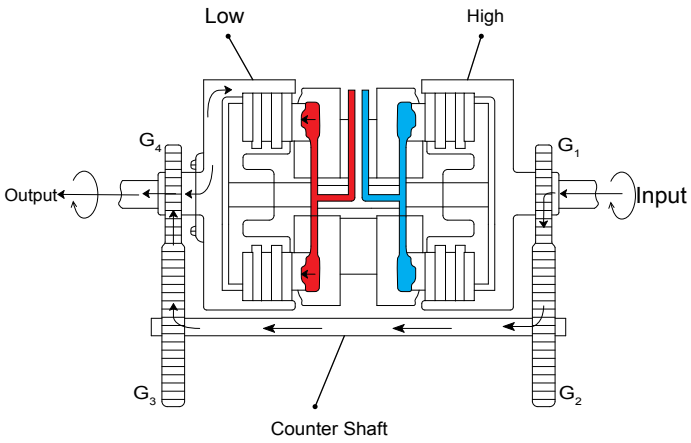
Les transmissions à arbre supplémentaire permettent à un ensemble d'engrenages d'être déplacé sans déranger les autres rapports d'engrenage dans la transmission.

A) Unité de vitesse haute-basse

La transmission à arbre supplémentaire la plus simple est l'unité de vitesse haute-basse.

Elle contient deux embrayages hydrauliques et quatre vitesses en prise.

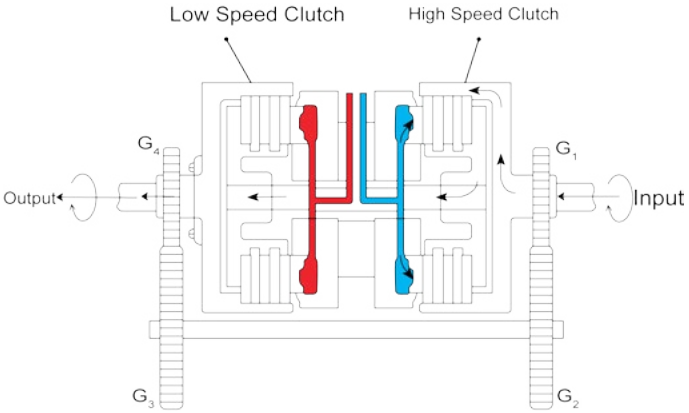
B) Vitesse basse



Chaque fois qu'un embrayage est enclenché, l'autre est désengagé.

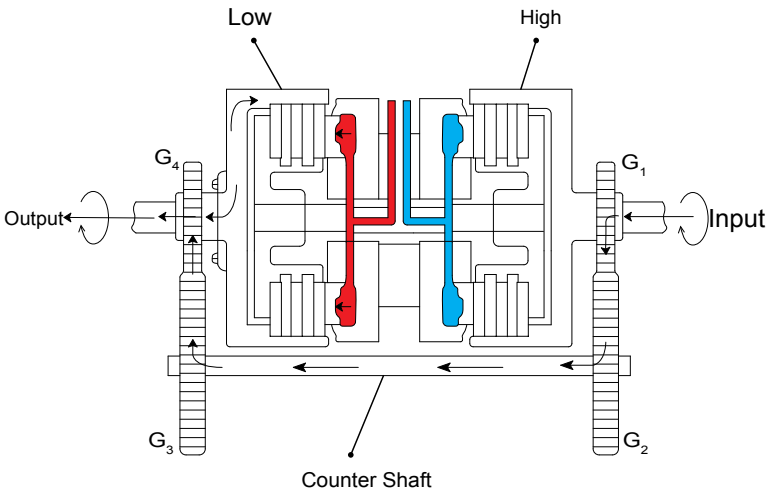
Les arbres d'entrée et de sortie ne sont pas connectés à moins que l'embrayage de l'entraînement haut ou bas ne soit engagé. Quand il est engagé, cet embrayage envoie de la puissance d'entrée du tambour extérieur via sur le moyeu intérieur.

C) Vitesse élevée



En conduite à vitesse élevée, les deux arbres s'entrelacent (transmission directe) et tournent à la même vitesse. Cela donne une vitesse élevée.

Pour une vitesse basse, l'embrayage de vitesse basse est enclenché. La vitesse **G1** est fixé sur l'arbre d'entrée de telle sorte que la puissance est acheminée à travers la vitesse d'accouplement **G2**, le long de l'arbre supplémentaire, et à travers les vitesses G3 et **G4** et du tambour de l'embrayage à vitesse basse. La puissance passe ensuite par l'embrayage engagé sur le moyeu intérieur qui est fixé à l'arbre de sortie.

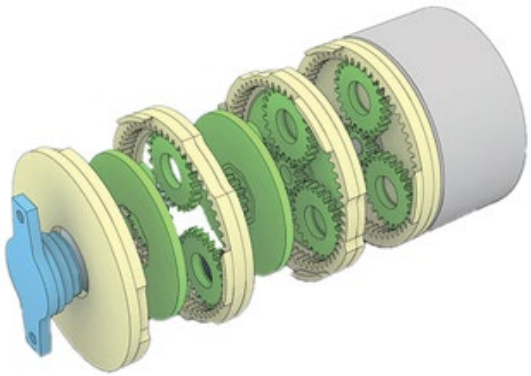


L'arbre de sortie tourne à une vitesse plus lente que l'arbre d'entrée, ce qui donne la vitesse basse. La vitesse réelle dépend du ratio des deux jeux d'engrenages.

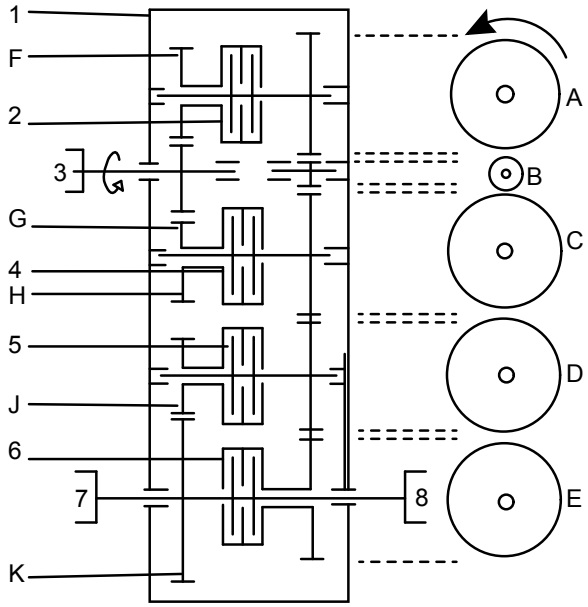
La sous multiplication signifie que l'arbre de sortie tourne plus lentement que l'arbre d'entrée. Dans certaines unités, l'arbre de sortie tourne plus vite que l'arbre d'entrée et c'est ce qui est appelé sous multiplication.

Transmission à arbre supplémentaire

Transmission planétaire



Les transmissions à arbres parallèles



Nr.	Description ;
1.	Boîtier de transmission
2.	Embrayage de marche arrière
3.	Arbre d'entrée d'un moteur diesel
4.	Embrayage de marche avant
5.	Embrayage de 1ère vitesse
6.	Embrayage de 2ème vitesse
7.	Arbre de transmission aux essieux et roues arrière
8.	Arbre de transmission aux essieux et roues avant

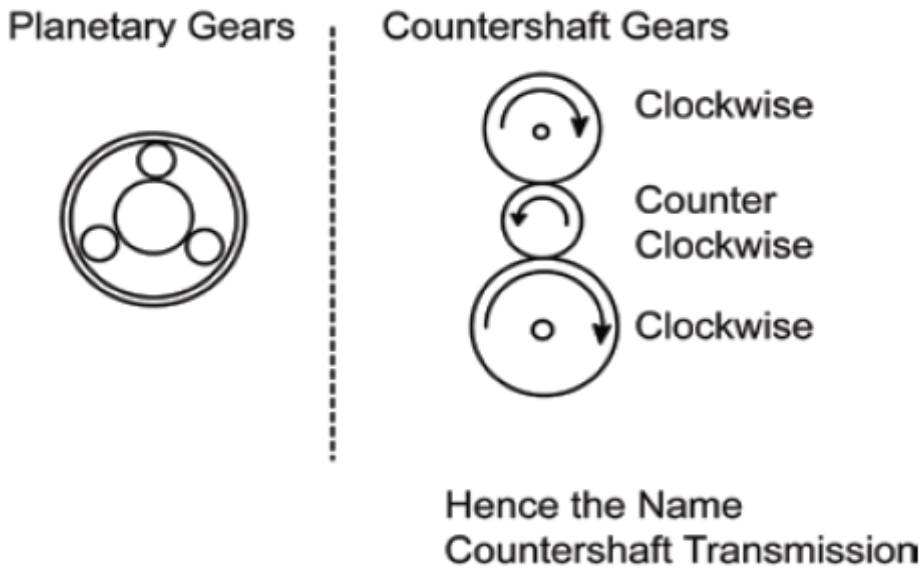
L'arbre supplémentaire, à savoir les arbres et les vitesses tournent dans le sens et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

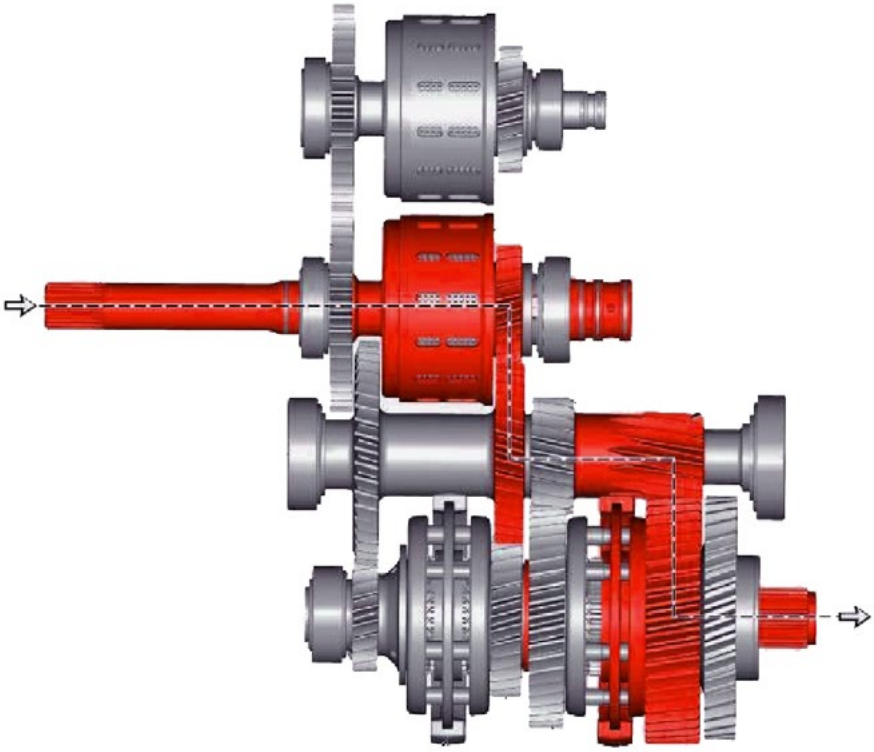
La photo ci-dessus représente un exemple typique de transmission, utilisée sur la plupart des chargeuses sur pneus.

Pour obtenir la première vitesse vers l'avant, l'embrayage multidisque **4** et l'embrayage de vitesse **5** doivent être verrouillés en même temps.

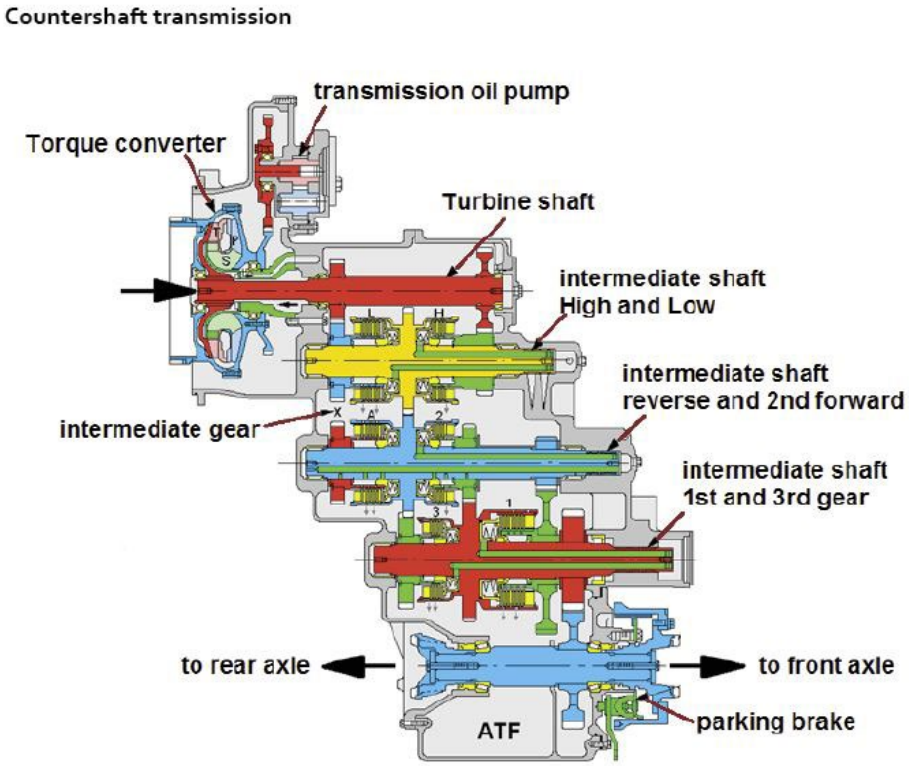
La pression d'huile est nécessaire pour verrouiller les embrayages.

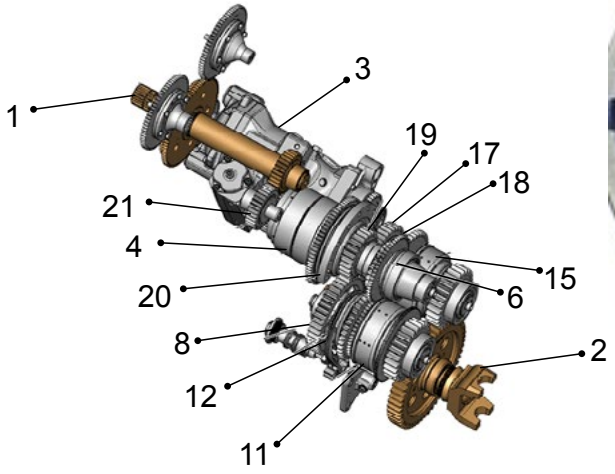
Des petits ressorts sont installés afin de libérer les plaquettes de frottement en métal lorsque la pression d'huile a été relâchée.

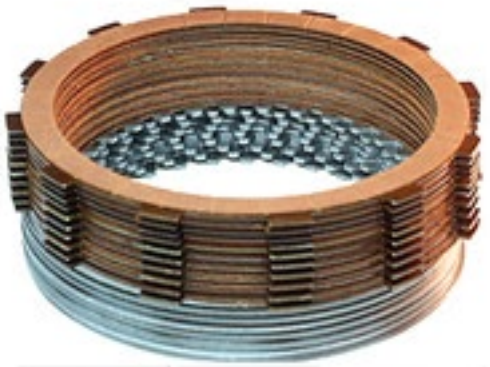

Planetary Gears
Countershaft Gears
Clockwise
Counter Clockwise
Clockwise
Hence the Name
Countershaft Transmission



La composition des transmissions à arbres supplémentaires

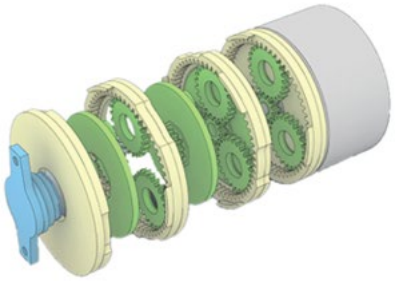


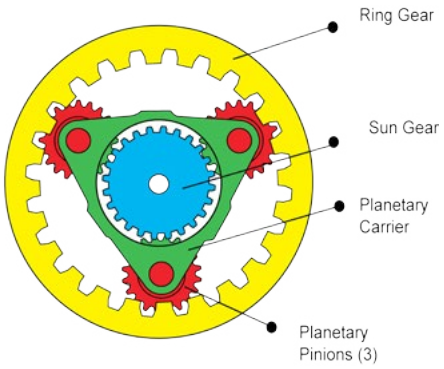




4.6. Les transmissions planétaires

Les engrenages planétaires fonctionnent de la même façon que notre système solaire. Les pignons ou engrenages planétaires tournent chacun sur leurs axes et au même moment tournent autour du planétaire. Cela ressemble fort à la terre et aux autres planètes tournant autour du soleil.





4.6.1. Les plages de vitesse des engrenages planétaires

	CONDUIRE	MAINTENU	ENTRAÎNE	DIRECTION	PLUS RAPIDE/PLUS LENT
1.	PLANÉTAIRE	COURONNE DU DÉMARREUR	TRAIN PLANÉTAIRE	SIMILAIRE	PLUS LENT
2.	COURONNE DU DÉMARREUR	PLANÉTAIRE	TRAIN PLANÉTAIRE	SIMILAIRE	PLUS LENT
3.	TRAIN PLANÉTAIRE	COURONNE DU DÉMARREUR	PLANÉTAIRE	SIMILAIRE	PLUS RAPIDE
4.	TRAIN PLANÉTAIRE	PLANÉTAIRE	COURONNE DU DÉMARREUR	SIMILAIRE	PLUS RAPIDE
5.	PLANÉTAIRE	TRAIN PLANÉTAIRE	COURONNE DU DÉMARREUR	EN FACE	PLUS LENT
6.	COURONNE DU DÉMARREUR	TRAIN PLANÉTAIRE	PLANÉTAIRE	EN FACE	PLUS RAPIDE
7.	2 éléments tournant ensemble			SIMILAIRE	SIMILAIRE

Dans un jeu d'engrenages planétaire, sept (7) gammes de vitesses peuvent être obtenues.

Toutefois, les transmissions à changement de vitesse utilisent toujours plusieurs ensembles d'engrenages planétaires. En outre, certaines transmissions à changement de vitesse ont un embrayage multidisque distinct pour la marche avant et la marche arrière. Ces embrayages sont généralement équipés de plaquettes d'embrayage en acier comparé aux embrayages de vitesse.

Lorsqu'utilisé avec embrayages et freins hydrauliques, le planétaire peut servir comme un coupleur direct, un engrenage de réduction ou une vitesse de marche arrière.

Un jeu d'engrenages planétaires permet aux rapports d'engrenages de changer sans avoir à enclencher ou désenclencher les vitesses. En conséquence, il y a peu ou pas d'interruption de transmission de puissance.
Le jeu d'engrenage planétaire est une unité compacte qui permet aux arbres d'entrée et de sortie de tourner sur le même axe et d'éliminer l'arbre supplémentaire. Dans les jeux planétaires, la charge d'engrenage est répartie sur plusieurs engrenages, diminuant ainsi la charge sur chaque dent.

Le système planétaire répartit aussi la charge uniformément autour de la circonférence du système, éliminant ainsi la contrainte latérale sur les arbres.

Les éléments de base du système planétaire sont :

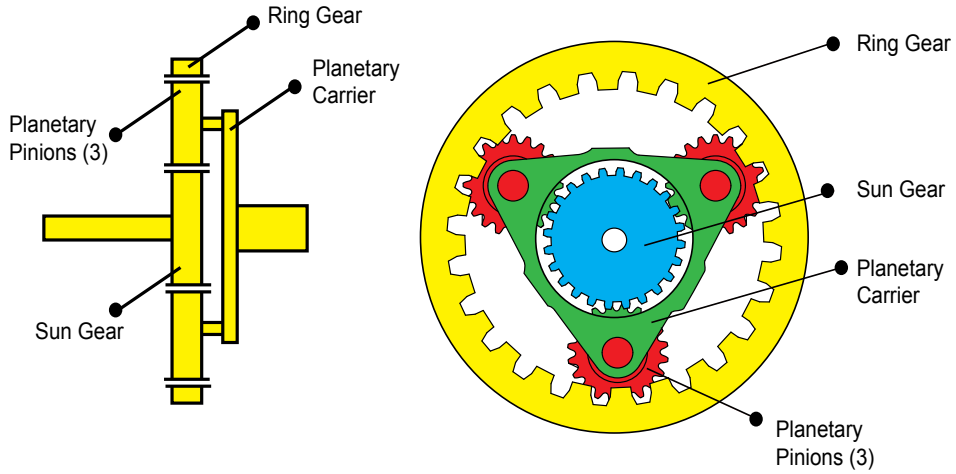
- Le planétaire, centre de système
- Les pignons planétaires et le boîtier, tournent autour du planétaire
- La couronne de train planétaire, entoure les autres pièces

Une transmission planétaire utilise les embrayages et freins hydrauliques pour la commande de la rotation des pièces planétaires.

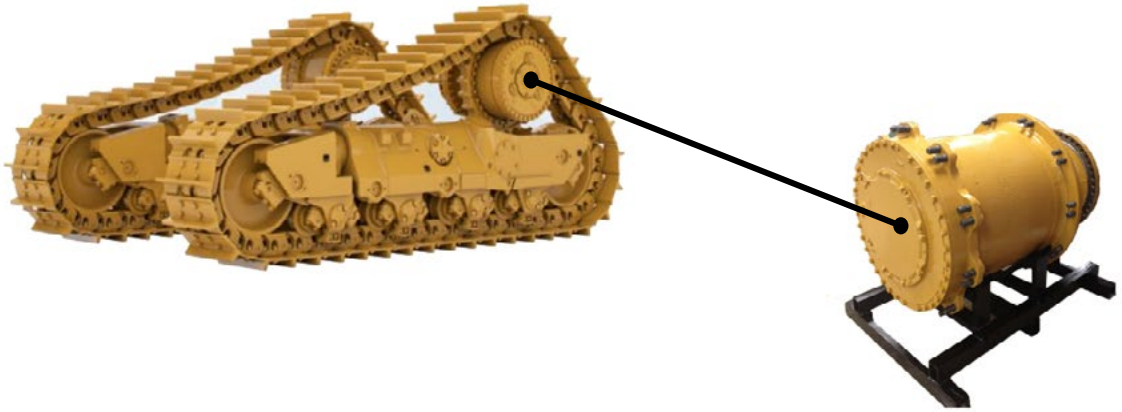
Les engrenages planétaires peuvent être simples ou composés d'unités.

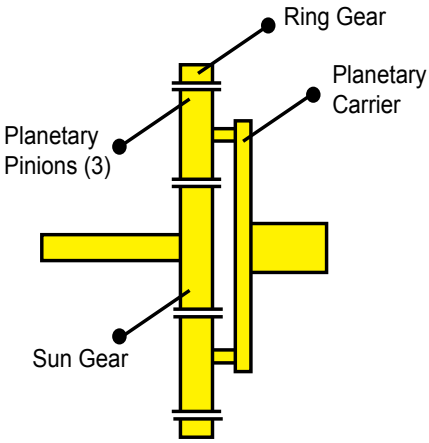
Les engrenages planétaires fonctionnent sur le principe que lorsque deux parties sont verrouillées ensemble, toutes les trois tournent ensemble.

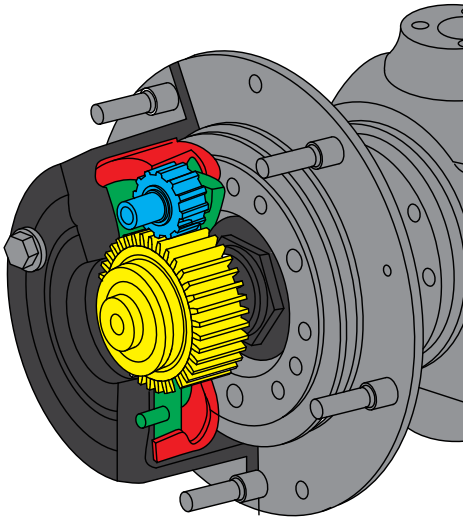
L'arbre du planétaire est la puissance d'entrée, alors que l'arbre de sortie est fixé au porte-satellites. Pour la vitesse élevée, l'embrayage de transmission directe s'enclenche et verrouille le planétaire au porte-satellites, ce qui fait tourner les arbres d'entrée et de sortie ensemble pour une transmission directe.



5. Réductions finales







5.1. La réduction finale planétaire

Le système de réduction à train planétaire est plus petit et plus compacte que celui de type pignon. Les systèmes planétaires sont aussi plus durables sous de lourdes charges car les charges de couple sont réparties plus uniformément sur plusieurs engrenages.

L'utilisation de systèmes d'engrenages planétaires est de plus en plus fréquente sur le matériel de terrassement et de construction, car la puissance du moteur et les charges de traction sont plus importantes.

L'ensemble du train planétaire peut être situé à côté du différentiel ou aux extrémités de la transmission finale (moyeu de roue/jante). Les deux types fonctionnent de la même manière.

Le fonctionnement :

Le système de réduction à train planétaire reçoit la puissance du moteur du différentiel via l'arbre de réduction finale et le planétaire. Le planétaire est une partie intégrante de l'arbre de réduction finale et ainsi tourne avec l'arbre. Le planétaire s'emboite aux pignons planétaires qui sont montés dans le porte-satellites.

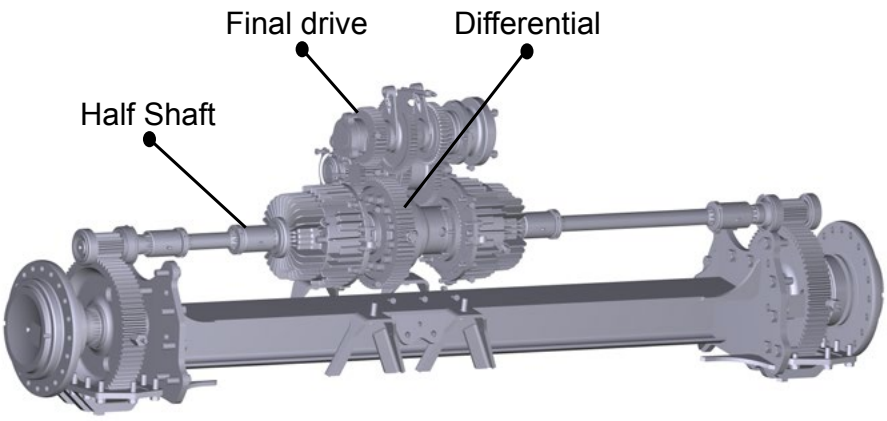
Lorsque le planétaire tourne, il force les pignons satellites à « tourner autour » de l'intérieur de la couronne de train planétaire, comme indiqué par les flèches. Le porte-satellite est contraint de tourner dans le même sens que le planétaire, délivrant ainsi la puissance du moteur aux roues motrices mais à une vitesse réduite et à un couple plus élevé.

L'arbre d'essieu est transporté par deux roulements coniques avec l'extrémité intérieure de l'arbre emboitée sur le porte-satellites. Les paliers sont positionnés à l'intérieur aux deux extrémités entre le boîtier d'essieu et l'arbre. Avec ce type d'essieu, l'arbre d'essieu supporte le poids de la machine et absorbe la fin de poussée, et transmet aussi le couple moteur.

5.1.1. Le planétaire monté à côté du différentiel

Avec ce planétaire, on a un essieu droit et aligné. Cela permet une large gamme de réglages de la table de roulement de la roue sur les tracteurs de ferme pour diverses largeurs de rangées de récolte.

En outre, tous les engrenages sont situés dans un boîtier compact.

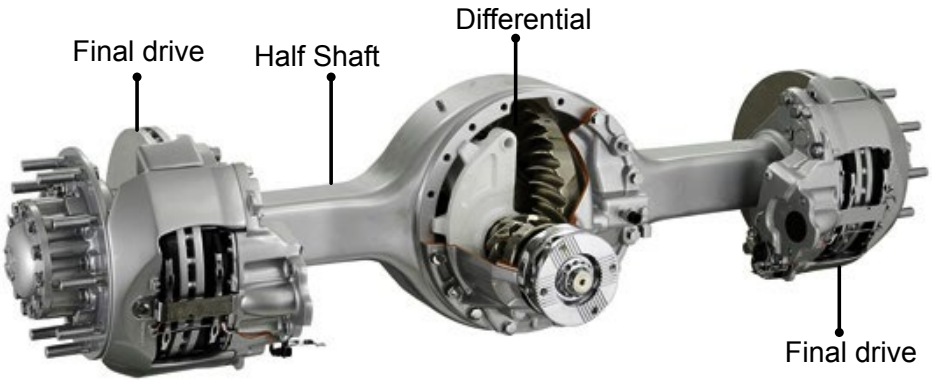


L'arbre d'essieu est transporté par deux roulements coniques avec l'extrémité intérieure de l'arbre emboitée sur le porte-satellites. Les paliers sont positionnés à l'intérieur aux deux extrémités entre le boîtier d'essieu et l'arbre.

Avec ce type d'essieu, l'arbre d'essieu supporte le poids du tracteur et absorbe la fin de poussée, et transmet aussi le couple moteur.

5.1.2. Le planétaire situé dans le moyeu de roue ou le pignon

Lorsque le planétaire est située aux extrémités de la transmission finale, le système de transmission finale est enfermé dans un boîtier rigide. Ce qui signifie que le boîtier de différentiel, les deux carters d'essieu et les boîtiers d'engrenage planétaires sont reliés pour former une seule pièce.



L'arbre d'essieu dans ce système est de type entièrement flottant décrit plus tôt. La seule différence est que le porte-satellites entraîne le moyeu de roue et pas la bride de l'arbre d'essieu.

Les avantages des «transmissions finales montées sur moyeu de roue» comparé aux «**transmissions finales montées sur différentiels**» sont :

- Un demi-arbre de taille plus petite (moins lourd) est nécessaire
- Moins de problèmes de rupture du demi-arbre car la réduction de transmission est plus ou moins de 3,5 fois à 1 demi-arbre de rotation de la roue motrice/pignon. Réduction du demi-arbre (torsion du demi-arbre)

Les inconvénients des «transmissions finales montées sur moyeu de roue» sont:

- La terre ou l'argile peut coller autour du moyeu de transmission finale et dans la jante de la roue, ce qui augmente la température. Augmentation de la température avec peu de changement pour dissiper la chaleur, et provoque une surchauffe de l'huile dans la transmission finale. Disques de frein multidisques créent également de la chaleur.

Danger : dans certains cas extrêmes, et en raison de ces températures élevées, le pneu peut exploser. Pour cette raison, les pneus racleurs sont souvent remplis d'azote plutôt que d'air (oxygène). L'azote empêchera le pneu d'exploser.

5.2. L'entretien des réductions finales

La fiabilité de toute réduction finale dépend du bon entretien, à charge nominale, et des réparations appropriées une fois qu'une défaillance s'est produite.
Surveiller ces points clés lors du diagnostic des défaillances des réductions finales :

- Jeu axial de l'arbre de transmission excessif
- Surchauffe
- Manque de lubrification

5.2.1. Jeu axial de l'arbre excessif

Un jeu axial de l'arbre de transmission excessif est normalement causé par des roulements d'arbre lâches.

Toutefois, il peut également être créé par :

1. Des matériaux étrangers dans le lubrifiant qui useront les roulements rapidement;
2. Surcharge de la machine soit par le poids ou le couple du moteur;
3. Roulements mal réglés au moment de l'assemblage.

Un bruit ou choc continu est un signe de roulements desserrés ou endommagés. Sur les machines avec essieux semi-flottants, telles que les automobiles, le bruit de cognement peut être entendu dans la boîte de différentiel, étant donné que les extrémités de l'arbre d'essieu tapotent l'entretoise. Un réajustement des roulements usés ou endommagés ne fournira pas une réparation satisfaisante. Au lieu de cela, il faudra remplacer les roulements.

Comparer les extrémités des rouleaux d'un nouveau roulement conique avec un roulement usagé. Les rouleaux de roulements usés n'ont pas d'épaule comparés à un nouveau rouleau, il faut les remplacer.

5.2.2. Surchauffe

De nombreuses réductions finales sont endommagées simplement par échauffement. Cela arrive lorsque le lubrifiant n'est pas entretenu convenablement et un lubrifiant inapproprié est utilisé.
Le grippage, la corrosion, les rayures sur la surface d'une pièce indiquent l'absence de film lubrifiant et la surchauffe. La surcharge et l'abus de la machine entraineront également une surchauffe. Des charges excessives entraînent le fléchissement de l'ensemble de transmission finale et concentrent le frottement dans une zone.

5.2.3. Manque de lubrification

La perte de lubrifiant causée par des joints ou bagues cassés ou usés peut entraîner de graves dommages à la transmission finale. Alors que certains roulements sont automatiquement lubrifiés par l'huile qui se déplace le long de l'arbre de transmission à partir du différentiel, d'autres sont bouclés et exigent une lubrification séparée.

Lors de l'installation d'une nouvelle bague d'étanchéité, assurez-vous qu'elle est souple ou pliable dans la zone où le joint s'ajuste autour de l'arbre. Tremper le joint dans l'huile avant de l'installer.

5.3. Réglage de la transmission finale

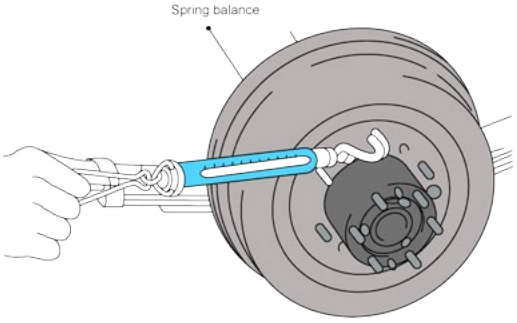
Pour empêcher des défaillances prématurées, ajuster les transmissions finales correctement. Il s'agit notamment d'adapter les roulements d'essieu soit par le pré-chargement ou en permettant un jeu axial spécifié.

5.3.1. Réglage des roulements d'essieu

Les engrenages ou roulements trop serrés ou trop lâches se casseront prématurément, indépendamment de leur force et de leur conception. Les roulements doivent être ajustés en suivant les spécifications du fabricant. Certains modèles exigent que les roulements soient pré-chargés, tandis que d'autres exigent un léger jeu axial de l'arbre.

5.3.2. Pré-chargement des roulements

Lorsque les instructions du fabricant stipulent un pré-chargement des roulements, ces derniers doivent être placés en légère tension. Dans certains cas, cela est fait par un serrage excessif de l'écrou de réglage du roulement, alors que dans d'autres modèles, cela est fait avec les cales. La pré-charge est normalement mesurée en pouces-livres de couple de roulement ou rotation (pas le couple de démarrage).



Certaines spécifications de couple comprendront une résistance de frottement telles que les joints d'étanchéité d'huile, les engrenages, etc. dans la transmission finale. Si ce n'est pas inclus, mesurer le couple de roulement pendant que l'arbre d'essieu a encore un jeu axial, et ajouter cette lecture de couple au couple spécifié.

Puis faire les réglages de pré-charge des roulements nécessaires. Aussi, lorsque de nouveaux roulements sont installés, un couple plus important sera nécessaire. Toujours faire le réglage de pré-charge par petits incréments jusqu'à ce que la pré-charge correcte soit obtenue.

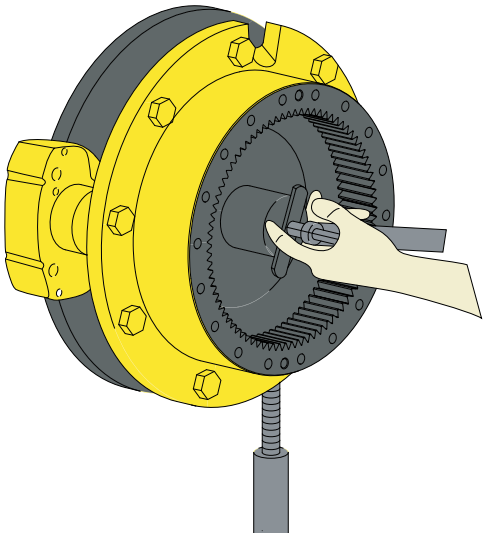
Il existe plusieurs méthodes pour mesurer le couple de roulement.
Une méthode consiste à utiliser un outil spécial ou un adaptateur avec une clé dynamométrique. Cela donne une lecture directe sur la clé.

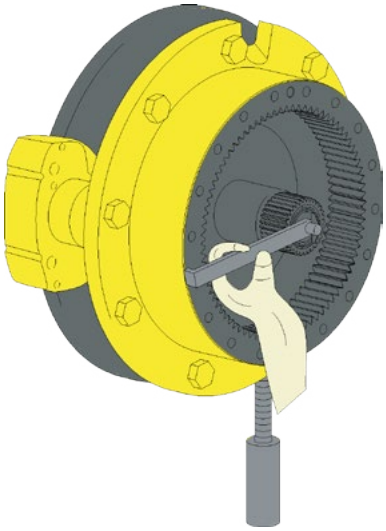
Vérification de la pré-charge des roulements avec échelle de traction (balance à ressort)
Une autre méthode de contrôle du couple de pré-charge est par le biais d'un cordon et d'une échelle de traction. La pré-charge est calculée en multipliant le rayon (distance entre le centre de l'arbre de transmission à un point situé sur la circonférence à partir de laquelle le cordon est tiré) par la lecture sur l'échelle à points.

Par exemple : Prenons un rayon est de 100 mm (4 pouces) et la lecture sur la balance est de 3 kg (7 livres). Multiplions 100 (4 pouces) par 3 kg (7 livres) et vous aurez 300 kg-mm de couple de roulement.

5.3.3. Réglage de jeu axial

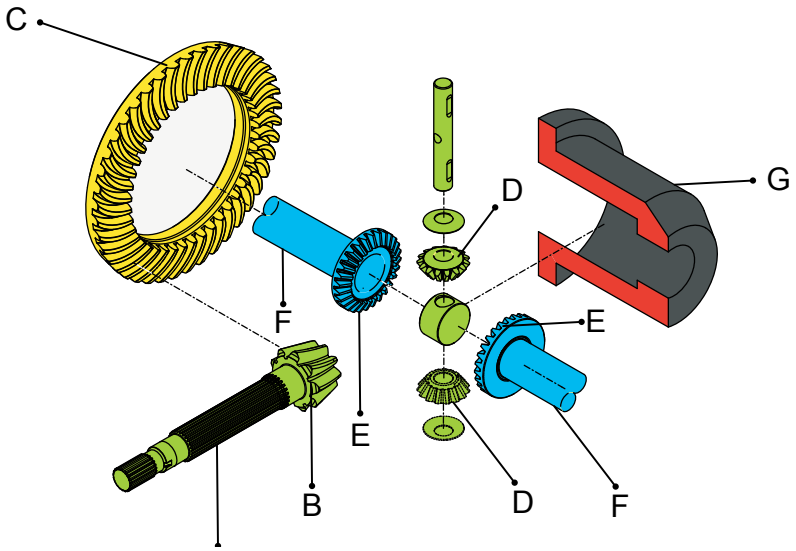
Certains types d'essieux moteurs nécessitent un léger jeu axial sur l'arbre d'essieu. Cela signifie que l'arbre, lorsqu'il est correctement réglé, doit être libre de se déplacer à l'intérieur des limites spécifiées. Le flottement, dans la plupart des cas, se situe entre 0,001 et 0,010 pouce (0,025 et 0,25 mm).





6. Le différentiel

Le différentiel est un dispositif qui divise le couple moteur en deux, permettant à chaque sortie de tourner à une vitesse différente.



Éléments du différentiel

Lettre:	Description;
A	L'arbre de transmission (pignon)
B	Pignon de transmission
C	Couronne dentée
D	Petit engrenage (pignons)
E	Planétaire
F	Demi-arbre
G	Boîtier du différentiel

Le différentiel se trouve sur toutes les camions et engins modernes, chargeuses sur pneus, camions à benne, pelleteuses mobiles, et aussi dans de véhicules à roues motrices (à quatre roues motrices à prise permanente). Ces véhicules à quatre roues nécessitent un différentiel entre chaque jeu de roues motrices, et elles en ont besoin d'un entre les roues avant et arrière, car la distance de déplacement des roues avant est différente de celle des roues arrière lorsque le véhicule tourne.

Les systèmes à quatre roues motrices non permanentes n'ont pas de différentiel entre les roues avant et arrière ; au lieu de cela, elles sont verrouillées ensemble afin que les roues avant et arrière tournent à la même vitesse moyenne. C'est pour cette raison que ces véhicules sont difficiles à tourner sur le béton lorsque le système des quatre roues motrices est enclenché.

Le différentiel a trois fonctions

- À diriger la puissance du moteur vers les roues
- D'agir comme la réduction d'engrenage finale dans le véhicule, ralentissant la vitesse de rotation de la transmission une dernière fois avant qu'il touche les roues
- Pour transmettre la puissance aux roues tout en leur permettant de tourner à des vitesses différentes (c'est pour cette raison qu'il a été appelé «différentiel».)

6.1. Précautions

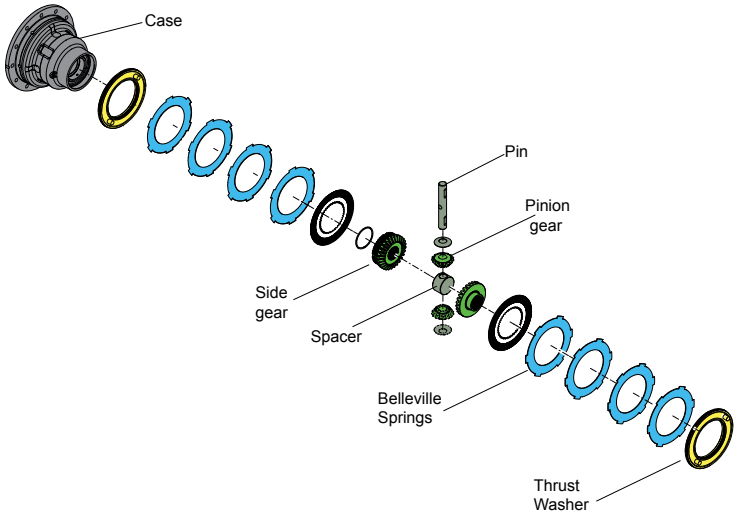
Les différentiels peuvent aussi causer des problèmes lorsque vous conduisez sur une piste tout-terrain. Si vous avez un camion à quatre roues motrices, ou un SUV, avec un différentiel à l'avant et l'arrière, vous pourriez être coincés. Rappelez-vous qu'un différentiel applique toujours le même couple aux deux roues. Si l'un des pneus avant et l'un des pneus arrière quittent le sol, ils tourneront simplement dans le vide, et vous ne serez pas en mesure de vous déplacer.

La solution à ces problèmes est le différentiel auto-bloquant (LSD). Les différentiels auto-bloquants utilisent divers mécanismes pour autoriser l'action différentielle normale quand le véhicule tourne. Lorsqu'une roue patine, plus de couple est transféré à la roue qui ne patine pas.

6.2. Différentiel auto-bloquant

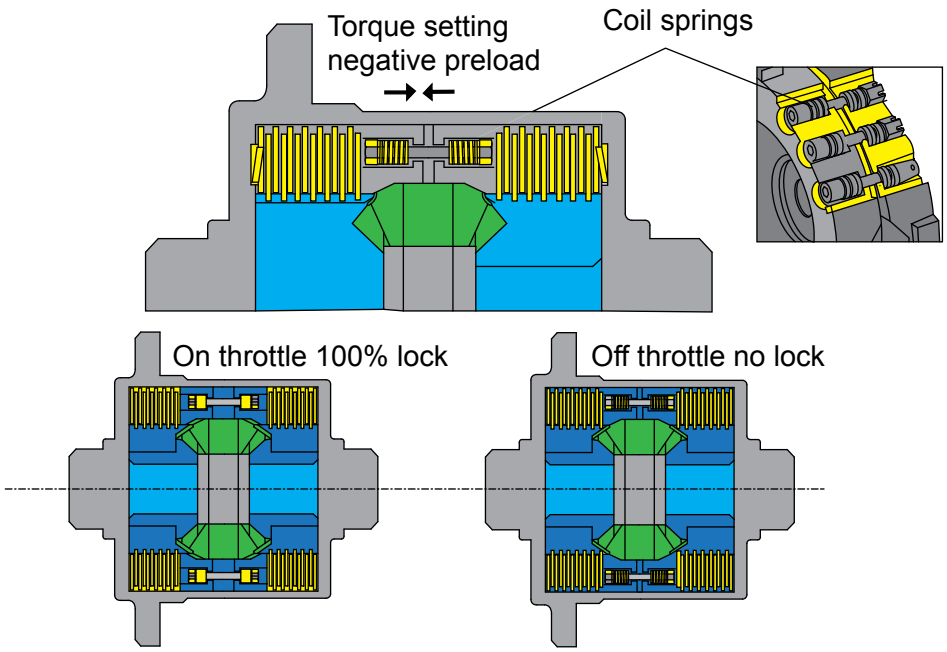
L'embrayage de type LSD est probablement la version la plus courante du différentiel auto-bloquant

Ce type d'embrayage contient les mêmes éléments qu'un différentiel standard, mais avec en plus un jeu de ressorts et un jeu d'embrayages. Certains d'entre eux ont un cône embrayage qui ressemble aux synchroniseurs de la transmission manuelle.



Le jeu de ressort pousse les vitesses latérales contre les embrayages, qui sont attachés à la cage. Les deux vitesses latérales tournent avec la cage lorsque les deux roues se déplacent à la même vitesse, et que les embrayages ne sont pas vraiment nécessaires. Le seul moment où les embrayages sont utilisés est lorsqu'il se passe quelque chose qui fait tourner une roue plus rapidement que l'autre, comme dans un virage.

Les embrayages luttent contre ce comportement, car il veut que les deux roues aillent à la même vitesse. Si une roue veut tourner plus vite que l'autre, elle doit d'abord prendre le dessus sur l'embrayage. La raideur des ressorts combinée avec le frottement de l'embrayage déterminent la quantité de couple nécessaire pour prendre le dessus.



Pour en revenir à la situation dans laquelle une roue motrice est sur la glace et l'autre a une bonne traction : Avec ce différentiel auto-bloquant, même si la roue sur la glace n'est pas en mesure de transmettre de couple au sol, l'autre roue obtiendra tout de même le couple nécessaire pour bouger. Le couple donné à la roue et pas à la glace est égale à la quantité de couple nécessaire pour prendre le dessus sur les embrayages. Le résultat est que vous pouvez bouger, mais vous n'aurez toujours pas toute la puissance de votre voiture.

Une autre façon d'éviter le patinage est par l'utilisation d'un blocage du différentiel. Un blocage de différentiel verrouillera les deux demi-arbres ensemble et les fera tourner à la même vitesse.

7. Entrainement hydrostatique

Hydrodynamique;
- Convertisseur de couple
- Changement de puissance

Hydrostatique;
- Pompe hydraulique
- Boite de transfer
- Moteur hydraulique

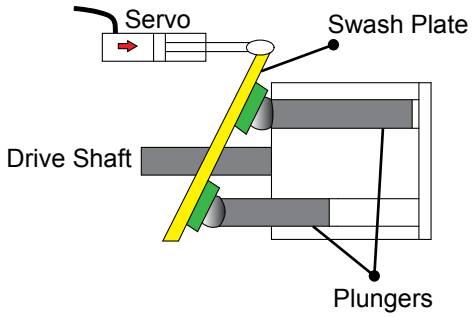
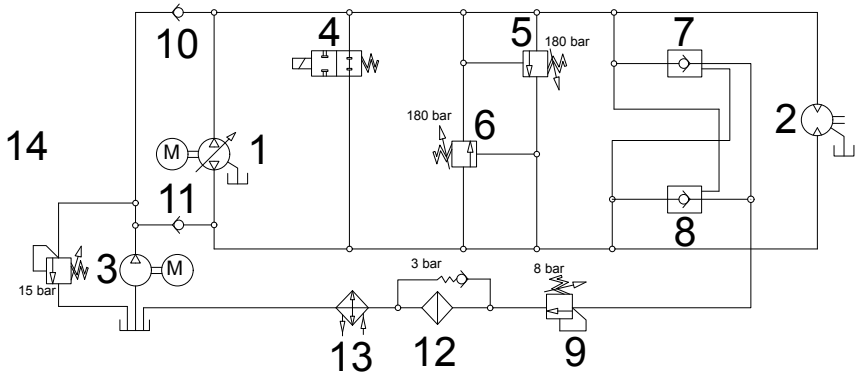
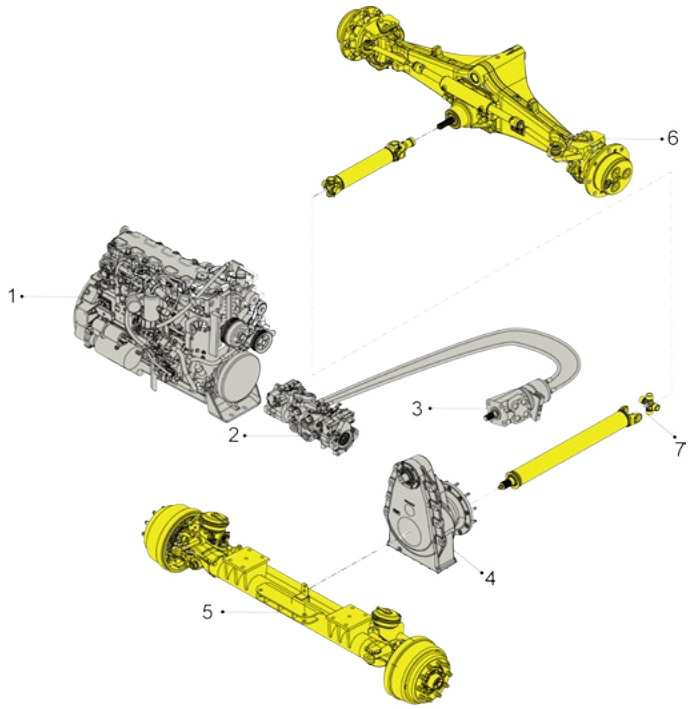


Schéma d'un entrainement hydrostatique



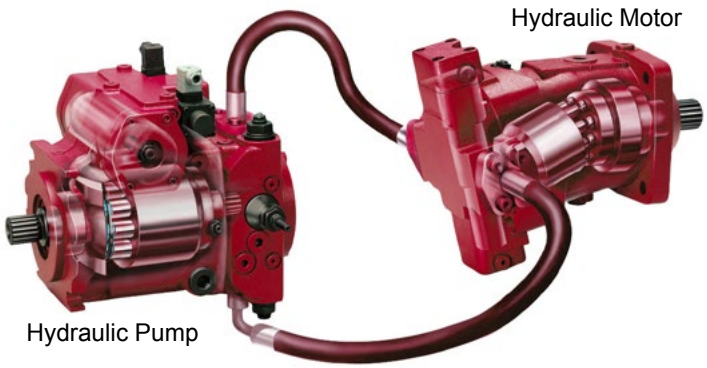
Numéro	Description
1	Pompe à pistons axiaux, déplacement variable, bidirectionnelle
2	Moteur hydraulique
3	Pompe d'alimentation (charge et servopompe)
4	Valve neutre (2/2 voie) pour permettre le remorquage du véhicule
5 & 6	Soupapes de décharge transversales (soupapes de décharge secondaires)lve)
7 & 8	Soupape de déversement
9	Soupape d'arrêt
10 & 11	Check valves
12	**Filtre à huile hydraulique**
13	Refroidisseur d'huile hydraulique
14	Soupape de pression

7.1 Système de traction de chargeuse sur pneus



Numéro	Description
1	Moteur diesel
2	Pompe refoulante à piston plongeur
3	Moteur hydraulique
4	Boite de transfert (Drop box)
5	Différentiel
6	Entrainement final planétaire avec freins à disques multiples
7	Frein de stationnement

De nombreuses chargeuses sont à entrainement hydrostatique. L'entrainement hydrostatique permet d'aménager le moteur dans différents lieux sans gêner la chaine cinématique. Les tuyaux hydrauliques remplacent à présent l'embrayage et la boite de vitesse. On peut ainsi monter le moteur partout.



Description générale
Se reporter au graphique pour la structure de l'ensemble du système de transmission de puissance. Outre les réparations expliquées dans le présent chapitre, les avantages du système d'entrainement, spécialement élaborés pour la chargeuse à pneus, sont également examinés brièvement.

La mise au point d'une machine extrêmement facile à opérer a été rendue possible grâce essentiellement à l'emploi d'un système hydrostatique d'entrainement. Le fonctionnement ne doit pas être compliqué puisque les chargeuses à pneus sont utilisées par tous types de personnel. L'entrainement hydrostatique incorporé, avec sa commande automatique, a des caractéristiques qui sont les mêmes, voire meilleures que celles des véhicules passagers. La direction du déplacement et le rapport de transmission changent de façon semi-automatique. Quoique la direction du déplacement peut changer et le rapport de transmission peut être modifié en pleine charge, ces procédures ne provoquent pas d'usure, contrairement aux systèmes d'engrenages hydrodynamiques ordinaires avec les couplages correspondants qui doivent prendre de l'énergie. Le système automatique fonctionnant avec la machine «pense» pour le conducteur et optimise la vitesse par rapport à la résistance de la route. La puissance du moteur diesel est distribuée par le mécanisme d'entrainement automatique dans toutes les manœuvres et opérations d'entrainement, faisant en sorte qu'elle soit constamment disponible aux groupes qui ont la priorité dans les opérations individuelles, mais sans toutefois que le moteur diesel perde de la vitesse. C'est la raison pour laquelle le régime de puissance, qui est relativement petit comparé à la capacité de fonctionnement de la machine, est suffisante pour toutes les opérations. Sans compter la faible consommation de carburant, qui est un atout considérable compte tenu du prix du carburant de nos jours.

7.2 Boite de transfert (Drop box)

La boîte de transfert est conçue comme une boite à engrenage conique à deux vitesses. Elle sert à convertir et distribuer le couple d'entrée (moteur hydraulique) vers l'essieu arrière et, à travers l'arbre de transmission universel, vers l'essieu avant (transmission intégrale).
L'avantage de cette conception réside dans le fait qu'en cas de mauvaise traction d'un essieu, l'autre essieu reçoit tout le couple moteur de la boite de transfert.

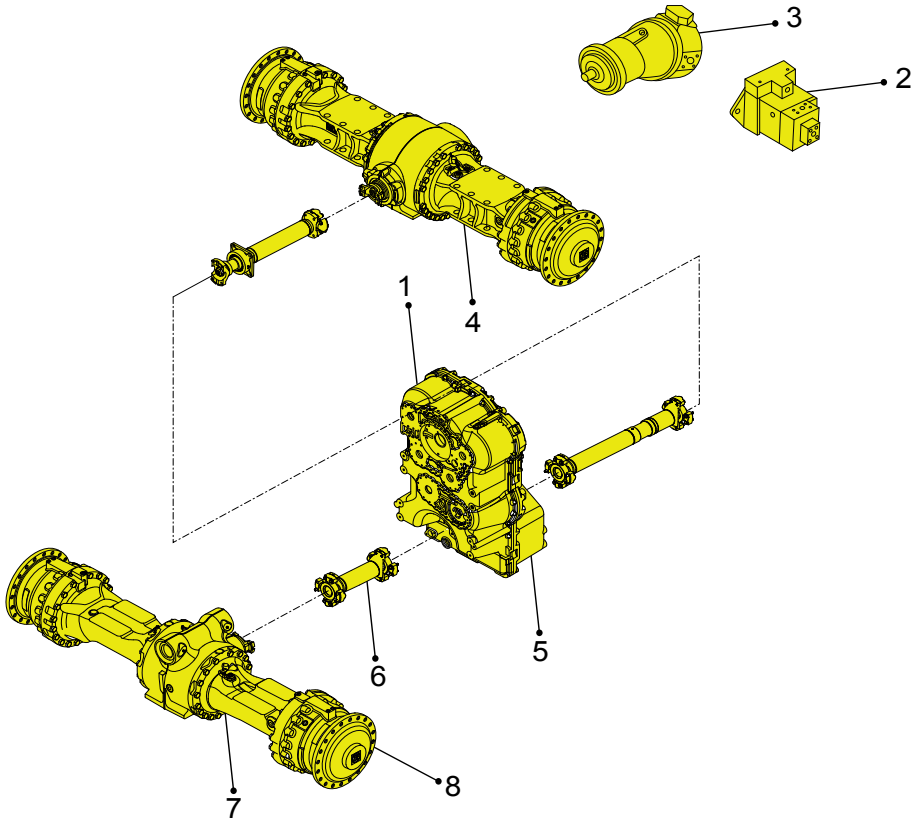
7.3 Arbre de transmission universel

En dépit de la différence d'angle d'entrée ou de sortie entre l'entrée de l'essieu avant et la sortie de la boite de transfert, le but de l'arbre de transmission universel est de transmettre le couple avec souplesse.

7.4 Essieux

La fonction des essieux est de transmettre le couple d'entrainement aux roues. L'effet différentiel intervient dans le cas d'un glissement de pneu pour réduire la force motrice en conséquence. A cet effet, les essieux avant et arrière ont 25% ou 40% de différentiels de bloc.

7.5 Transmission hydrostatique



Légende :

1. Vers le moteur d'entrainement
2. Pompe hydraulique
3. Moteur hydraulique
4. Essieu arrière
5. Boite de transfert (Drop box)
6. Arbre de transmission universel
7. Essieu avant (avec différentiel)
8. Entrainement final

Les composants essentiels de l'entrainement hydrostatique sont énumérés ci-dessus. La pompe hydraulique est une pompe à piston axial avec plateau incliné, et le moteur hydraulique est un moteur à piston axial avec essieu incliné. Cette combinaison, associée à une commande «automatique», permet de conduire facilement un engin de construction, même par des conducteurs débutants. La commande adapte de façon optimale la vitesse à la résistance du sol de sorte que ni le moteur diesel ni le conducteur ne sont excessivement «stressés».

Il est essentiel de bien comprendre cette fonction si l'on veut effectuer efficacement des réparations sur l'engin. Lisez attentivement les instructions, car elles vous fournissent, à l'aide des schémas suivants, des informations précises sur les défauts ou dégâts qui, dans certaines circonstances, vous épargneront le temps et l'effort à chercher les défaillances.

Une connaissance de base de la fonction du système de transmission hydrostatique et de la pompe à piston axial est requise. Après le circuit d'huile, cette description commence par

la pompe auxiliaire 3, qui est montée coaxialement à la pompe hydraulique. Tout comme la pompe principale, cette pompe est entrainée par le moteur à combustion. Elle a les trois fonctions suivantes :

1. Elle complète à travers l'équipement de drainage la fuite d'huile du circuit fermé et l'huile drainée du rinçage,
2. Elle fournit l'huile nécessaire au système de contrôle et de régulation de la pompe principale,
3. Elle refroidit le circuit.

Les explications ci-dessous concernent la Figure 2 (voir page suivante)

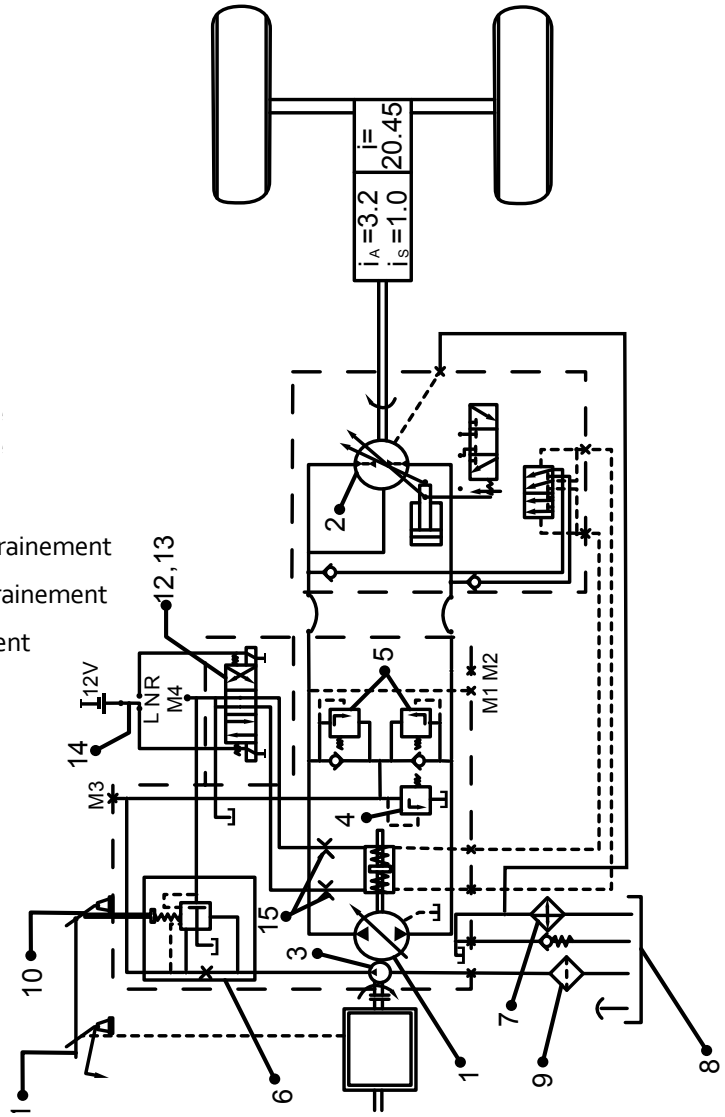
Le réservoir 8 fournit l'huile hydraulique à la pompe. La fuite d'huile de la pompe à déplacement variable et du moteur à déplacement variable, ainsi que l'excédent d'huile fournie, sont reconduites au réservoir par le refroidisseur 7 à travers les connexions en T. Selon la vitesse d'entrainement, le flux de la pompe auxiliaire 3 agit sur l'orifice de la soupape de réglage 6. La pression de commande ainsi créée agit sur le piston à la connexion X1 ou X2, en fonction de la direction de déplacement de la pompe choisie sur le commutateur 14.

La pression de commande augmente avec l'augmentation de la vitesse ; le déplacement hydraulique fait basculer encore davantage la plaque pivotante, et le débit du flux s'accroit à la ligne d'opération B.
Ce flux pousse la vitesse d'entrainement à augmenter à l'arbre de transmission. Le couple correspondant dépend de la charge à l'entrainement. On obtient un couple d'entrainement maximum lorsque le moteur pivote au maximum (position illustrée), où la pression exercée détermine également la valeur du couple. Ce faisant, un couple large est transmis aux roues de poussée en raison de la position pivotée au moment d'accélérer le véhicule. La position illustrée du déplacement est obtenue au moyen de la haute pression, qui agit sur le piston de déplacement à travers le clapet à bille et le piston de contrôle. (Voir Fig. 2).

Le piston de commande du moteur commute contre la haute pression et la tension du ressort si la haute pression baisse en phase d'accélération et la pression de commande agissant sur le déplacement au-dessus des lignes de contrôle à X est prédominante.

Principaux composants

1 Pompe hydraulique
2 Moteur hydraulique
3 Pompe d'alimentation
4 Soupape d'alimentation à pression
5 Soupape de haute pression
6 Soupape de réglage
7 Refroidisseur
8 Réservoir
9 Filtre d'entrée
10 Pouce de pédale
11 Accélérateur
12 Direction électrique de la-soupape d'entrainement
13 Direction électrique de la-soupape d'entrainement
14 Direction du-commutateur d'entrainement
15 Orifice d'ajustement



Le cylindre, conjointement avec la lentille de contrôle, est déplacé vers un angle de pivotement plus petit par déplacement hydraulique. Au fur et à mesure que le déplacement du moteur se réduit, la vitesse d'entrainement gagne en ampleur. Lorsque le piston de commande est réactivé, le déplacement pivote davantage vers l'extérieur afin d'imprimer un plus grand couple d'entrainement dès que la pression élevée présélectionnée est dépassée.

Une caractéristique de contrôle est spécifiée sur la soupape de réglage 6, qui déclenche une montée de la pression de commande conséquente dans une fourchette de vitesse déterminée. Lorsque le moteur d'entrainement (moteur à combustion) est surchargé, sa vitesse se réduit, et la soupape de contrôle provoque une chute de la pression de commande qui rebasculera la pompe.

La chute conséquente du débit permet de prévenir automatiquement la surcharge. Le moteur d'entrainement continuera à tourner à vitesse optimale après une courte et légère chute de la vitesse du moteur.

Un clapet sélecteur est pressurisé au moyen des lignes de contrôle du moteur à déplacement afin d'empêcher un déplacement non-contrôlé lors des descentes en pente ou de freinage, ainsi que lors du changement consécutif dans les forces directionnelles. Ceci permet de diriger la haute pression dans la direction appropriée de l'entrainement engagé, empêchant ainsi les opérations inégales de contrôle.

La pression de commande peut être réduite (par impulsion ou inching) au moyen de la pédale 10 à travers le levier sur la soupape de contrôle 6, et en association avec l'accélérateur 11. Il est ainsi possible de démarrer en plein régime avec douceur. La réduction de la pression de commande peut faire rebasculer prématurément la pompe à déplacement variable vers sa position d'origine ; l'entrainement peut, en outre, freiner l'engin hydrauliquement.

8. Conclusion

La pompe à déplacement variable et le moteur à déplacement variable forment une unité d'entrainement mobile avec tous les composants nécessaires à un circuit fermé. Le contrôle axé sur la vitesse du véhicule s'appuie sur une utilisation optimisée des couples, pour un changement souple de vitesse sans toutefois surcharger le moteur.

Mise au point des données

Avertissement : Les mesures doivent toutes être effectuées lorsque l'engin est à la température de fonctionnement (température du réservoir 70° C).

Pressions

Haute pression avant : M_1 410 bar (± 10 bar)

Haute pression arrière :: M_2 410 bar (± 10 bar)

Figure 4

Pression de commande X_1: 25 - 27 bar

Pression de commande X_2: 25 - 27 bar

Pression d'alimentation M_3: 26 - 28 bar

Pression de commande centrale M_4: 26 - 28 bar

Vitesses

(mesurées sur le moteur diesel par un instrument de mesure d'impulsion)

Vitesse au ralenti : 800 tpm (± 50 tpm)

Vitesse maximale à vide : 2600 tpm (± 50 tpm)

Poussée (contre entrainement): > 2500 tpm

Vitesse de demurrage : 1100 (± 50 tpm)

Vitesse pour obtenir la

Haute pression maximale : 2000 (-100 tpm)

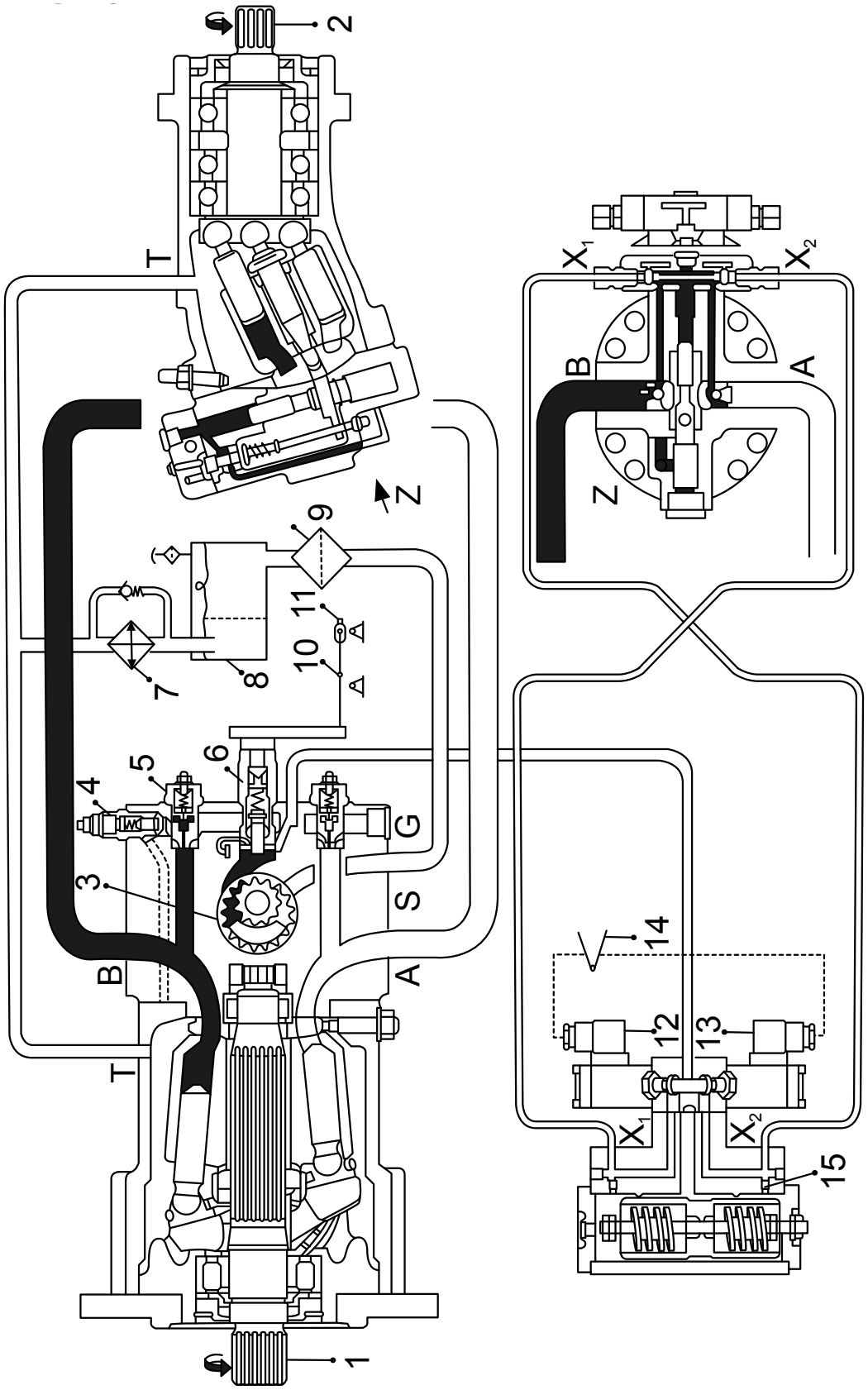
Vitesse (avec 20 -24 pneus)

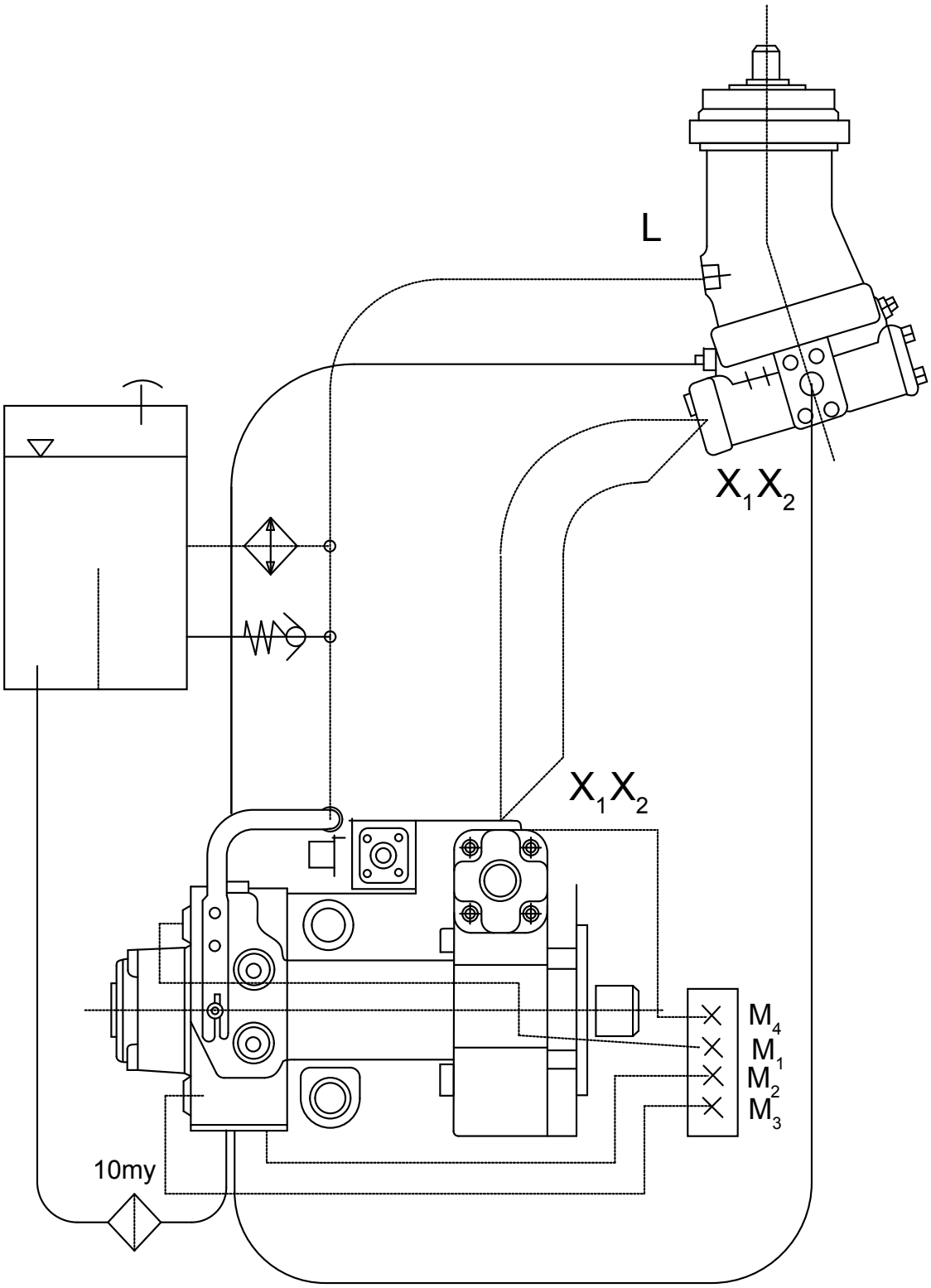
Vitesse sur route : > 36 km/h

Vitesse hors route : > 12 km/h

Puissance de traction sur route : > 2,6 t (20 - 24 pneus)

Figure 3




L
X1X2
X1X2
M4
M1
M2
M3
10my

Pompe hydraulique

1. Plateau incliné

2. Corps de piston

3. Port plateau

4. Pompe d'alimentation et de contrôle de pression

5. Orifice pour établissement du temps de déplacement

6. Soupape de limitation de pression (alimentation/contrôle pression)

7. Soupape de limitation de pression avec soupape d'alimentation (haute pression)

8. Cylindre de déplacement

9. Soupape de réglage (trois positions)

10. Aimant de course 'a'

11. Aimant de course 'b'

12. Vanne régulatrice

A,B Lignes de fonctionnement

S Ligne d'entrée pour la pompe d'alimentation et de contrôle de pression

T2 Connexion réservoir (fuite)

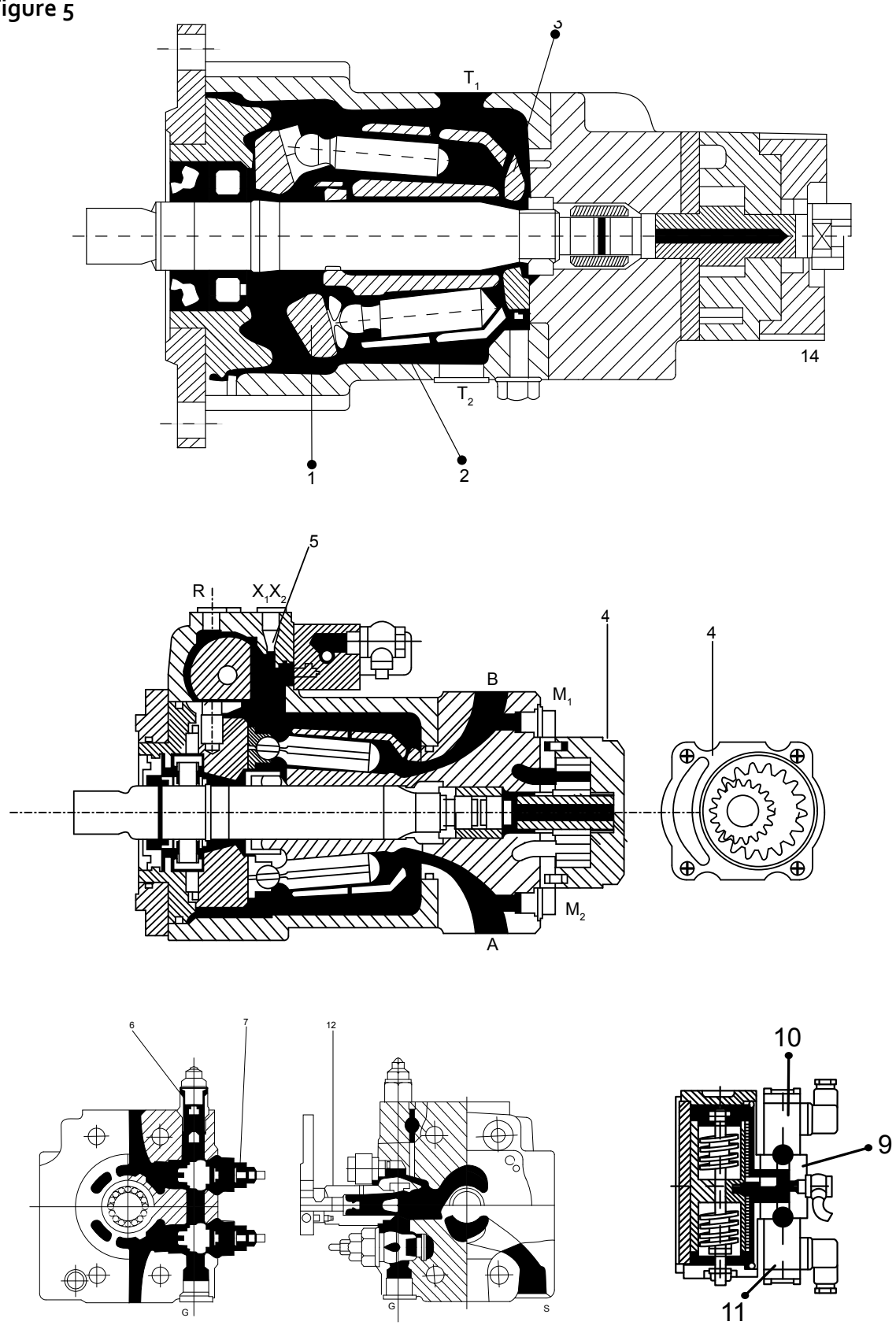
G Connexion pression pour circuits auxiliaires

R Ventilation

X_1, X_2 Points d'essai (lignes de contrôle)

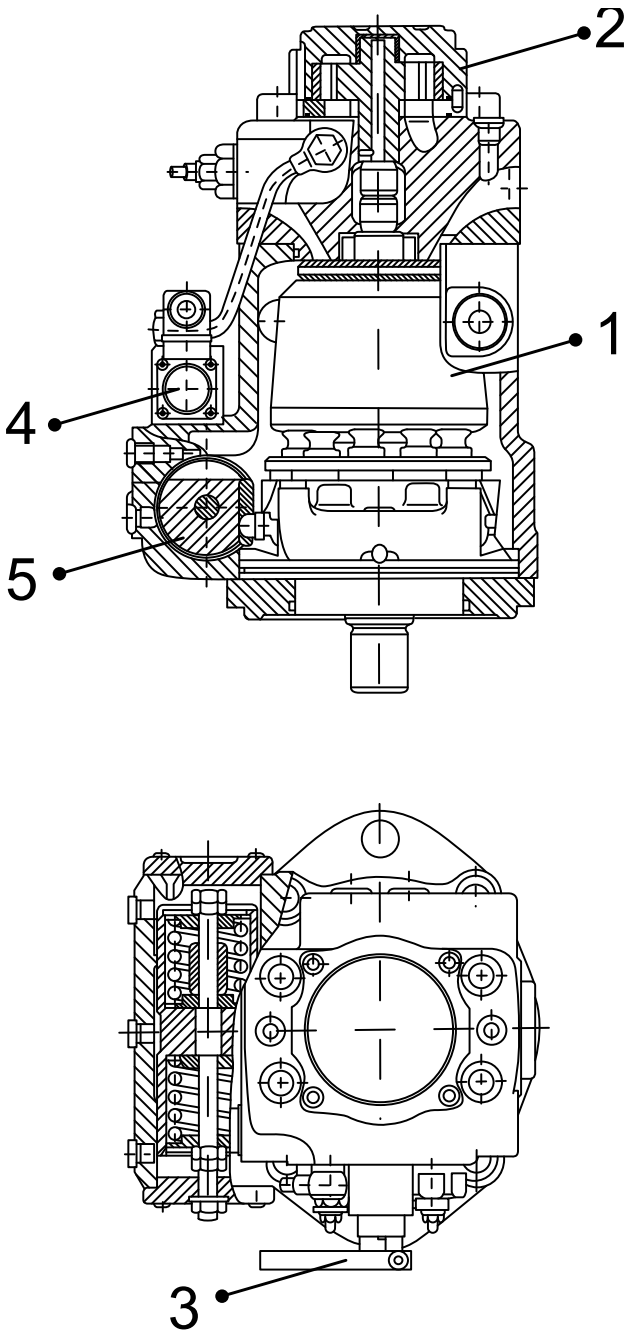
M_a, M_b Points d'essai (lignes de fonctionnement)

Figure 5



Pompe hydraulique avec soupape de réglage
1 Mécanisme d'entrainement
2 Pompe d'alimentation
3 Soupape de réglage
4 Electrovanne
5 Elément de réglage

Figure 6



Soupape de réglage

P_1 = Alimentation de pression à la pompe en amont de la soupape de réglage

P_2 = Pression derrière l'orifice de la soupape de réglage (alimentation de pression)

P_3 = Réglage de pression

Fonctions de la soupape de réglage

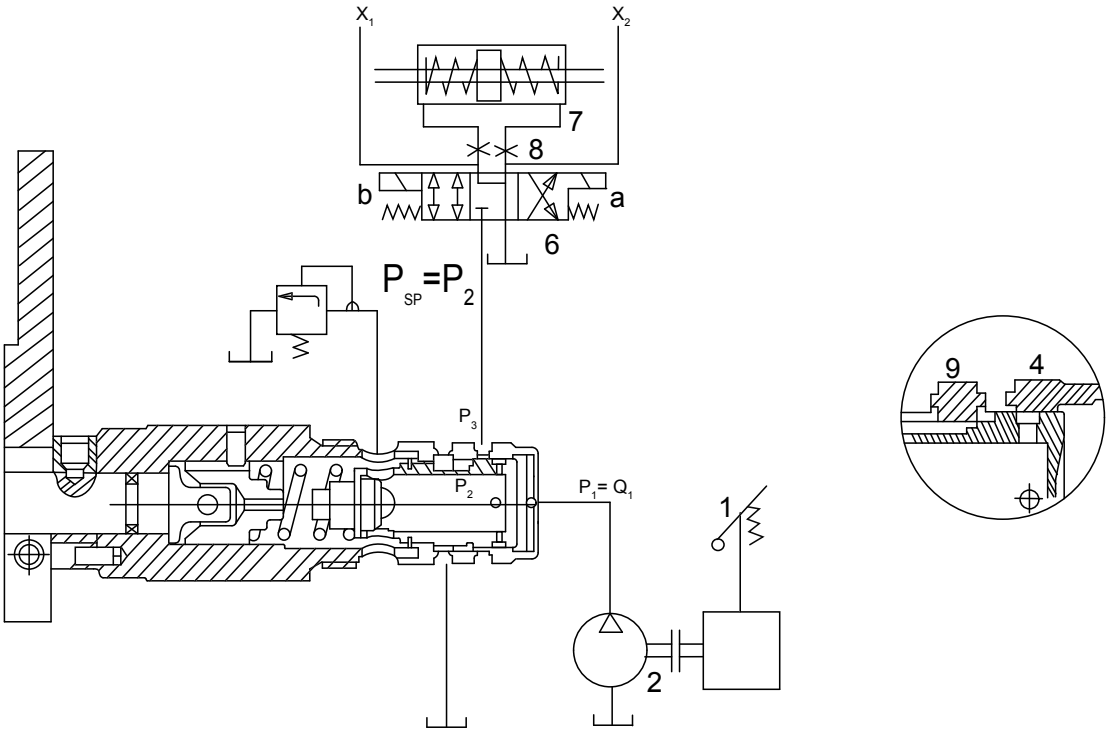
La pompe de réglage et d'alimentation 2 tournant à la vitesse du moteur de combustion avec un déplacement de volume constant produit un débit volumique proportionnel à la vitesse. De cette façon, on obtient un différentiel de pression (P_3-P_2) = Δ P à l'orifice 3. Cette pression différentielle influe sur la position d'équilibre du piston de l'orifice faisant en sorte que la commande à l'extrémité 4 s'ouvre pour conduire le flux d'huile vers le piston de positionnement de la pompe à déplacement variable 7.

La pression P_3 se développe dans la ligne de commande. Cette pression déplace ensuite le piston de l'orifice jusqu'à ce que la commande à l'extrémité 4 se referme à nouveau. La séquence inverse de l'opération se produit lorsque la pression différentielle se réduit à l'orifice, la commande à l'extrémité 9 s'ouvre laissant passer l'huile vers la sortie, jusqu'à ce que le piston de l'orifice retrouve à nouveau son équilibre. On assiste ainsi à une corrélation entre la vitesse d'entrainement et la pression pilote suscitée par la soupape de réglage, c.-à-d. qu'une réduction de la vitesse du moteur engendre une baisse immédiate de la pression pilote, ce qui aura pour effet d'éviter la surcharge du moteur.

On peut au préalable mettre le ressort de compression 5 sous tension en tournant la goupille de déplacement 10, faisant en sorte que la force du ressort reste prédominante, même à vitesse maximale du moteur, c.-à-d. la pression pilote est o et l'entrainement freine le véhicule.

On obtient une perte spécifique de pression en combinant l'accélérateur et la pédale d'avancement lent «inch pedal» (soupape de réglage).

La pression pilote reste constante tout en avançant lentement du point d'accrochage, en dépit de la vitesse croissante du moteur.



Légende :

1. Soupape de réglage
2. Orifice
3. Pédale d'accélérateur
4. Goupille de déplacement pour mise préalable sous tension

9. Exercices pratiques

1) Etant donné une Transmission, vous devez réaliser ce qui suit ;

Démontage et assemblage de transmission, y compris inspection totale ;

1. Choisissez l'outillage manuel, les outils spéciaux, les équipements et les accessoires appropriés
2. Utilisez le manuel d'atelier approprié
3. Suivez la procédure de démontage, d'inspection et de réassemblage, telle qu'elle figure dans le manuel d'atelier

a) Notez les différents outils utilisés pour le démontage de la transmission

b) Notez les différents outils utilisés pour le réassemblage de la transmission

c) Faites une liste des inspections effectuées et rédigez un résumé sur chaque inspection.

2) Etant donné un essieu avant, vous devez entreprendre ce qui suit :
Démontez et assemblez une transmission, assortis d'une inspection complète ;

1. Choisissez l'outillage manuel, les outils spéciaux, les équipements et les accessoires appropriés
2. Utilisez le manuel d'atelier approprié
3. Suivez la procédure de démontage, d'inspection et de réassemblage, telle qu'elle figure dans le manuel d'atelier

a) Notez les différents outils utilisés pour le démontage de l'essieu

b) Notez les différents outils utilisés pour le réassemblage de l'essieu

c) Faites une liste des inspections effectuées et rédigez un résumé sur chaque inspection.

3) Etant donné un essieu arrière, vous devez entreprendre ce qui suit :

Démontez et assemblez une transmission, assortis d'une inspection complète ;

1. Choisissez l'outillage manuel, les outils spéciaux, les équipements et les accessoires appropriés
2. Utilisez le manuel d'atelier approprié
3. Suivez la procédure de démontage, d'inspection et de réassemblage, telle qu'elle figure dans le manuel d'atelier

a) Notez les différents outils utilisés pour le démontage de l'essieu

b) Notez les différents outils utilisés pour le réassemblage de l'essieu

c) Faites une liste des inspections effectuées et rédigez un résumé sur chaque inspection.

4) Etant donné une boite de transfert, vous devez entreprendre ce qui suit :

Démontez et assemblez une boite de transfert, assortis d'une inspection complète ;

1. Choisissez l'outillage manuel, les outils spéciaux, les équipements et les accessoires appropriés
2. Utilisez le manuel d'atelier approprié
3. Suivez la procédure de démontage, d'inspection et de réassemblage, telle qu'elle figure dans le manuel d'atelier

a) Notez les différents outils utilisés pour le démontage de la boite de transfert

b) Notez les différents outils utilisés pour le réassemblage de la boite de transfert

c) Faites une liste des inspections effectuées et rédigez un résumé sur chaque inspection.

5) Transmission finale planétaire

Montages des roues (transmission finale planétaire), paliers et joints d'étanchéité

Étant donné une transmission finale planétaire, vous devez effectuer ce qui suit ;

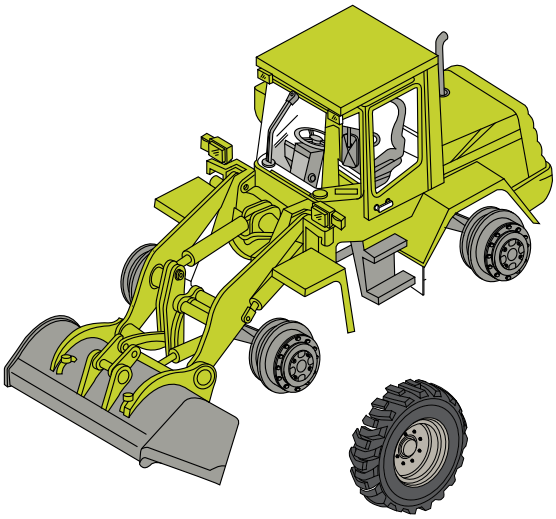
Démontage et montage d'une transmission finale planétaire, y compris une inspection complète :

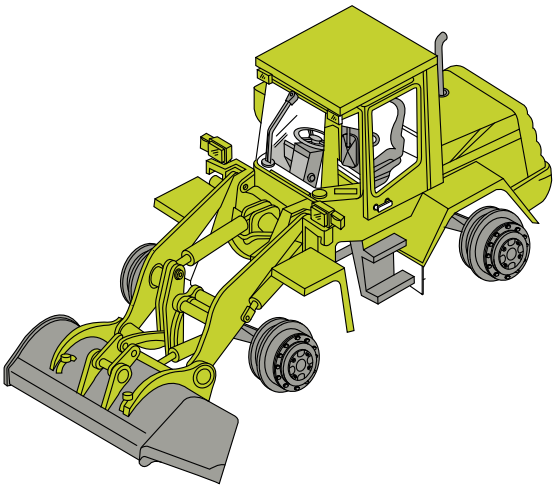
1) Sélectionner les outils et accessoires adéquats
2) Utiliser le manuel d'atelier adéquat
3) Utiliser une clé dynamométrique, si nécessaire
4) Mesurer la rectitude de la tige du piston
5) Installer de nouveaux joints d'étanchéité d'huile, à l'aide de la procédure adéquate

Outils nécessaires :

- Clé de serrage
- Clé dynamométrique (multiplicateur)
- Extracteur de cuvette de roulement
- Montage de l'extracteur
- Clé à cliquet
- Adaptateur

Le montage et démontage sont basés sur une chargeuse de pneu Caterpillar 920.
Les spécifications propres à votre modèle de formation pratique pourraient donc différer de l'information donnée.



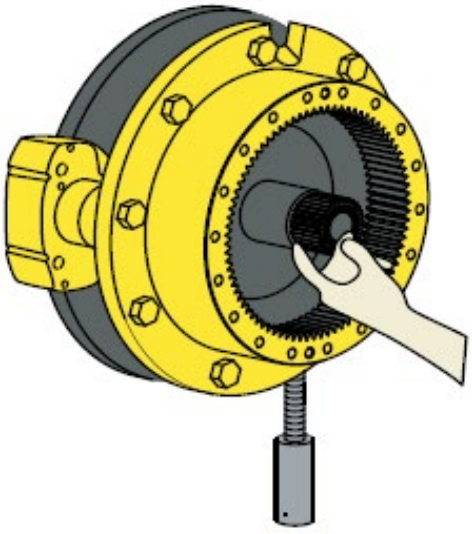


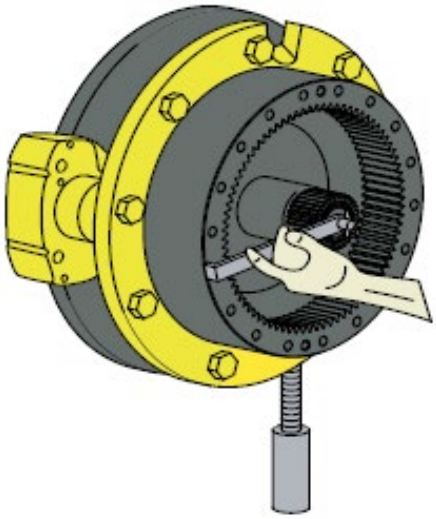
Commencer par :

a) Dépose de la jante et du pneu

b) Dépose de la plaquette de freins

c) Dépose de la transmission finale





1. Dépose du fil-frein et des vis

2. Fixer un palan à la roue, ou le soutenir avec un cric-bouteille.

3. Utiliser un démultiplicateur de couple pour déposer l'écrou qui maintient la roue sur le mandrin.

4. Plier les verrous et les vis. Déposer les vis, les verrous et les plaques qui maintiennent la couronne du démarreur en place. Déposer la couronne du démarreur.

5. Déposer le moyeu du mandrin

6. Déposer l'ensemble de roue. Le poids de l'ensemble de la roue est de 65 kg. (145 lb).

7. Poser quatre vis de chasse de 3/8»-16 NC dans le moyeu. Serrer les vis de chasse jusqu'à ce qu'elles soient en contact avec le cône de roulement. Serrer uniformément les vis de chasse pour déposer le cône de roulement de l'ensemble du moyeu.

8. Retirer la bague de l'ensemble du moyeu avec un extracteur de roulement.

9. Retirer la moitié externe du joint flottant du double cône de l'ensemble de roue.

10. Déposer la bague d'étanchéité tonique en caoutchouc de l'anneau métallique flottant.

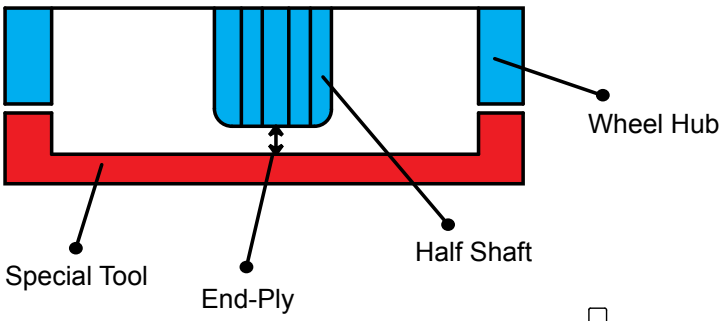
11. Déposer le disque de frein de l'ensemble de roue

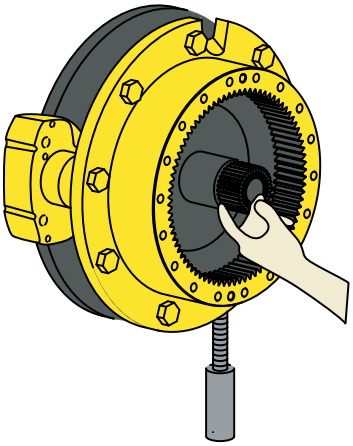
12. Déposer la cuvette de roulement extérieure avec un extracteur de roulement.

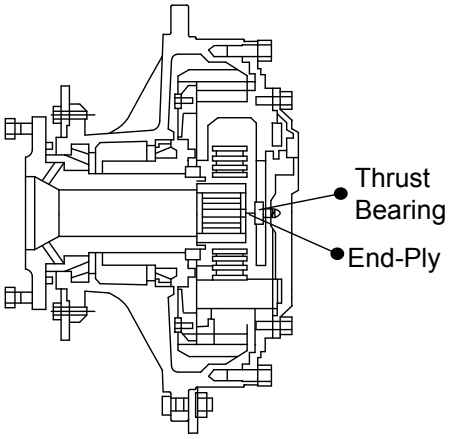
13. Déposer la cuvette de roulement intérieure avec un extracteur de roulement.

14. Déposer le cône de roulement intérieur du mandrin.

15. Mesurer la distance entre le demi-arbre et le «butoir» (palier de butée en bronze) qui est monté dans le train planétaire. Ajouter ou retirer des cales, si nécessaire.







Installer la roue

Outils nécessaires :

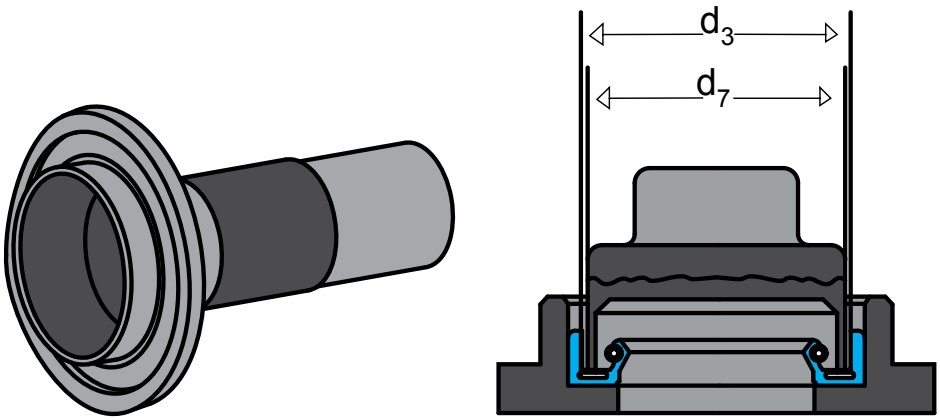
a) Dispositif d'installation de joint

b) Support de levage

c) Clé de serrage

1. Installer la bague d'étanchéité tonique en caoutchouc sur le joint flottant en métal pour chaque moitié du joint flottant du double cône.

REMARQUE : Le joint en caoutchouc et la bague métallique qui est en contact ledit joint doivent être propres et secs. Placer une petite quantité d'huile SAE 30 sur la surface extérieure de la bague d'étanchéité métallique qui n'est pas en contact avec le joint en caoutchouc.



2. Poser une moitié du joint flottant du double cône sur le mandrin à l'aide d'un manchon d'installation de joint.

3. Installer le cône de roulement intérieur sur le mandrin.

4. Abaisser la température des cuvettes de roulement et les installer dans la roue.

5. Installer le disque de frein sur la roue et serrer les vis à un couple de 195 ± 20 lb.ft. (265 ± 25 N.m).

6. Poser l'autre moitié du joint flottant du double cône dans la roue à l'aide d'un manchon d'installation de joint.

7. Abaisser la température de la bague et l'installer dans le moyeu.

8. Installer le cône de roulement externe sur le moyeu.

9. Fixer un palan à l'ensemble de roue, ou le soutenir avec un cric-bouteille. Mettre la roue en position sur le mandrin.

10. Installer le moyeu sur le mandrin.

11. Installer la couronne du démarreur sur les plaques, vis et verrous pour la maintenir sur le moyeu.

12. Installer l'écrou sur le mandrin.

13. Serrer l'écrou avec une clé dynamométrique lorsque la roue est tournée avec une clé dynamométrique de 8. (20,3 cm) de longueur Ib. in. (N.m). Le couple doit être de 75 ± 25 Ib.on. (8,5 ± 2,8 N.m). Pour les autres clés dynamométriques Ib. on. l'indication adéquate de la clé dynamométrique peut être trouvée grâce à la formule suivante :

$$C = \frac{A \times T}{A + T}$$

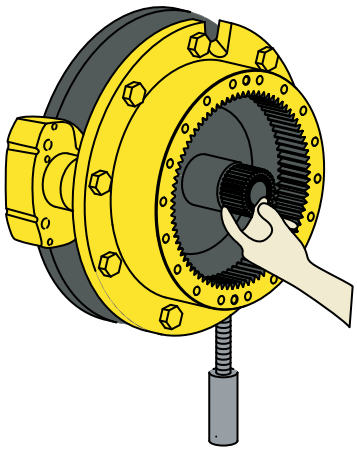
«**C**» est le relevé de la clé dynamométrique.

«**A**» est la longueur de la clé dynamométrique

«**B**» représente la distance entre le centre de la roue et la vis de la roue.

«**T**» est le couple sur les roulements (T = 160 ± 50 Ib.on. (18,1 ± 5,7 N.m).

14. Tourner le volant lentement à une vitesse constante pendant un ou deux tours pour vérifier la lecture du couple une fois que le réglage a été effectué.



15. Serrer davantage l'écrou si nécessaire pour aligner la rainure (fente) à l'orifice de la vis. Installer la vis et le fil -frein.

REMARQUE : La clé dynamométrique doit être installée sur l'écrou de la roue de sorte qu'il soit aligné au centre de la roue, comme illustré.

Rédigez un rapport sur vos conclusions dans l'espace prévu ci-dessous.

Ce module s'inscrit dans le cadre de la Learning and Knowledge Development Facility (Plateforme d'Apprentissage et de Développement des Connaissances - LKDF), mise au point par la Swedish International Development Cooperation Agency (Agence suédoise pour le développement international - Sida) et l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel (ONUDI). Le but de la LKD Facility est de promouvoir les compétences industrielles des jeunes dans les économies émergentes. Opérant conjointement avec le secteur privé par le biais des Partenariats de développement public privé (PDPP), la LKD Facility soutient la création et l'amélioration des centres locaux de formation industrielle afin qu'ils puissent répondre aux demandes croissantes du marché de l'emploi en matière de main-d'oeuvre qualifiée, contribuant ainsi au développement industriel inclusif et durable.

ONUDI

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Centre international de Vienne,
B.P. 300, 1400 Vienne, Autriche
Tél : +43 (1) 26026-3752
E-mail : lkd-facility@unido.org

www.lkdfacility.org