

EMBRAYAGES

COUPLEURS

JOHO Pierre

LE COUPLEUR

GENERALITES

Le coupleur est un élément de transmission hydraulique de la puissance.

Le fluide hydraulique étant animé d'une vitesse d'écoulement importante, sous faible pression, la transmission est dite hydrocinétique.

La puissance transite au moyen d'un liquide, d'un élément moteur vers un récepteur. Ces deux parties, distinctes, appelées respectivement l'impulseur et la turbine, n'ont aucun lien mécanique entre elles.

La turbine reçoit le couple du moteur issu de l'impulseur grâce au fluide hydraulique.

L'impulseur est directement relié au volant moteur.

Le coupleur et le convertisseur de couple sont, pratiquement, les seuls organes utilisés en mécanique agricole et engins de travaux publics fonctionnant suivant le principe de l'hydrodynamique.

On doit la conception du coupleur à l'ingénieur Allemand Föttinger, qui, vers 1902, étudia la possibilité de loger un impulseur et une turbine dans un même carter.

Les premières réalisations le seront pour la marine marchande.

Les travaux effectués amènent rapidement l'ingénieur Föttinger à apporter certaines modifications au niveau du coupleur, notamment l'adjonction d'un stator, c'est ainsi qu'il met au point en 1905 le convertisseur de couple qui sera utilisé sur les bateaux de guerre Allemands durant la guerre de 1914-1918. Très volumineux et difficiles à mettre en oeuvre sur des matériels légers, coupleur et convertisseur de couple concernent uniquement des applications maritimes jusqu'en 1930.

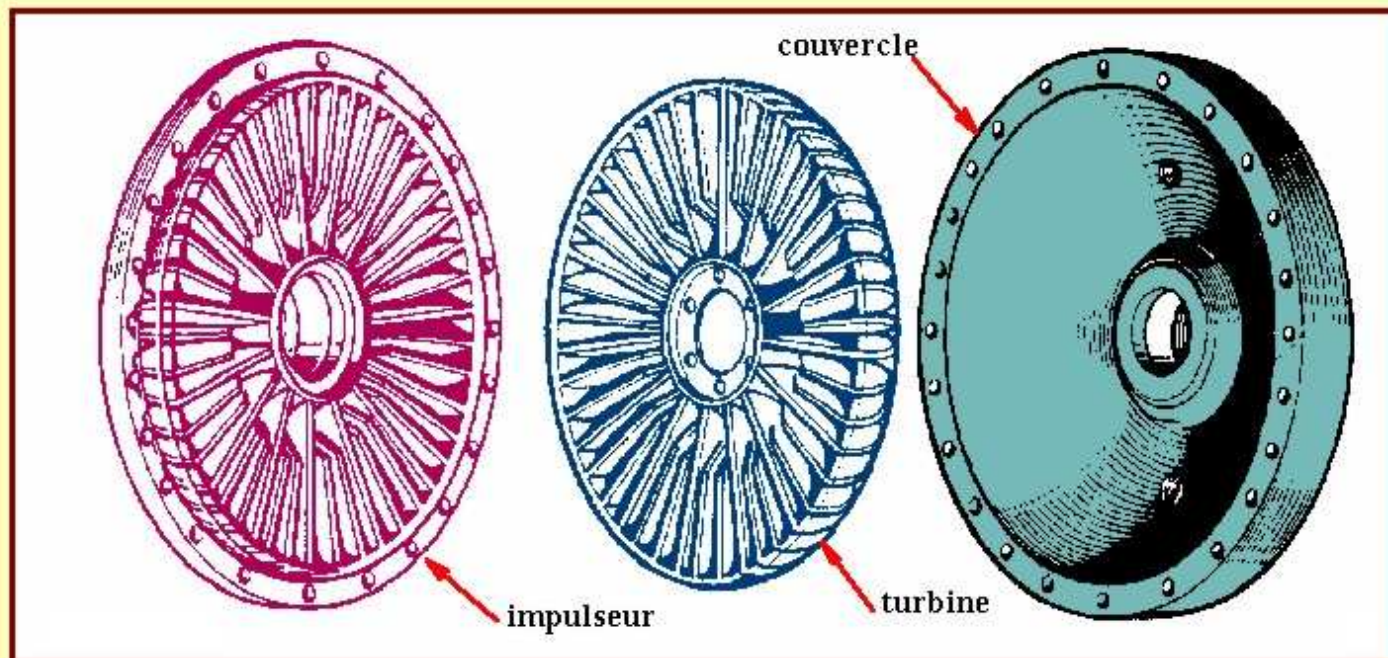
Mis au point pendant la deuxième guerre mondiale sur des blindés Américains, ils trouveront dès 1950 des applications industrielles qui permettront de les adapter sur des engins de génie civil puis sur des tracteurs agricoles.

Constitution d'un coupleur:

La pompe ou impulseur:

Directement fixé sur le plateau d'attente du vilebrequin du moteur, l'impulseur est une pompe centrifuge qui puise l'huile près de l'axe de rotation, et la projette vers l'extérieur tout en l'entraînant dans sa rotation.

La forme de la pompe représente un demi tore dans lequel sont fixées radialement une série d'ailettes plates.



Constitution d'un coupleur

La turbine:

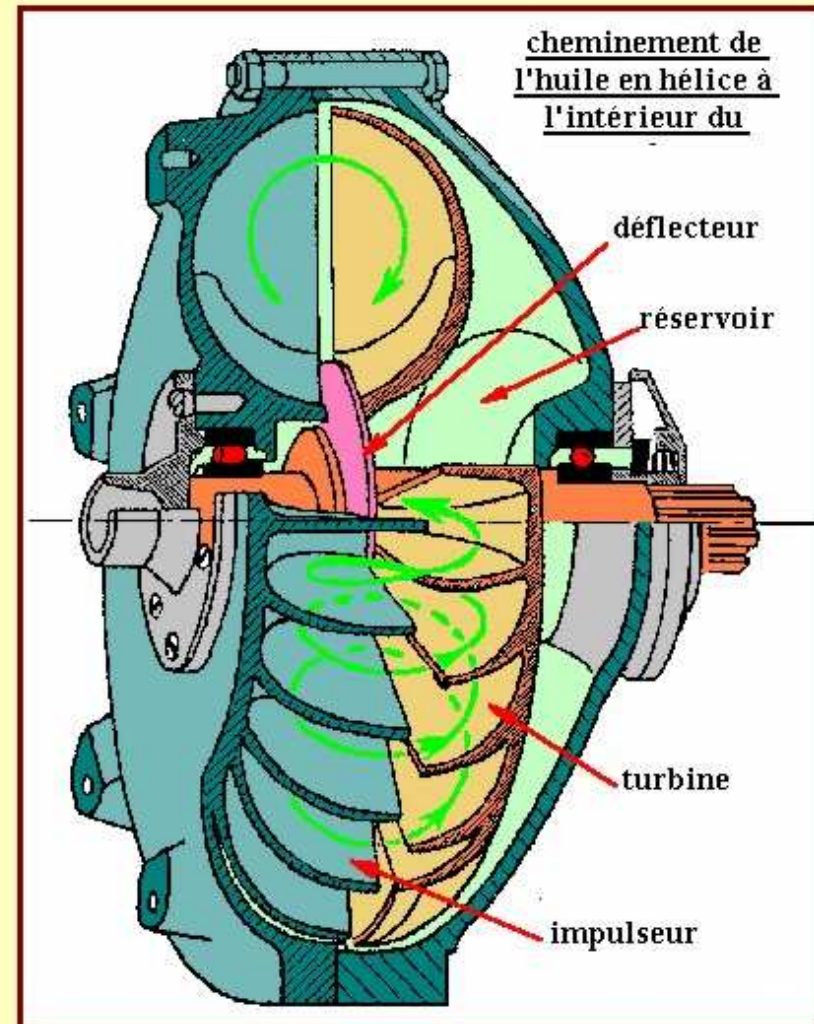
La turbine n'a aucun lien mécanique avec la pompe.

Dans le cas où la boîte de vitesses est semi automatique, elle est directement reliée à l'arbre primaire.

Dans le cas où le coupleur est associé à une boîte de vitesses mécanique, un embrayage à disque est intercalé entre la turbine et l'arbre primaire: il permet le passage des différents rapports.

La turbine est un récepteur centripète, elle reçoit l'huile provenant de la pompe à l'extérieur du tore et la renvoie vers le centre de manière à ce qu'à sa sortie, elle soit reprise par l'impulseur.

La turbine est en tout point identique à l'impulseur; ainsi le coupleur est réversible. De ce fait le frein moteur est conservé et l'on peut éventuellement démarrer le moteur en remorquant un engin doté d'un coupleur associé à une boîte de vitesses mécanique.



Constitution d'un coupleur

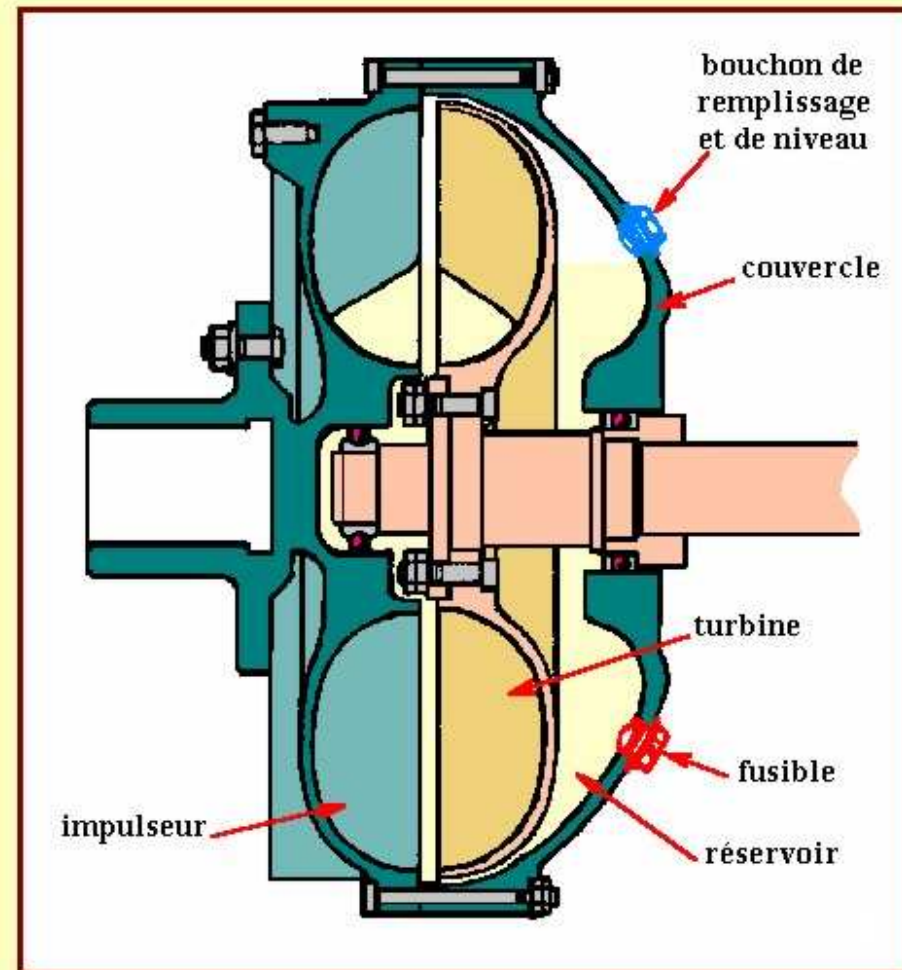
Le couvercle:

C'est le couvercle qui constitue l'impulseur dans la majorité des solutions retenues. Il est directement fixé sur le volant moteur. Le couvercle est doté des bouchons de vidange et de niveau (parfois communs) le coupleur n'est jamais entièrement rempli d'huile. La partie extérieure du couvercle est pourvue d'une série d'ailettes, elles assurent un brassage de l'air à l'intérieur de la cloche d'embrayage de manière à évacuer les calories produites par le fonctionnement du coupleur.

Une pastille étanche obture un orifice pratiqué dans le couvercle. Cette pastille joue le rôle de fusible, elle fond en cas d'échauffement excessif de l'huile dû à un glissement prolongé (à environ 150°).

L'élévation de pression qui résulte de la montée en température est libérée par cet orifice afin de protéger le couvercle d'un éventuel éclatement.

La pastille agit comme un fusible, dès son ouverture le coupleur se vide, la transmission étant interrompue par manque d'huile, les composants du coupleur sont protégés.



coupleur à remplissage progressif

Fonctionnement du coupleur:

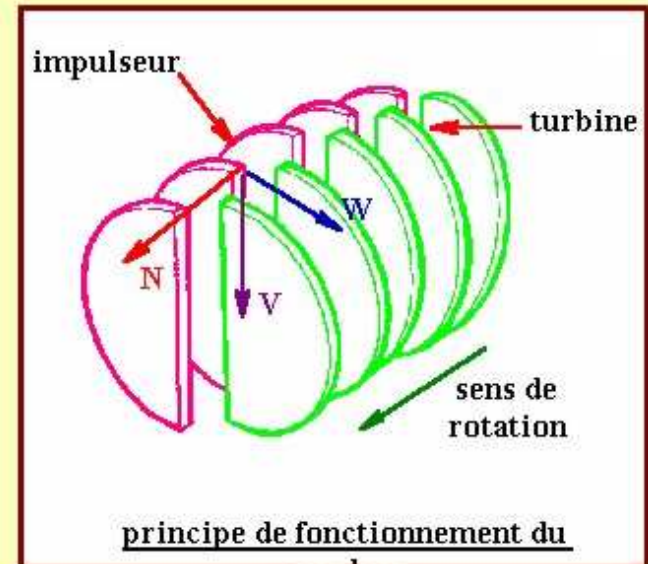
L'impulseur fonctionne de la même manière qu'une pompe centrifuge (donc non volumétrique).

Si l'on considère une goutte isolée du fluide contenu dans le coupleur, sa trajectoire sera la résultante des deux forces engendrées par la rotation de la pompe:

- cette goutte sera soumise en premier lieu à la force centrifuge qui tend à la projeter radialement du centre de la pompe vers l'extérieur. La pompe ayant une forme incurvée, dès sa sortie, la goutte est dirigée vers la turbine **W**.
- comme la pompe tourne, cette goutte est également poussée par une ailette et entraînée dans sa rotation **N**.
- la goutte a pour trajectoire finale la résultante de ces deux forces **V**.

La direction et l'intensité de la résultante seront fonction des régimes de rotation respectifs de l'impulseur et de la turbine.

C'est cette force résultante qui vient s'appliquer sur la turbine et qui tend à la faire tourner. La turbine est très proche de l'impulseur (quelques millimètres); de ce fait, la vitesse d'entrée du fluide dans la turbine est égale à sa vitesse de sortie de l'impulseur.



Couple transmis:

Lors de son passage dans la turbine, l'huile sera ralentie d'une valeur égale à son accélération dans la pompe.

La vitesse à laquelle le fluide revient au centre de la pompe est égale à la vitesse de sortie de la turbine. Pour cette raison, dans un coupleur, le couple sur l'arbre de sortie (boîte de vitesses) est égal au couple d'entrée (moteur).

le couple transmissible par un coupleur est donné par la formule simplifiée suivante:

$$C_t = k \cdot \omega^2 \cdot D^5$$

C_t : en m.N

k : coefficient généralement compris entre 0,8 et 6

ω² : régime de rotation de l'impulseur en rad/s

D⁵ : diamètre extérieur de l'impulseur et de la turbine en m

On constate que le couple transmis est proportionnel à la puissance cinquième du diamètre, proportionnel au carré du régime de rotation et proportionnel au coefficient **k**.

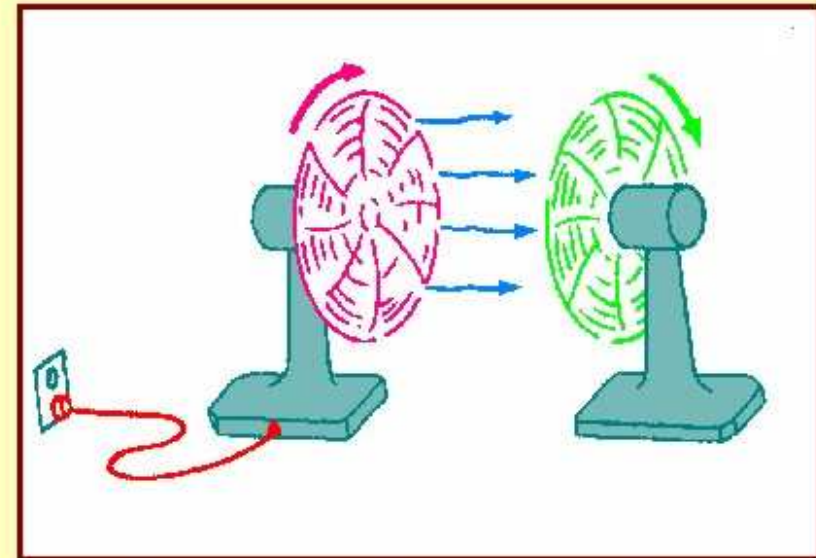


Illustration du fonctionnement d'un coupleur dans lequel le ventilateur moteur représente l'impulseur, tandis que le ventilateur opposé entraîné par la force du courant d'air qui vient s'appliquer sur ses ailettes, représente la turbine.

Taux de remplissage

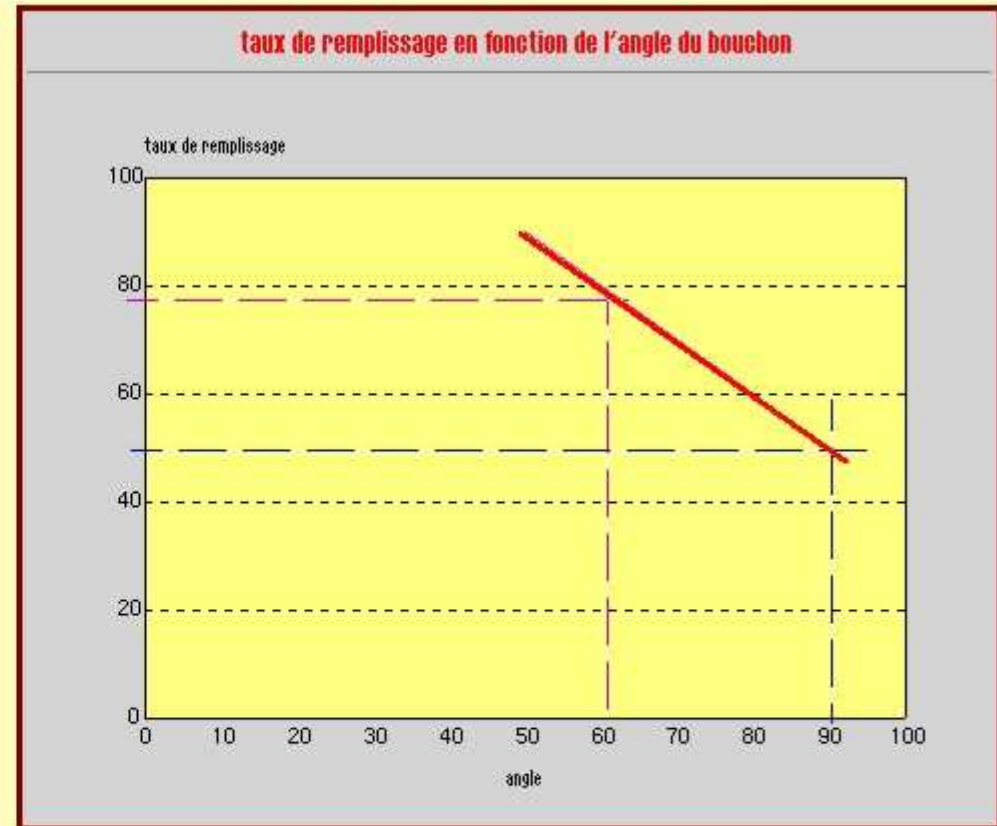
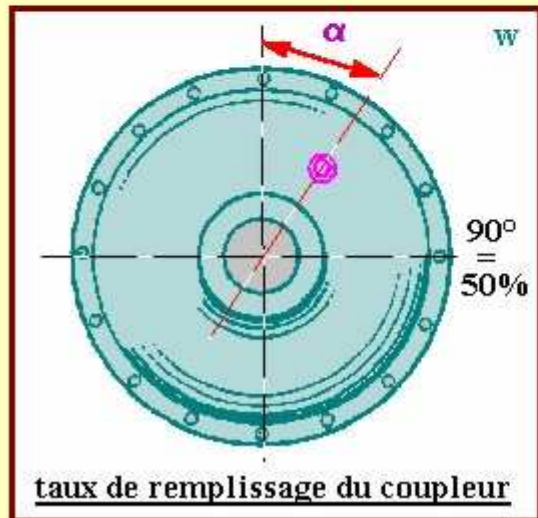
Le facteur k est le produit de la masse volumique du liquide utilisé par un coefficient qui tient compte du glissement et du taux de remplissage du coupleur.

$$k = \rho f(g, \beta)$$

ρ : masse volumique du fluide hydraulique

g : glissement

β : taux de remplissage



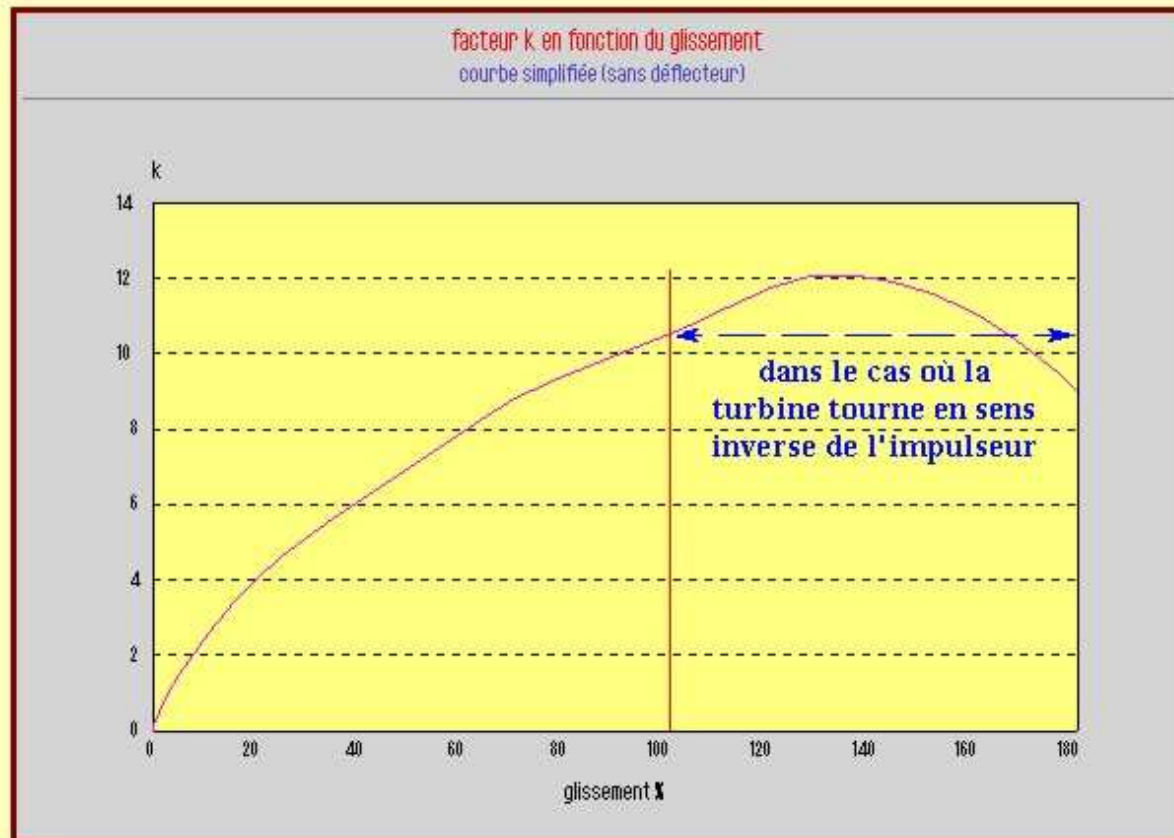
Le taux de remplissage varie en fonction de l'angle, appliqué par rapport à la verticale, au bouchon situé sur le carter.

Pour un glissement et un fluide déterminés, le facteur k est directement fonction du taux de remplissage.

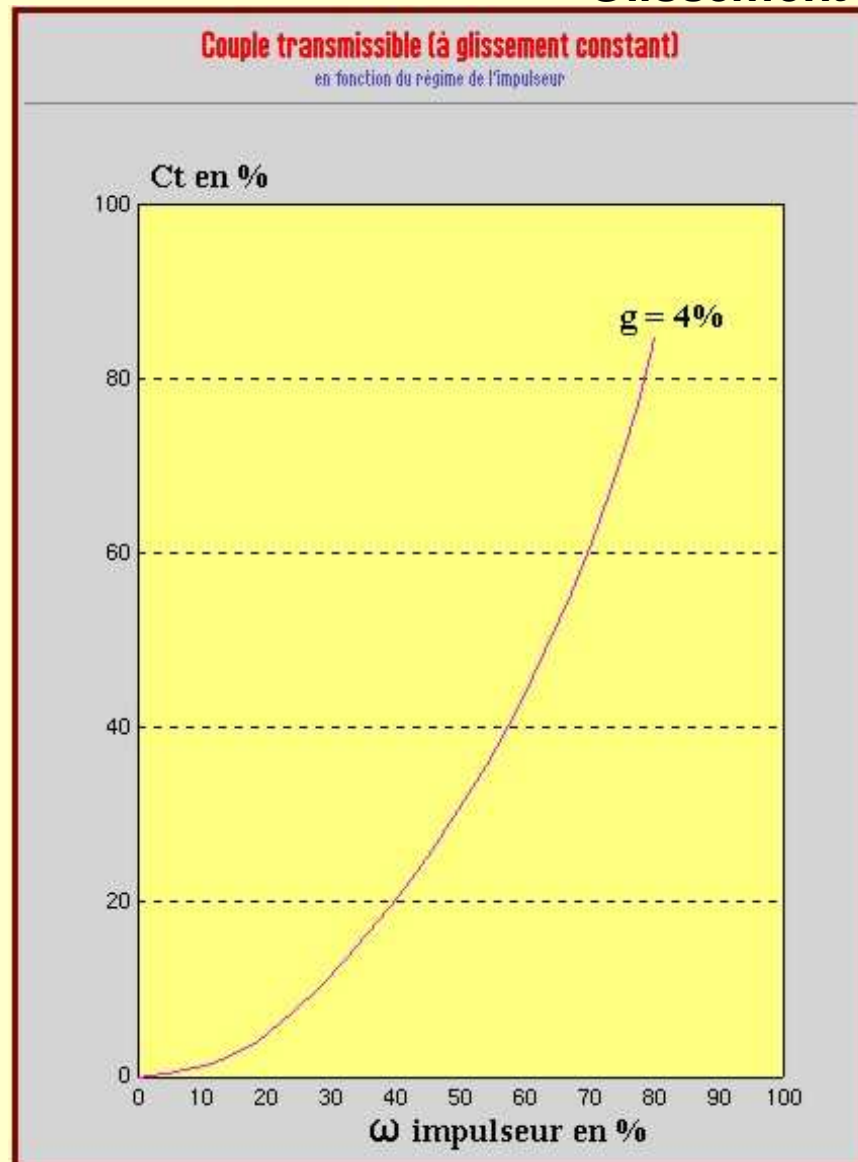
Glissement

Il se trouve que le facteur k est très élevé lorsque le glissement est important puisqu'il peut rapidement varier de 1 à 15 en fonction du pourcentage de glissement.

Etant donné que le couple transmis est directement proportionnel au facteur k , pour que le coupleur remplisse pleinement son rôle de progressivité les constructeurs sont amenés à déterminer expérimentalement les dimensions et la forme d'un déflecteur qui diminue le couple de traînée au ralenti.



Glissement

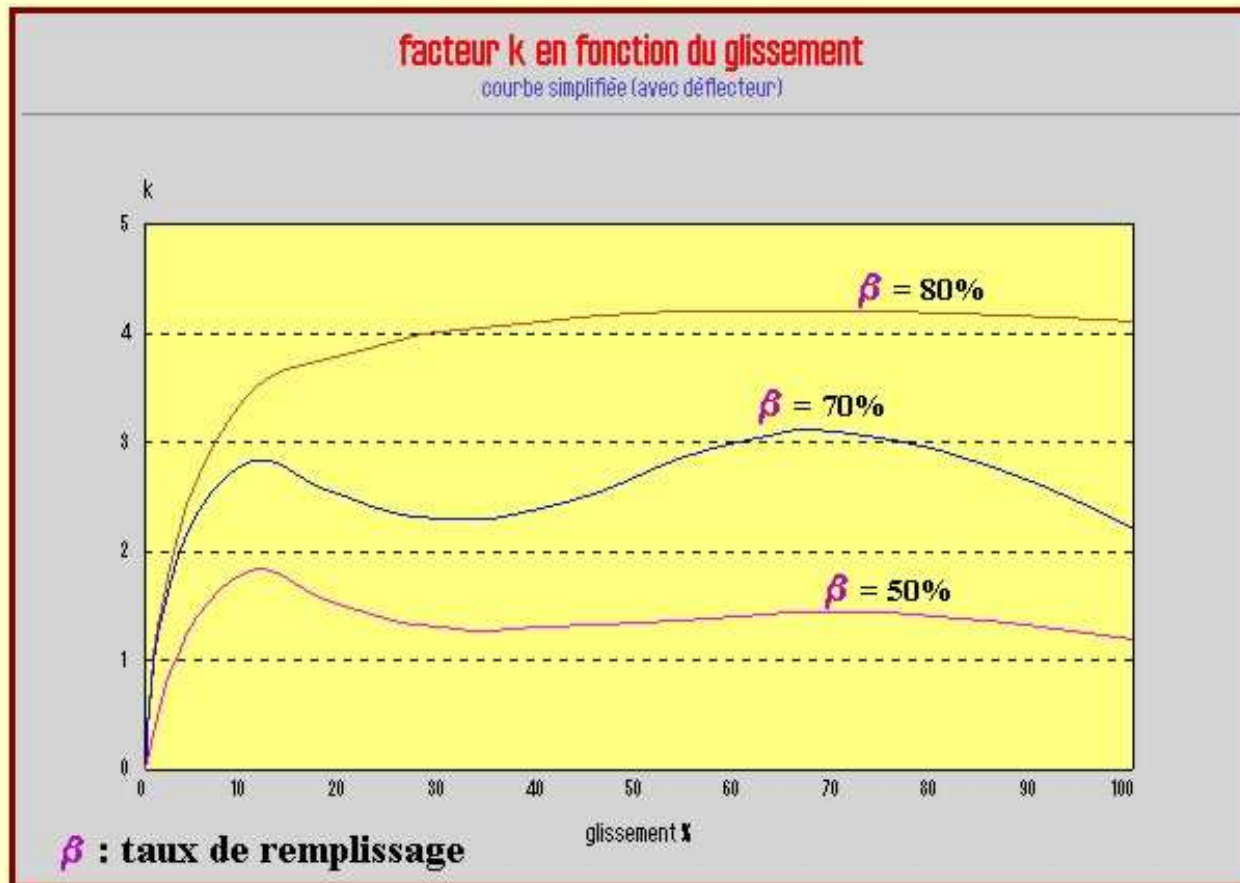


A glissement constant, k est constant donc le couple transmis est proportionnel au carré du régime de rotation de l'impulseur: il a l'allure d'une courbe parabolique.

$$C_t = k \cdot \omega^2 \cdot D^5$$

Lorsque le glissement augmente (augmentation du couple résistant sur la turbine), k augmente, il se produit également une accélération de la masse du fluide, la force W augmente donc la force résultante V , ce qui a pour effet d'augmenter le couple transmissible.

Glissement



Engin à l'arrêt, lorsque le glissement est de 100%, le déflecteur limite l'amplitude du facteur k entre 1 et 6, de sorte que lorsque l'on veut s'arrêter, le moteur, en ralentissant, fait diminuer le couple transmis (en fonction de ω^2) sans déflecteur le facteur k aurait tendance à augmenter provoquant au fur et à mesure de l'arrêt de la turbine un effet inverse c'est à dire une nouvelle augmentation du couple transmis: ω^2 et k évoluant en sens opposé.

Lorsque le glissement s'annule, k a tendance à s'annuler, de plus, il se produit une décélération de la masse du fluide jusqu'à ce que la force W s'annule et par conséquent la force résultante V : **aucun couple n'est transmis** puisque l'huile ne circule plus radialement entre les deux aubes.

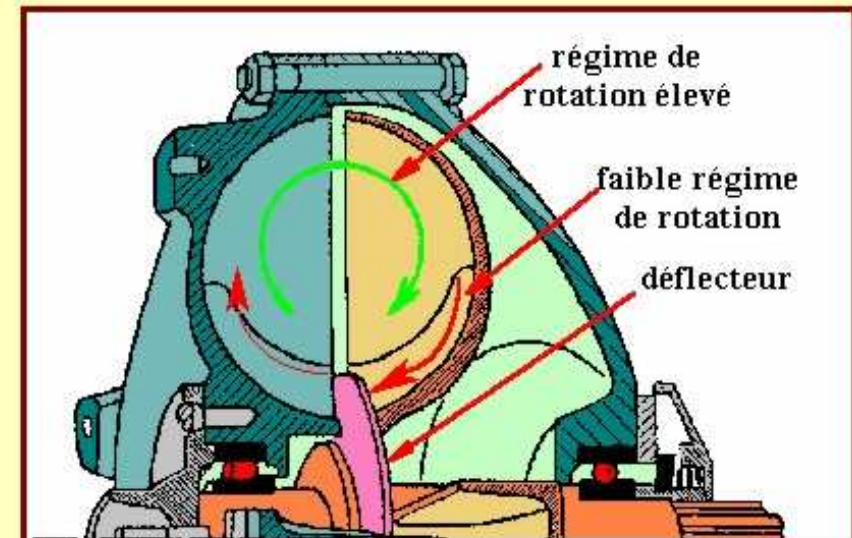
Couple de traînée au ralenti:

Au ralenti, bien que le liquide soit peu sollicité, sa circulation de la pompe vers l'impulseur est suffisante pour provoquer l'avancement de l'engin et nécessiter qu'il soit retenu au frein.

De manière à neutraliser la transmission du couple provoqué par la libre circulation de l'huile dans le tore qui la contient, on monte un déflecteur au centre de la turbine afin de limiter la vitesse de circulation de l'huile à l'admission de la pompe.

La hauteur de ce déflecteur doit être telle qu'il agisse au ralenti mais ne perturbe pas le rendement du coupleur à haut régime.

Par son action, le déflecteur évite les démarrages trop brusques et le calage du moteur au ralenti.



Au ralenti, le déflecteur agit en s'opposant à la libre circulation de la veine de fluide; en créant une perte de charge, il diminue la vitesse de circulation de l'huile W , donc limite le couple transmis.

Lorsque, pour des régimes élevés le glissement reste faible (2 à 15 %), la veine de liquide n'est pas perturbée par le déflecteur car la circulation de l'huile W se fait beaucoup plus lentement (puisque le glissement a diminué), et au delà du déflecteur dans la zone du tore où la circulation est libre.

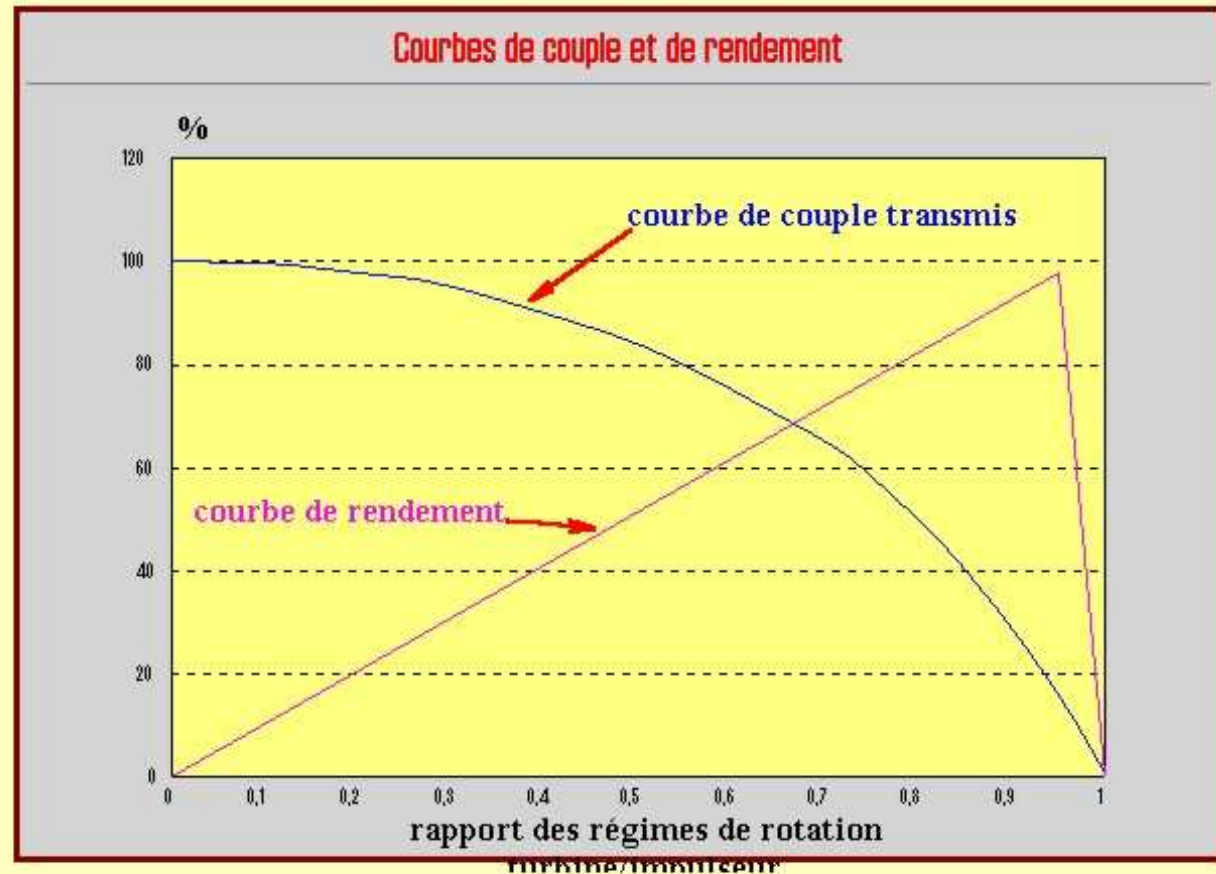
Bilan technique:

La principale caractéristique du coupleur réside dans le fait qu'il permet d'appliquer le couple maximal du moteur au démarrage, alors que l'engin est encore à l'arrêt.

Aucun autre type d'embrayage si élaboré soit-il n'est capable d'assurer cette fonction sans se détériorer.

Cet avantage permet dans certains cas de limiter le nombre de rapports de la boîte de vitesses et prédestine le coupleur aux engins de traction.

Le fluide hydraulique utilisé pour effectuer le lien entre le moteur et la transmission, joue un rôle de filtre à vibrations et à à-coups.



La transmission du couple s'effectue progressivement lors des accélérations et les vibrations dues aux inégalités cycliques du moteur sont fortement atténuées en direction de la transmission.

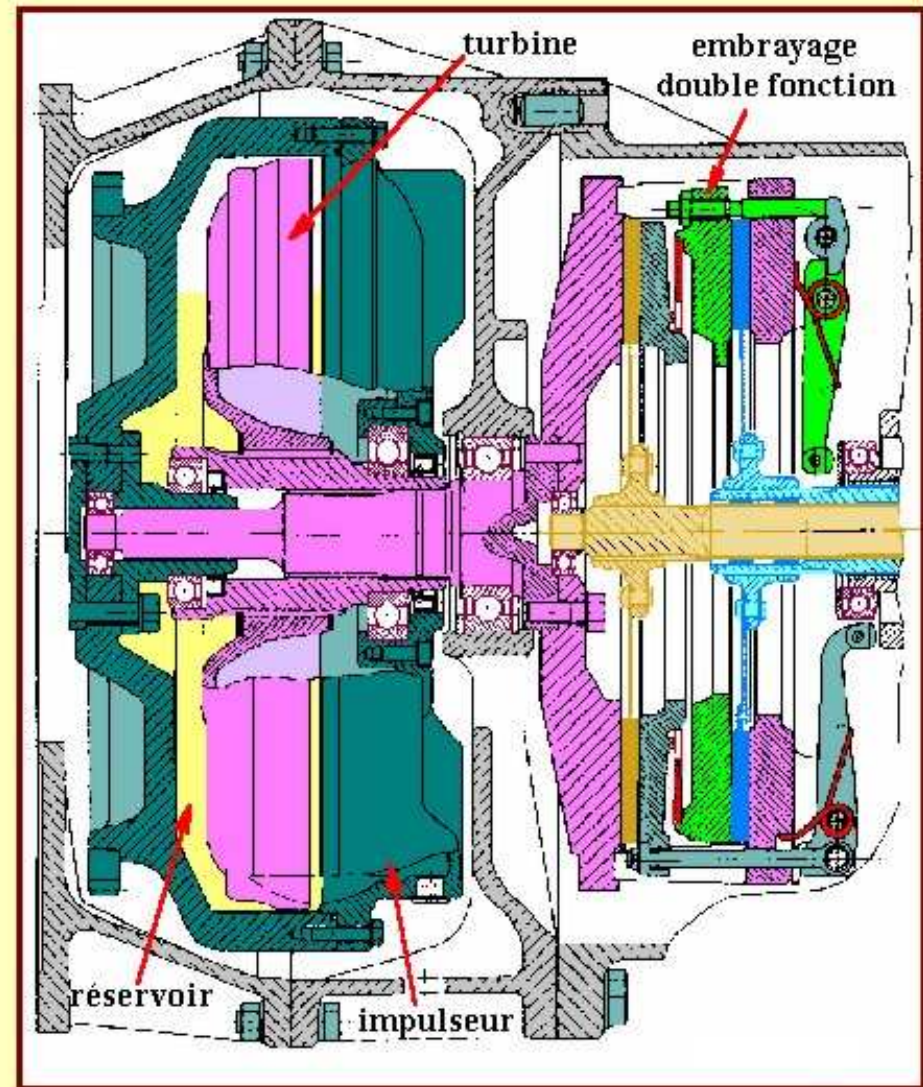
Bilan technique

Etant donné que le retour au ralenti du moteur entraîne une diminution du couple transmis, le risque de calage du moteur et les à-coups qui en résultent est quasiment éliminé.

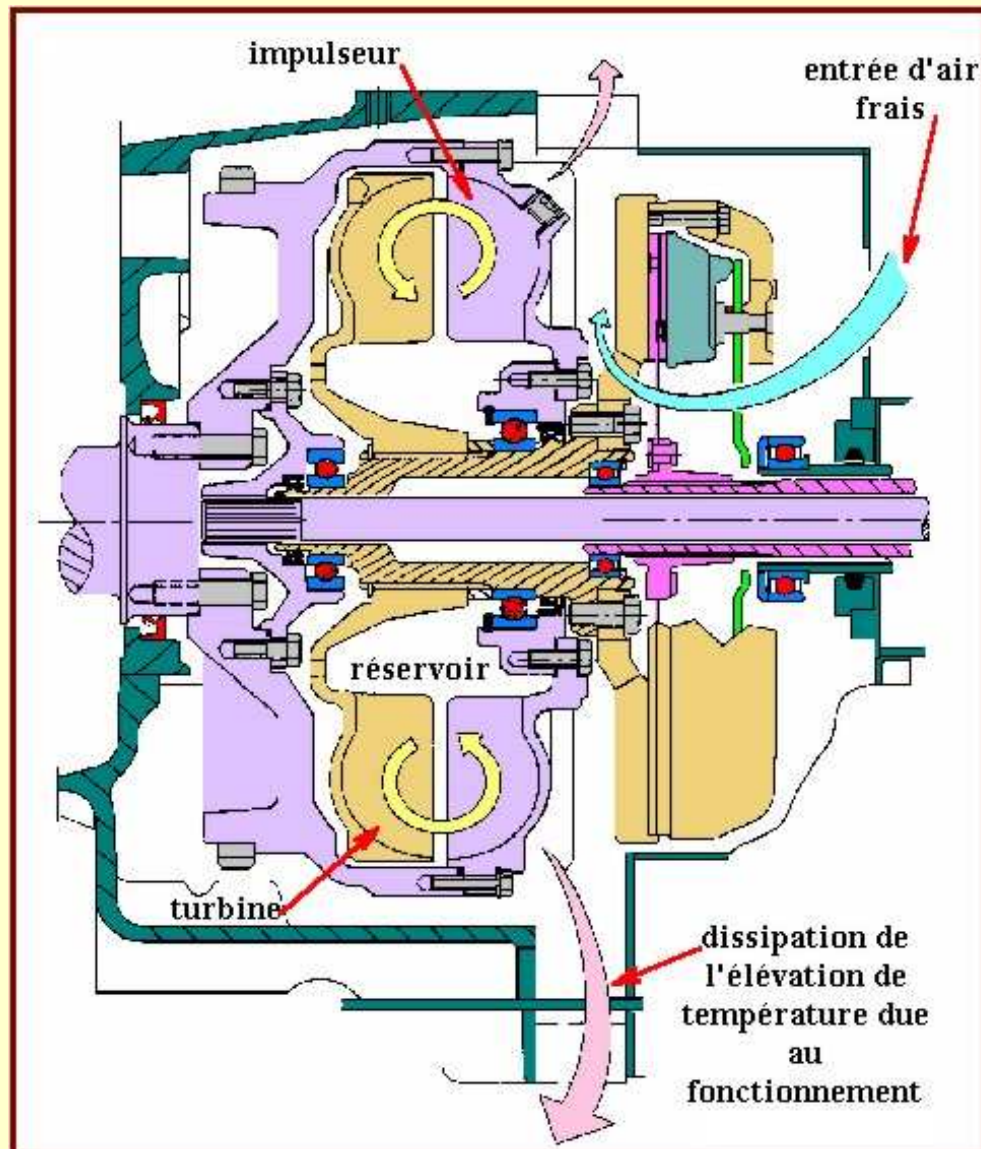
L'ensemble de ces avantages a pour conséquence de ménager les organes de la transmission, ce qui permet de réduire sensiblement l'usure et les risques d'avarie par rupture. En contre partie, le couple de traînée, parceque difficile à maîtriser, constitue un inconvénient majeur dans le cas où le coupleur précède une boîte de vitesses mécanique.

L'adjonction d'un mécanisme d'embrayage mécanique simple ou double effet (ou double fonction) est alors nécessaire afin d'assurer le passage des rapports dans toutes les conditions de transmission de couple et de vitesse.

Bien que très satisfaisant, le rendement du coupleur engendre toutefois une augmentation de la consommation de carburant à cause des régimes de rotation intermédiaires par lesquels on transite au moment du changement de rapport.



Exemple



Exemple:

Les tracteurs Valmet de la série 6000 peuvent être équipés, en option, d'un coupleur hydraulique.

Le coupleur assurant, entre autres, la progressivité et la filtration des vibrations et des à coups, le disque de l'embrayage à diaphragme est dépourvu des moyeux amortisseur et préamortisseur.

L'embrayage permet le changement des rapports en isolant la boîte de vitesses mécanique du couple de traînée du coupleur.

La circulation de l'air nécessaire au refroidissement est assurée par des ouïes pratiquées dans les carters, l'air circule du centre vers l'extérieur soumis à un effet de pompe centrifuge.

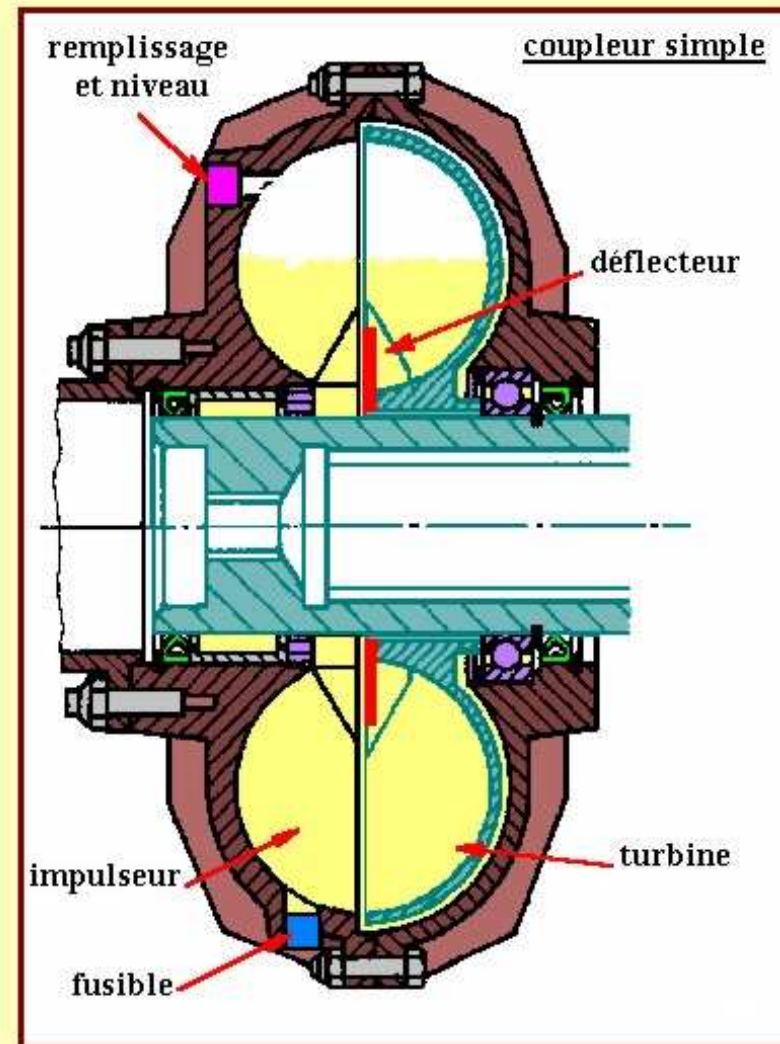
Différentes améliorations apportées aux coupleurs:

Le coupleur à remplissage constant:

C'est le coupleur le plus rudimentaire, dans un coupleur à remplissage constant, le fluide hydraulique est entièrement contenu dans la cavité constituée à l'intérieur des aubes.

Le carter est ajusté autour de la turbine et ne contient pas de réserve d'huile.

Au démarrage, le taux de remplissage étant maximal et le glissement égal à 100%, le facteur k_a , pour un fluide donné, sa valeur maximale, le couple transmis est donc élevé et de ce fait la progressivité au démarrage réduite.



Le coupleur à remplissage progressif à réservoir:

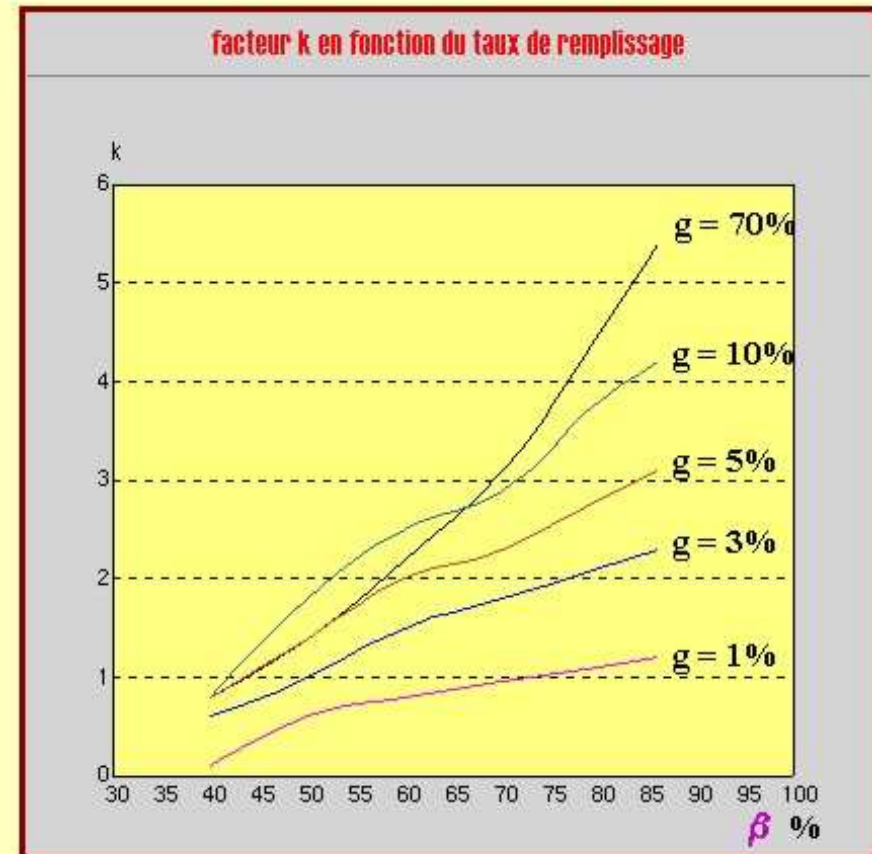
Le remplissage progressif du coupleur permet d'influer sur le facteur k par l'intermédiaire du taux de remplissage β [$k = \rho f(g, \beta)$].

Le facteur k est faible lorsque le remplissage est peu important, donc au ralenti, le couple transmis étant limité au départ, il augmente plus progressivement en fonction du régime de rotation.

Le coupleur à remplissage progressif est doté d'un réservoir dans lequel l'huile se cantonne tant qu'elle est peu sollicitée par la force centrifuge, c'est à dire pour des régimes de rotation peu élevés de l'impulseur .

Ce réservoir est parfois aménagé simplement en laissant un vide entre le turbine et le carter.

Au fur et à mesure de l'augmentation de régime, l'huile du réservoir conduite par la force centrifuge vers la périphérie du carter pénètre, par le jeu existant entre l'impulseur et la turbine dans le circuit actif.



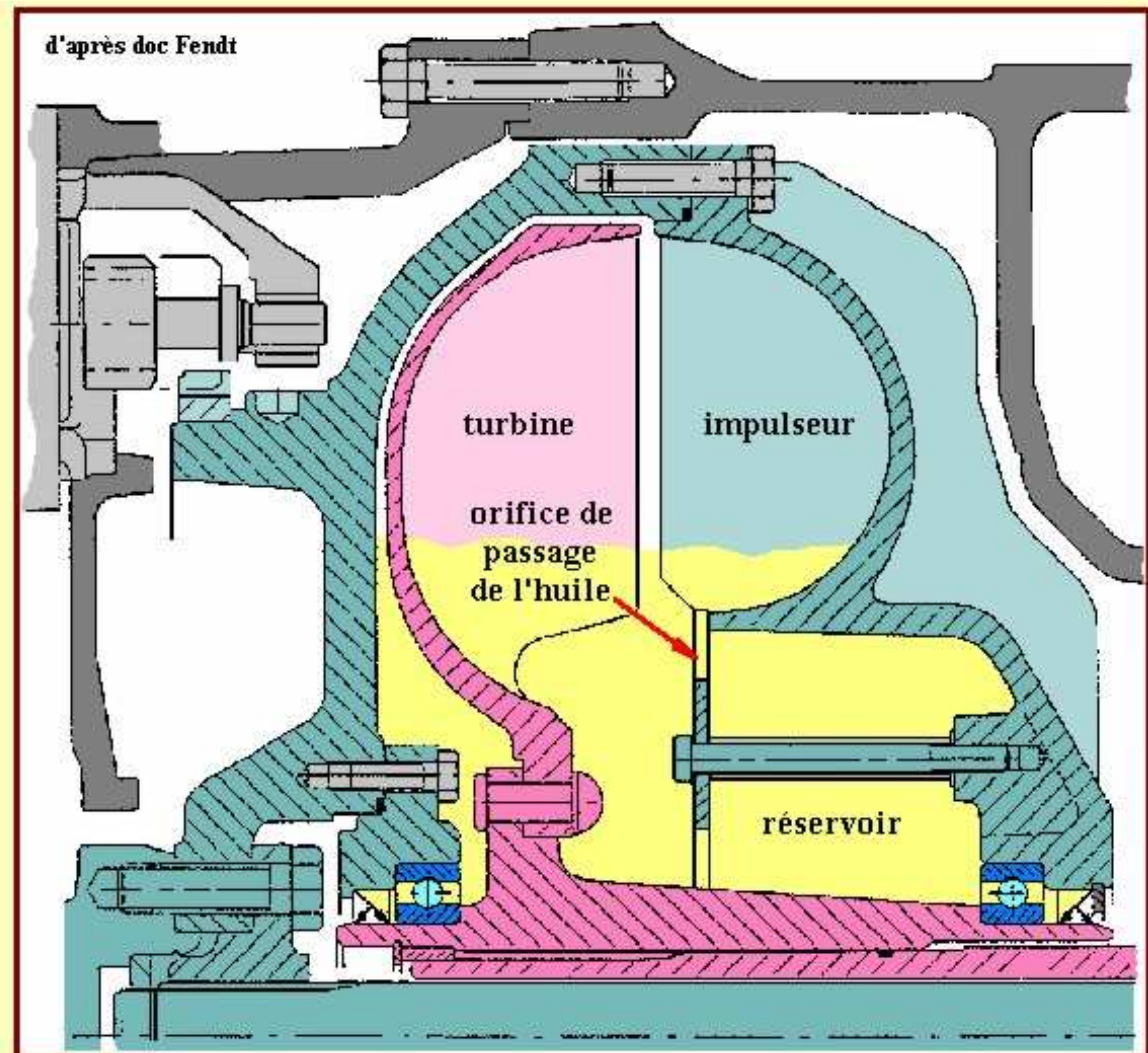
Cette solution est intéressante car on peut constater que le facteur k varie d'autant plus que le glissement est important, c'est à dire au démarrage.

Le coupleur à remplissage progressif à chambre de retardement:

La chambre de retardement est généralement constituée d'une cavité faisant office de réservoir située proche de l'axe de rotation.

Ce réservoir est en communication avec le coupleur au moyen d'un orifice calibré qui oblige l'huile à rentrer progressivement dans le circuit des aubes au fur et à mesure que le régime de rotation de l'impulseur augmente.

Le couple maximal transmissible est atteint lorsque le réservoir est vide et que le coupleur a atteint son taux de remplissage maximal.



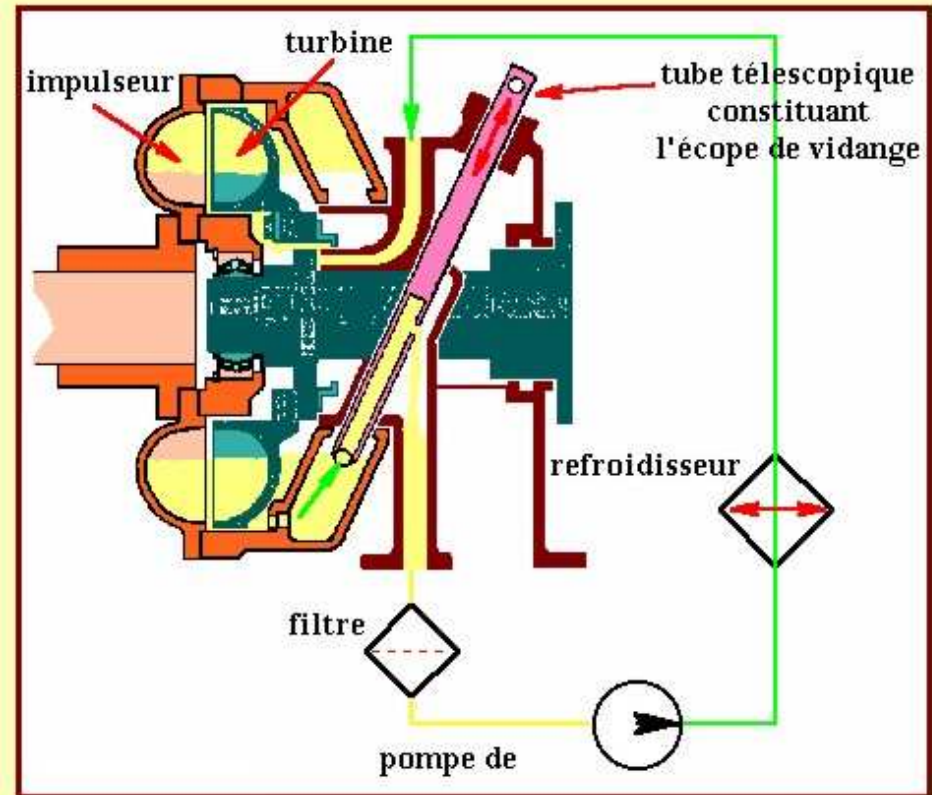
Ce coupleur à chambre de retardement équipe certains tracteurs Fendt, ses caractéristiques font que l'huile contenue dans le réservoir est totalement entrée dans le circuit de travail au moment où le régime de rotation du moteur correspond à celui où il développe son couple maximal.

Le coupleur à remplissage commandé:

Ce coupleur possède un dispositif qui permet de faire varier son taux de remplissage à la demande de l'utilisateur. De cette manière, on peut contrôler, par l'intermédiaire de la quantité d'huile que l'on admet entre les aubes de l'impulseur et de la turbine, le couple et le régime de rotation transmissible à la turbine.

Ces coupleurs sont appelés à écope (de remplissage ou de vidange suivant leur type) lorsqu'un tube plongeur télescopique permet de gérer la quantité d'huile admise entre les aubes.

Ce tube peut être à commande manuelle ou bien asservi à un dispositif de régulation électrohydraulique.



Exemple de coupleur à remplissage commandé par écope de vidange

Certains coupleurs sont alimentés grâce à une pompe hydraulique de circulation qui permet de faire circuler le fluide vers un refroidisseur qui, lorsqu'on sollicite un glissement prolongé, dissipe la puissance sous forme de chaleur.

Le fait de pouvoir vidanger le fluide contenu entre les aubes permet de débrayer totalement le coupleur.

L'association du coupleur a un moteur thermique:

Suivant l'utilisation envisagée de l'engin, on peut faire en sorte (en influant notamment à la construction sur le diamètre du coupleur) que la courbe de couple transmissible par le coupleur intercepte la courbe de couple du moteur lorsque le couple disponible est maximal.

On obtient ainsi, sur un engin de traction, la possibilité de transmettre au démarrage, lorsque le glissement est égal à 100%, le couple maximal que le moteur est capable de développer.

Au fur et à mesure que le couple résistant diminue, le glissement devient moins important et le rendement augmente jusqu'à la transmission de la quasi puissance maximale du moteur.

En fonction du point de convergence choisi le coupleur agira en limiteur de couple protégeant ainsi la transmission avec souplesse.

La puissance transmise étant: $P = k \cdot \omega^3 \cdot D^5$

