

EMBRAYAGES

CONVERTISSEUR

JOHO Pierre

LE CONVERTISSEUR DE COUPLE

GENERALITES

Le convertisseur de couple ressemble beaucoup au coupleur. Seule, au premier abord, l'adjonction d'une troisième pièce nommée stator, capable de provoquer la multiplication du couple, les distingue.

La mise au point du convertisseur de couple est l'aboutissement des travaux entrepris par l'ingénieur Fottinger, travaux qui avaient débuté par la mise au point du coupleur.

L'idée de loger un réacteur ou stator, pièce fixe placée entre l'impulseur et la turbine d'un coupleur, a permis de réaliser un accouplement hydraulique capable de multiplier ou de démultiplier le couple du moteur.

Plus le facteur de multiplication du couple est élevé et plus le rendement du convertisseur de couple est faible; ce qui veut dire que la multiplication du couple absorbe de la puissance, laquelle est évacuée sous forme de chaleur par le circuit hydraulique.

Le convertisseur de couple multiplie le couple du moteur lorsque le régime de rotation de la turbine diminue, il agit comme une boîte de vitesses automatique qui posséderait un nombre illimité de rapports: le convertisseur de couple est une transmission hydrocinétique à variation continue du rapport de transmission.

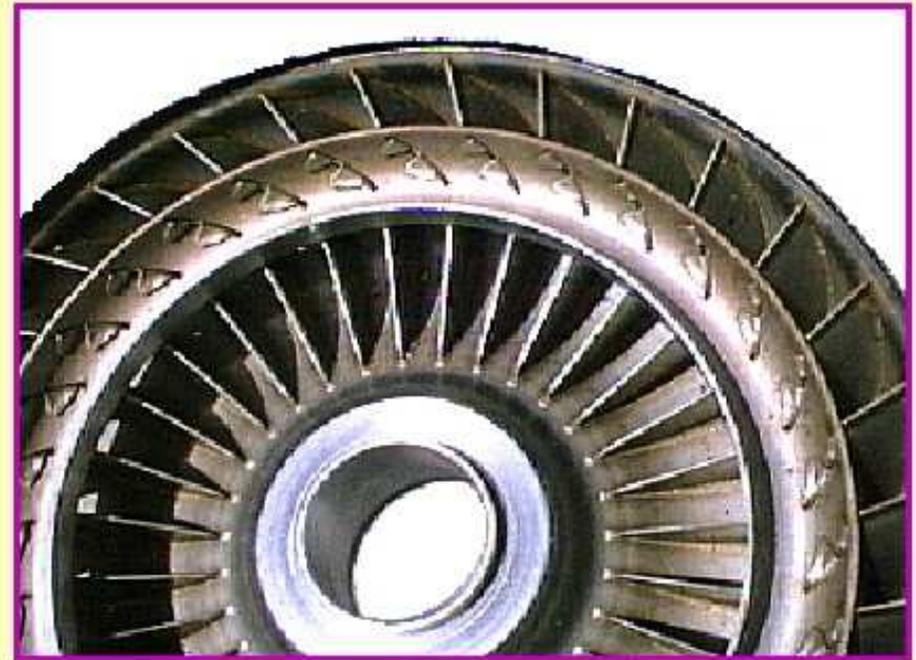
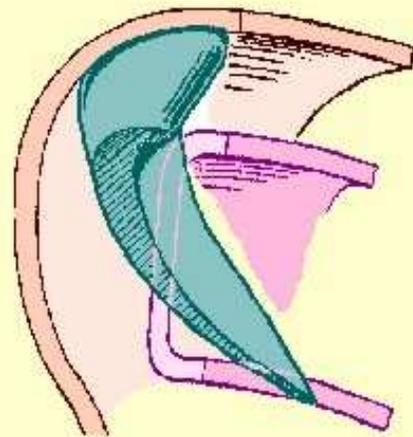
Constitution d'un convertisseur de couple:

La pompe et la turbine:

La pompe et la turbine sont constituées d'ailettes dont le rayon de courbure est particulièrement étudié.

Elles peuvent être en alliage léger coulé ou bien en tôle emboutie, sertie et soudée. Ce dernier montage permet l'assemblage d'un plus grand nombre d'ailettes.

détail d'une ailette de turbine en alliage



impulseur dont les ailettes sont en tôle emboutie

L'impulseur possède toujours 5 à 10% d'ailettes de plus que la turbine, de manière à éviter les phénomènes de résonance.

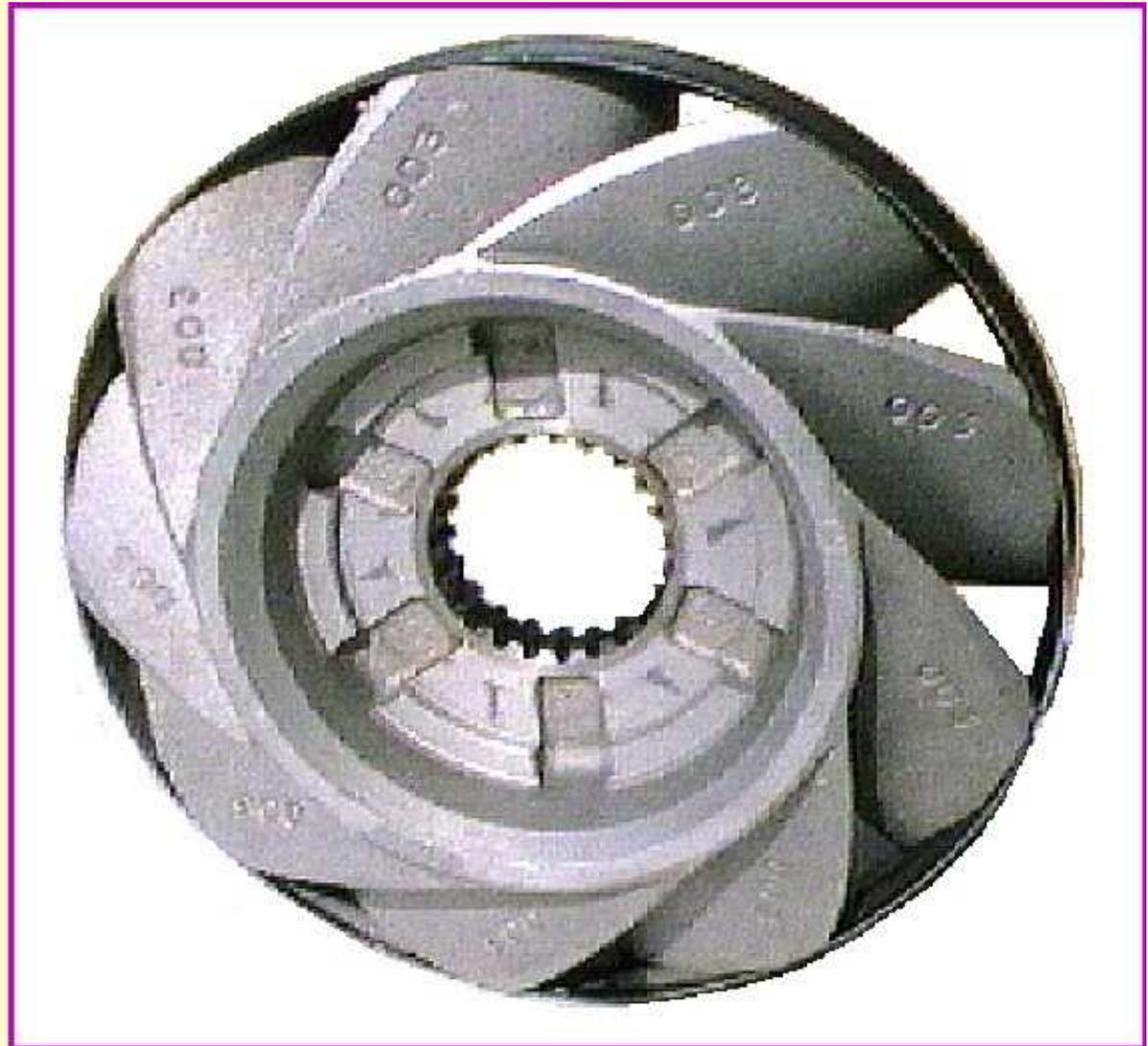
Plus les ailettes ont une courbure prononcée, et plus la capacité à multiplier le couple est grande.

Le réacteur ou stator:

La fabrication du réacteur est identique à celle de l'impulseur ou de la turbine, elle est en alliage d'aluminium ou en tôle.

Moins il comporte d'ailettes, plus son coefficient de multiplication du couple est élevé.

Le réacteur est solidaire d'un moyeu directement fixé sur le châssis dans le cas d'un convertisseur de couple monophasé, ou bien monté sur roue libre pour les autres types.

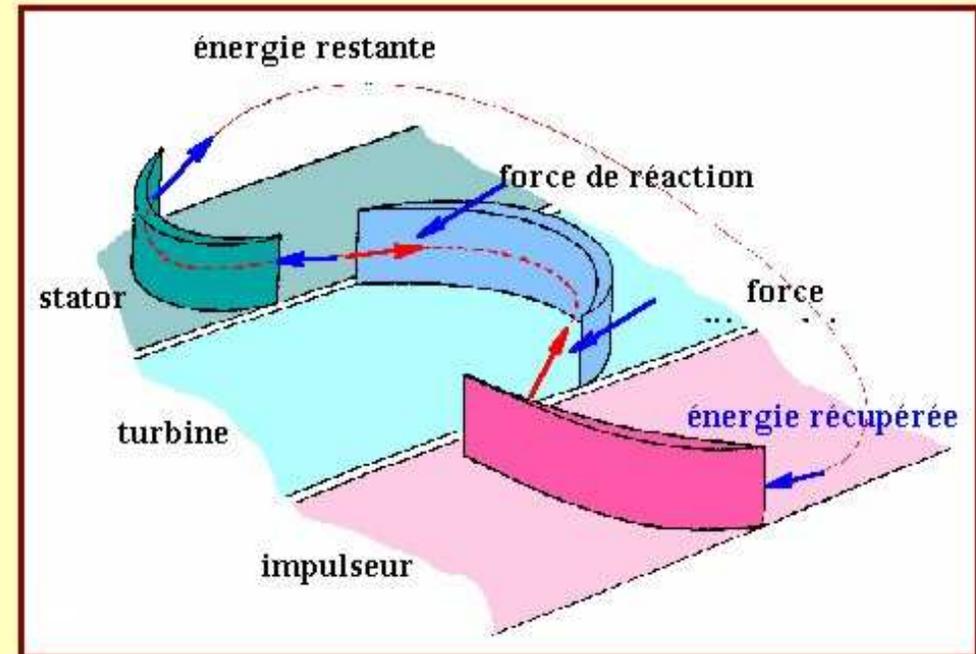


stator en alliage d'aluminium monté sur un moyeu cannelé en acier

Fonctionnement du convertisseur de couple:

Comme le coupleur, le convertisseur de couple répond aux lois de la mécanique des fluides appliquées aux turbo machines.

La pompe communique à chaque particule de fluide une énergie cinétique caractérisée par une vitesse et une force dont la direction et l'intensité sont la résultante d'une force radiale (engendrée par la force centrifuge) et d'une force tangentielle (engendrée par la poussée de l'aube entraînée en rotation).



La turbine reçoit l'énergie cinétique que lui communique la pompe et la restitue à la transmission sous forme d'énergie mécanique. Ce principe s'applique à la fois au coupleur et au convertisseur de couple.

Les améliorations apportées au coupleur et qui ont permis l'élaboration du convertisseur de couple consistent entre autres à récupérer l'énergie dont dispose encore le fluide à sa sortie de la turbine.

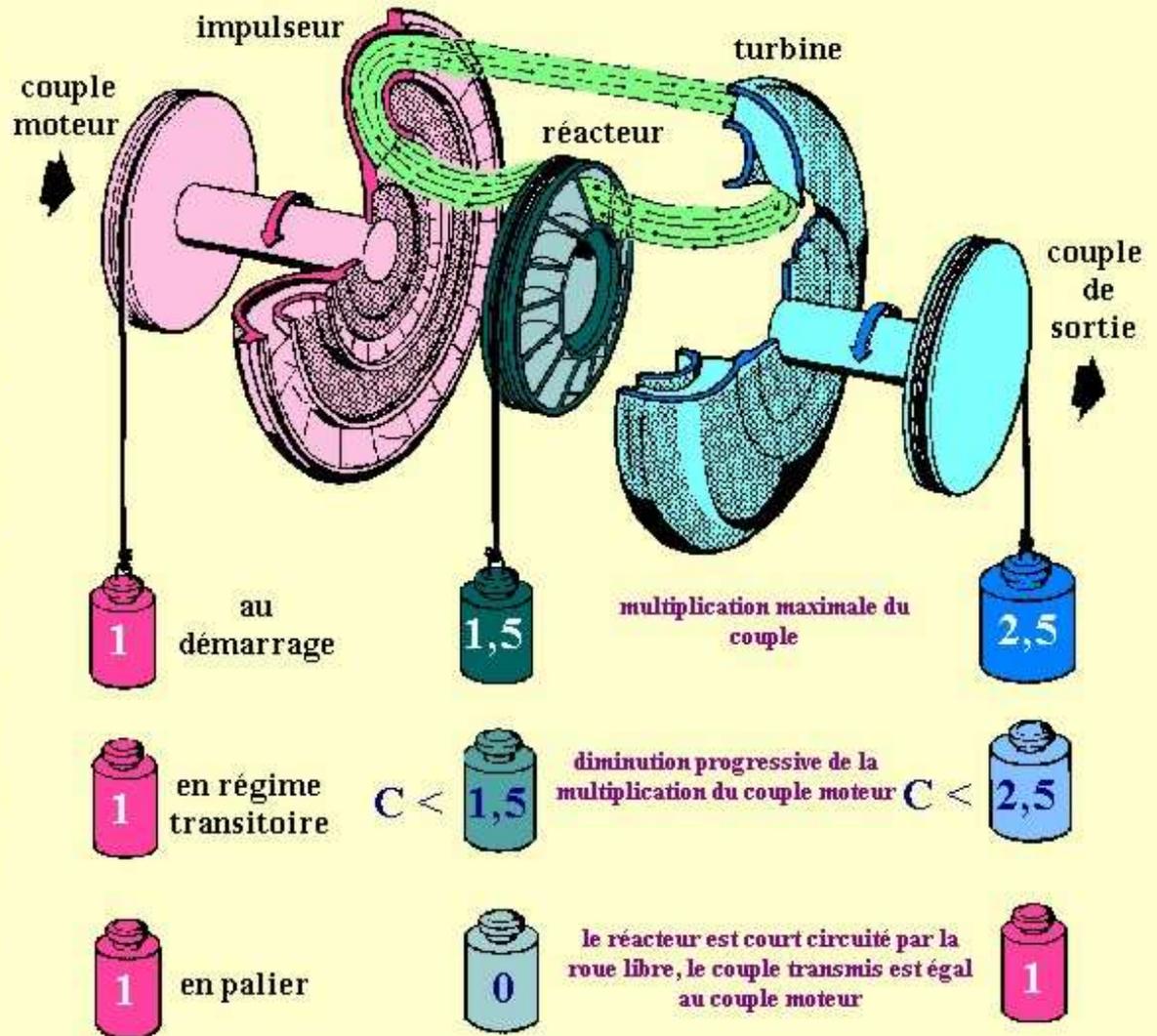
Le stator monté sur le châssis constitue un point fixe de réaction contre lequel vient buter le fluide provenant de la turbine.

différentes phases de fonctionnement d'un convertisseur de couple bi-phasé

La force de réaction vient s'ajouter à l'impact direct provenant de la pompe, ce qui crée une multiplication de l'effort exercé sur la turbine.

L'huile, dès la sortie du stator, circule en sens opposé à celui qu'impose la pompe; cette disposition serait la cause d'un mauvais rendement si la forme étudiée du stator ne permettait pas d'inverser le sens de circulation de l'huile, de sorte que le stator restitue à l'impulseur l'énergie restant à la sortie de la turbine.

Les aubes du stator sont donc inclinées en sens inverse de celles de la turbine de manière à ce qu'elles modifient la direction du fluide, pour qu'à sa sortie il circule dans le sens de rotation de l'impulseur.

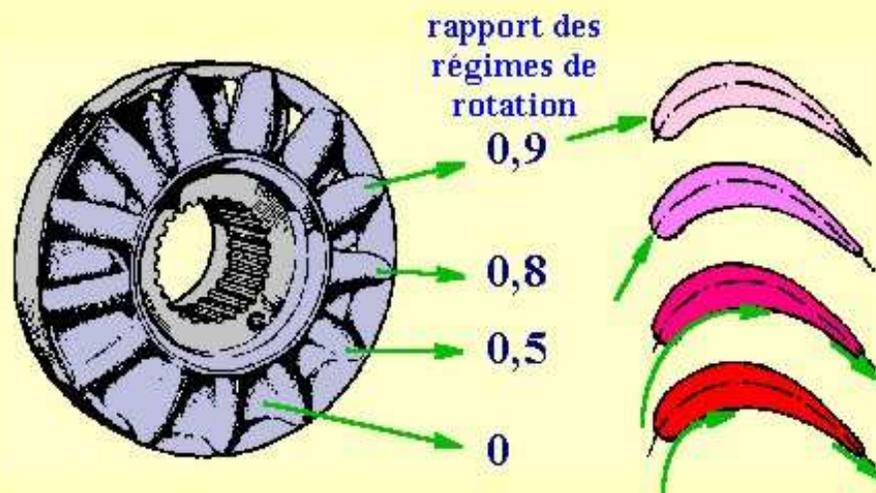


Le réacteur constitue le point fixe de réaction qui permet de multiplier le couple en provenance de la pompe. Le couple appliqué à la turbine est la somme du couple transmis par l'impulseur et du couple de réaction. L'énergie encore emmagasinée par le fluide à sa sortie de la turbine, est renvoyée par le stator à la pompe et permet d'améliorer le rendement.

La particularité essentielle du convertisseur de couple réside dans le fait qu'il adapte automatiquement la multiplication du couple en fonction de l'effort résistant. Plus l'effort résistant augmente et plus grande est la multiplication du couple.

L'augmentation du couple résistant a pour conséquence de ralentir la turbine. Etant donné que le moment d'un fluide en mouvement est égal à sa masse multipliée par sa vitesse, si la vitesse change, le moment est modifié, donc le changement de direction et de vitesse du fluide s'accompagne obligatoirement d'une modification du couple.

Incidence du point d'impact du fluide sur les aubes du stator dans les différentes phases de fonctionnement



Le stator s'oppose à la libre circulation du fluide: s'il est fixe, le couple est démultiplié et le rendement diminue, s'il est monté sur roue libre, le couple transmis devient égal à 1 et le rendement est identique à celui du coupleur.

Phase transitoire entre multiplication ou démultiplication du couple.

Zone de multiplication du couple où le rendement est satisfaisant.

Phase de démarrage la multiplication du couple est maximale, le rendement est nul.

Fonctionnement du convertisseur de couple

Dans un convertisseur de couple le ralentissement de la turbine dû à une augmentation du couple résistant provoque le déplacement du point d'impact de l'huile sur le réacteur, modifiant ainsi la valeur des "bras de levier hydrauliques". De ce fait, le convertisseur de couple provoque automatiquement une variation infinie de vitesses et de couples dans la limite de sa plage de fonctionnement.

Le facteur de multiplication du couple est d'autant plus important que la différence de régime entre l'impulseur et la turbine est grande.

Lorsque les régimes tendent à s'égaliser, le stator s'oppose à la libre circulation de l'huile entre l'impulseur et la turbine, la perte de rendement qui en résulte provoque la démultiplication du couple, ce qui entraîne une diminution importante des performances.

Au détriment du rendement, il est à noter que la force centrifuge s'oppose à la libre circulation de l'huile dans la turbine, l'huile doit en effet se diriger de l'extérieur vers le centre.

Afin d'améliorer le rendement, les orifices qui permettent à l'huile de ressortir de la turbine sont rétrécis de manière à ce que la vitesse de l'huile augmente juste avant de venir frapper contre le stator.

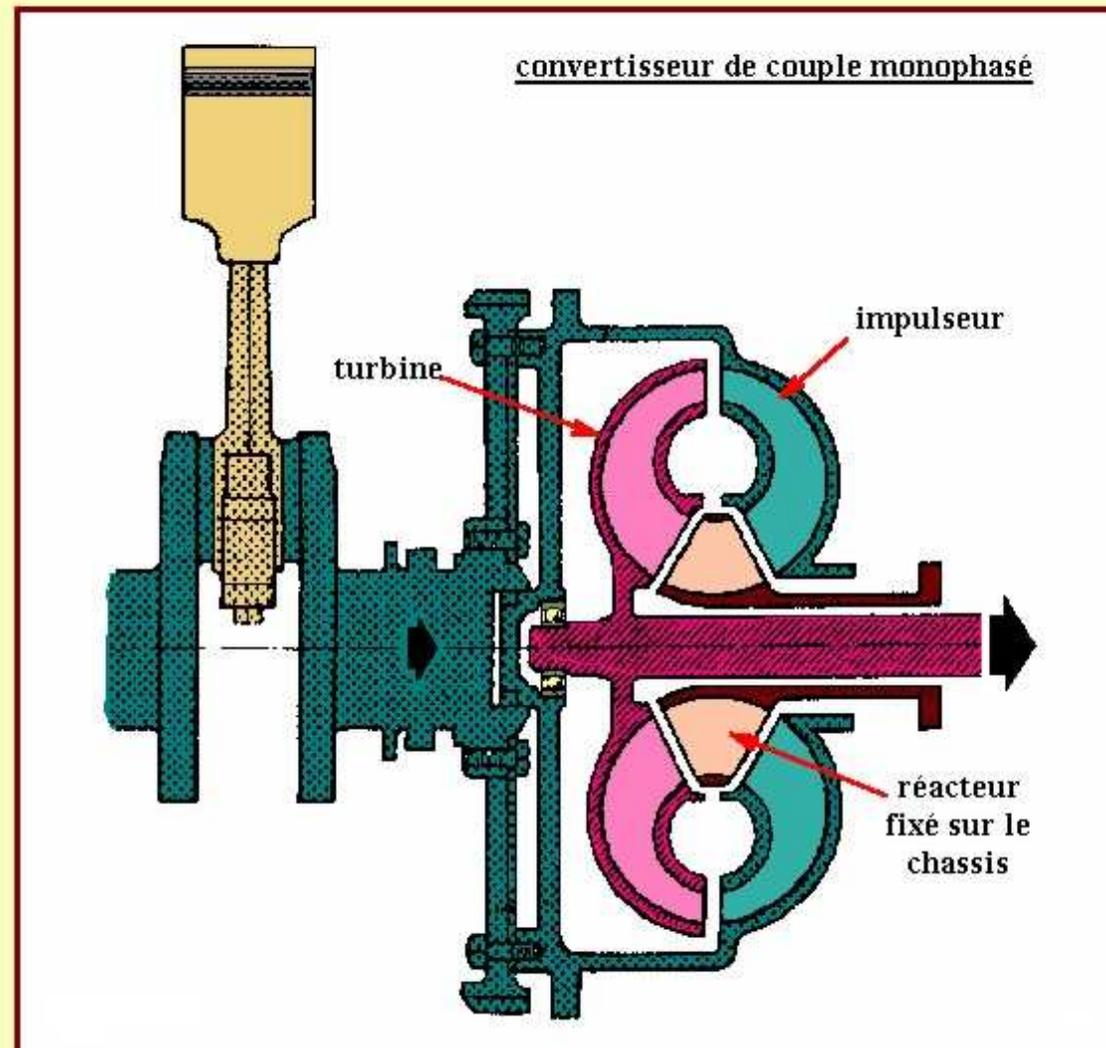
Pour la même raison, le stator possède des orifices d'entrée plus grands que ceux de sortie de manière à accélérer la vitesse de l'huile dirigée côté aspiration de l'impulseur.

Différents types de convertisseur de couple:

Le convertisseur de couple monophasé:

Le convertisseur de couple monophasé se compose d'un impulseur relié de façon permanente au volant moteur, d'un stator fixé au châssis, et de la turbine qui reçoit une partie de la puissance transformée qu'elle restitue sur l'arbre primaire de la boîte de vitesses. Le carter de ce convertisseur peut être fixe ou tournant.

La plage de fonctionnement optimale de ce type de convertisseur de couple est relativement étroite, ce qui le destine à des engins de traction à déplacement lent comme les tracteurs à chenilles.



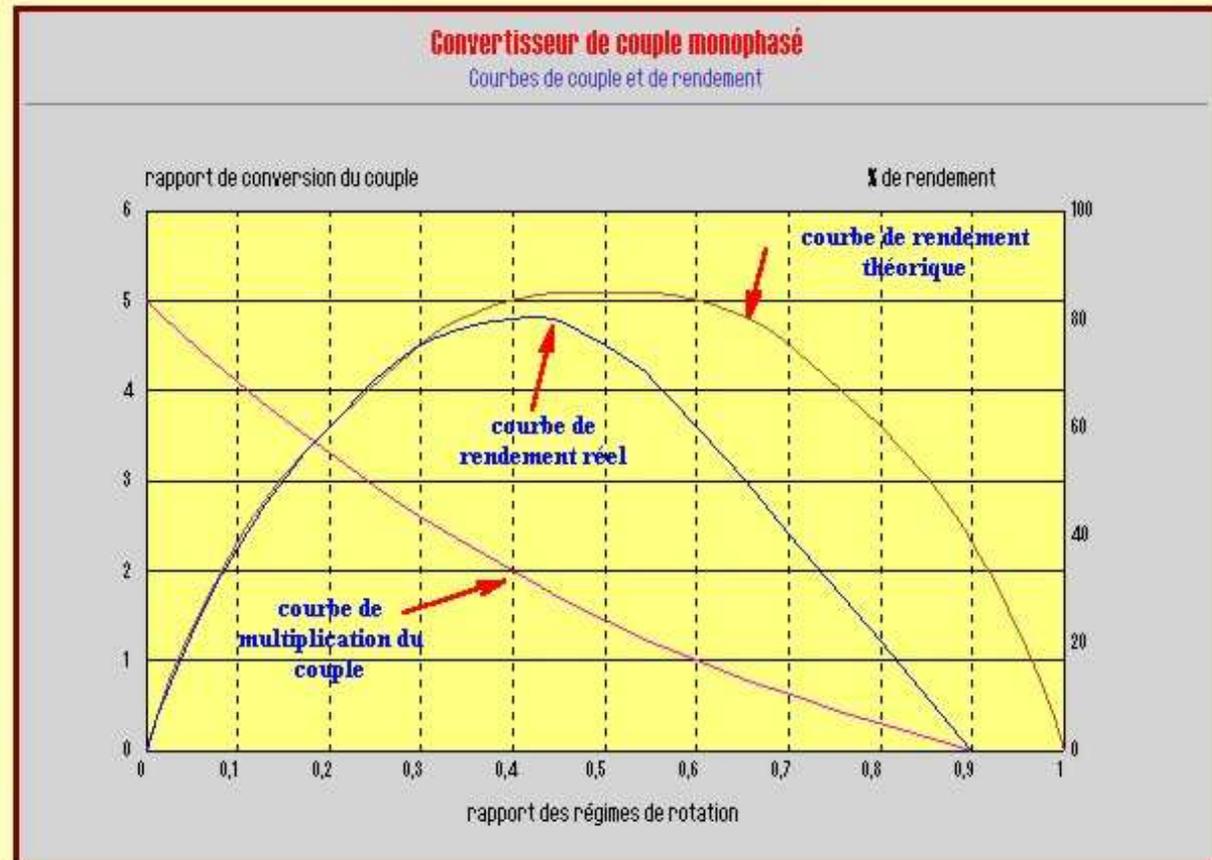
Le convertisseur de couple monophasé

Le rendement maximal correspond au moment où le flux d'huile entre dans le réacteur parallèlement à ses ailettes.

La courbe de rendement théorique a la forme d'une demi-circonférence.

Le rendement théorique maximal est obtenu lorsque le rapport impulseur turbine est égal à 0,5.

Dans le cas où le glissement est trop important (mauvais choix du rapport engagé) la pompe tourne à un régime élevé et envoie l'huile contre la turbine ralentie par la charge qui lui est appliquée.



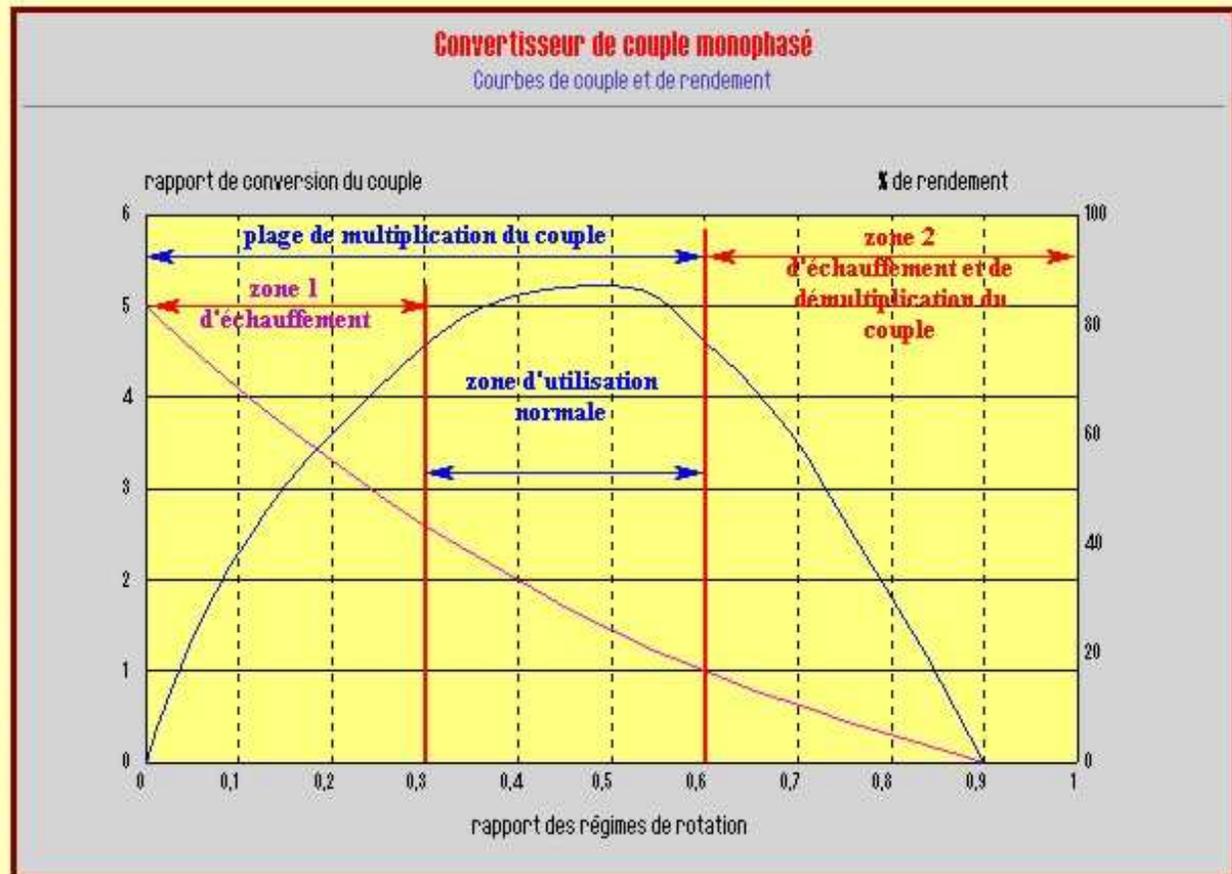
Le choc de l'huile projetée sur la turbine est alors excessif et provoque une élévation de température, reflet de la baisse du rendement. Dans le cas contraire, si le glissement entre l'impulseur et la turbine est très faible (glissement d'environ 10%), l'impulseur et la turbine tournent à un régime élevé entraînant violemment l'huile contre les pales du stator resté immobile.

Le convertisseur de couple monophasé

A haut régime, le stator s'oppose à la libre circulation de l'huile entre la pompe et la turbine, il provoque une baisse du rendement dont la conséquence est également une élévation de la température car la puissance est perdue sous forme de calories.

L'échauffement excessif est dans tous les cas le reflet d'un rendement médiocre.

Il peut, s'il est prolongé, entraîner des détériorations causées par la déformation des pièces tournantes; ces déformations risquent de provoquer des frottements donc des avaries mécaniques graves.



La plage d'utilisation normale d'un convertisseur de couple est relativement étroite. Lorsque le glissement est important, l'huile vient frapper violemment la turbine ralentie par la charge et provoque son échauffement. Quand le glissement est faible, c'est le stator que l'huile vient heurter, faisant augmenter sa température. Afin de conserver un rapport des régimes favorables, il est nécessaire de disposer d'une boîte de vitesses à rapports discrets, capable de faire varier le couple résistant appliqué à la turbine.

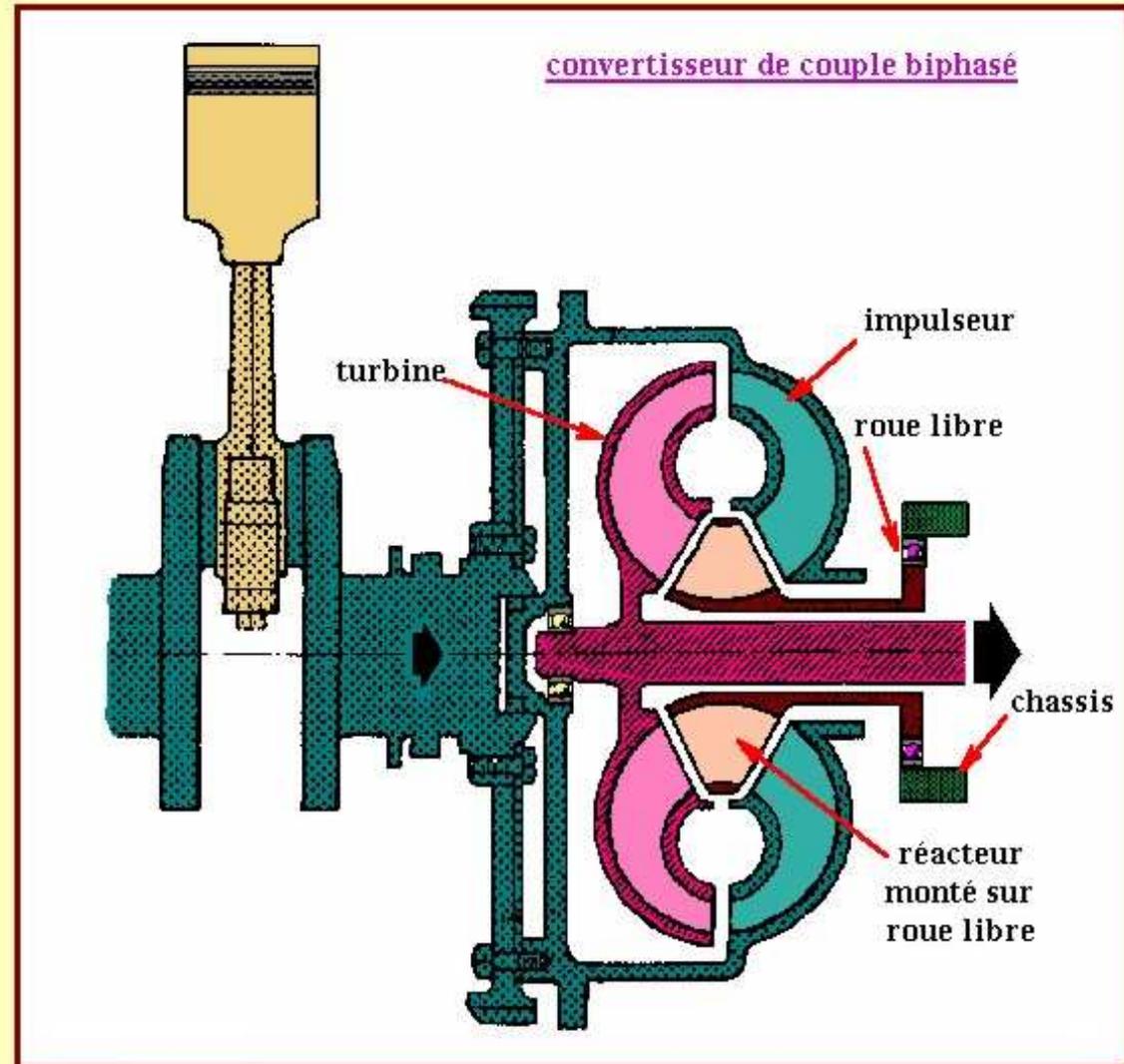
Le convertisseur de couple biphasé:

Le convertisseur de couple biphasé est constitué d'un impulseur, d'une turbine et d'un réacteur monté sur roue libre.

Cette particularité lui permet de fonctionner à la fois en convertisseur de couple et en coupleur.

Le carter est obligatoirement tournant car c'est le seul montage qui permette de monter le stator sur une roue libre.

Le montage du réacteur sur roue libre lui permet de s'effacer devant l'huile qui vient le heurter lorsque la différence de régime entre l'impulseur et la turbine diminue; le réacteur se met alors à tourner dans le même sens que l'impulseur.

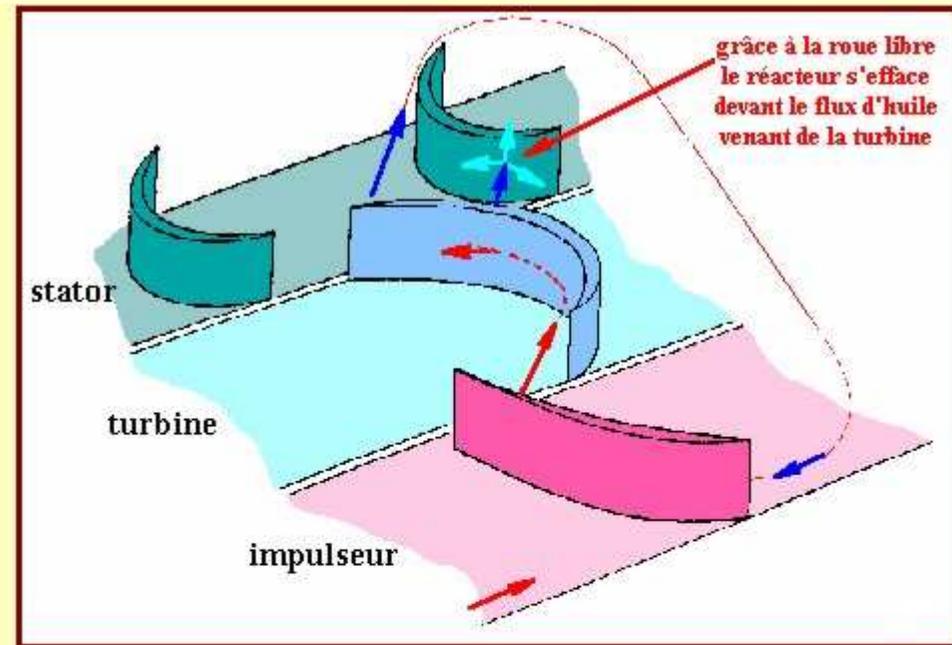


Le convertisseur de couple biphasé

Ce montage permet de bénéficier du très bon rendement du coupleur à haut régime (environ 98%) et augmente la plage de fonctionnement optimale du convertisseur de couple.

Ce dispositif a l'avantage d'agir automatiquement dès que l'action du réacteur devient indésirable; par exemple, sur un engin semi rapide effectuant des manutentions ou des déplacements sur route.

Dès que la charge augmente à nouveau, l'incidence du flux d'huile sur le réacteur agit sur la partie concave des ailettes, le stator s'immobilise et joue à nouveau son rôle de multiplicateur du couple.



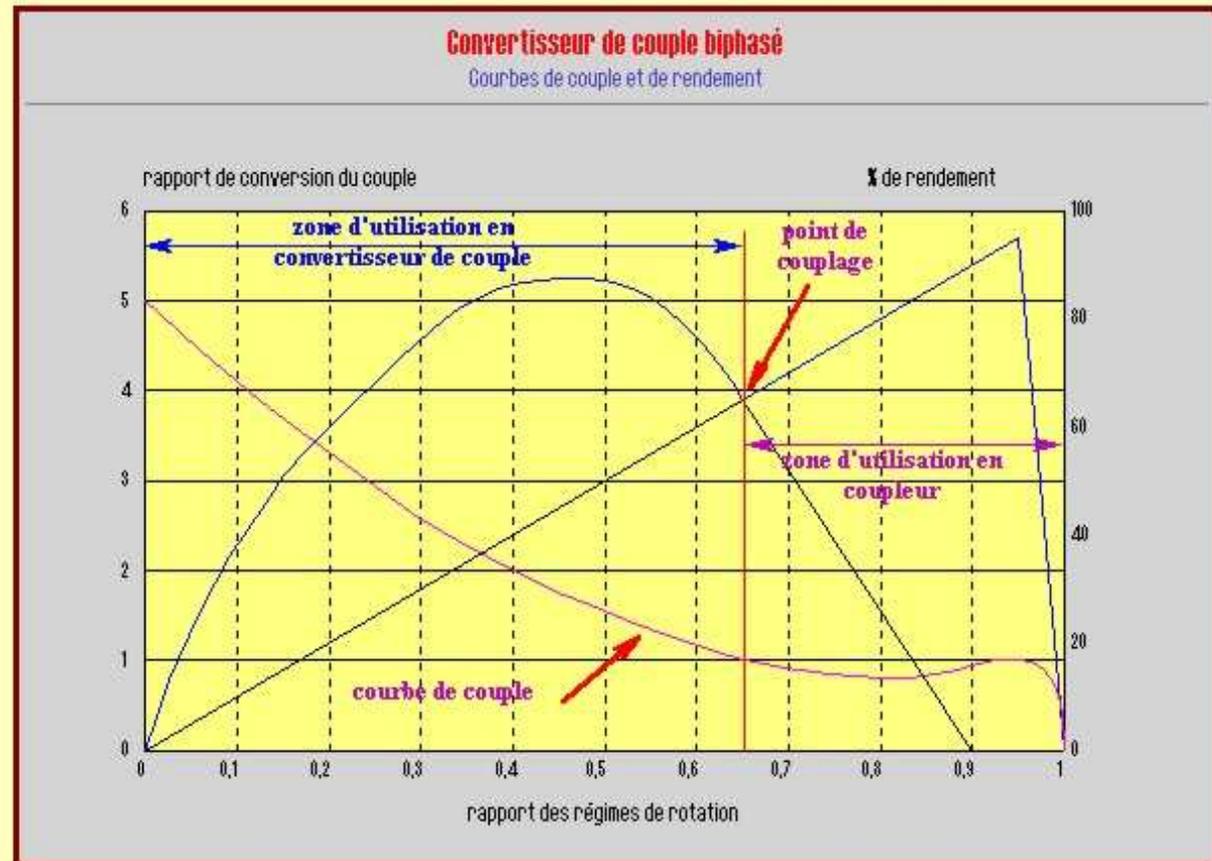
Pour certaines applications, (chariot élévateur par exemple) qui ont une plage de vitesse de déplacement limitée et un effort de traction réduit, le convertisseur de couple peut être utilisé seul, sans boîte de vitesses.

Le convertisseur de couple biphasé

Dans la zone d'utilisation en convertisseur de couple, l'huile vient prendre appui sur le côté concave des ailettes du stator, la roue libre est bloquée, le couple appliqué à la turbine est supérieur à 1.

A partir du moment où le glissement diminue, le point d'impact de l'huile s'infléchit jusqu'à ce que l'huile vienne frapper le côté convexe des pales du stator.

Elles s'opposent alors à la libre circulation du flux d'huile et provoquent une démultiplication du couple.



La roue libre entre alors en action (à partir du point de couplage), l'huile provoque l'effacement du stator, il se met à tourner permettant ainsi la transmission d'un couple sensiblement égal à celui du moteur. On rejoint approximativement la courbe de rendement d'un coupleur.

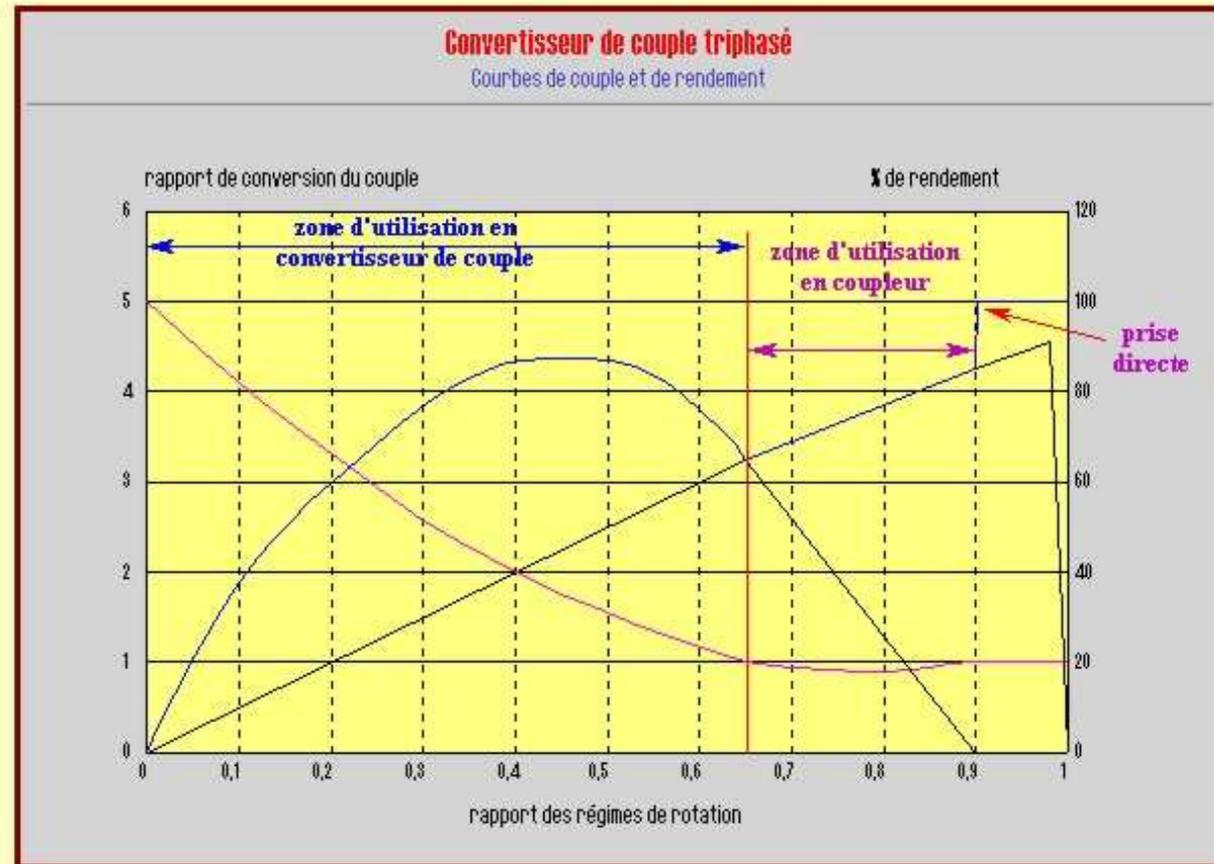
Le convertisseur de couple triphasé

Le convertisseur de couple triphasé:

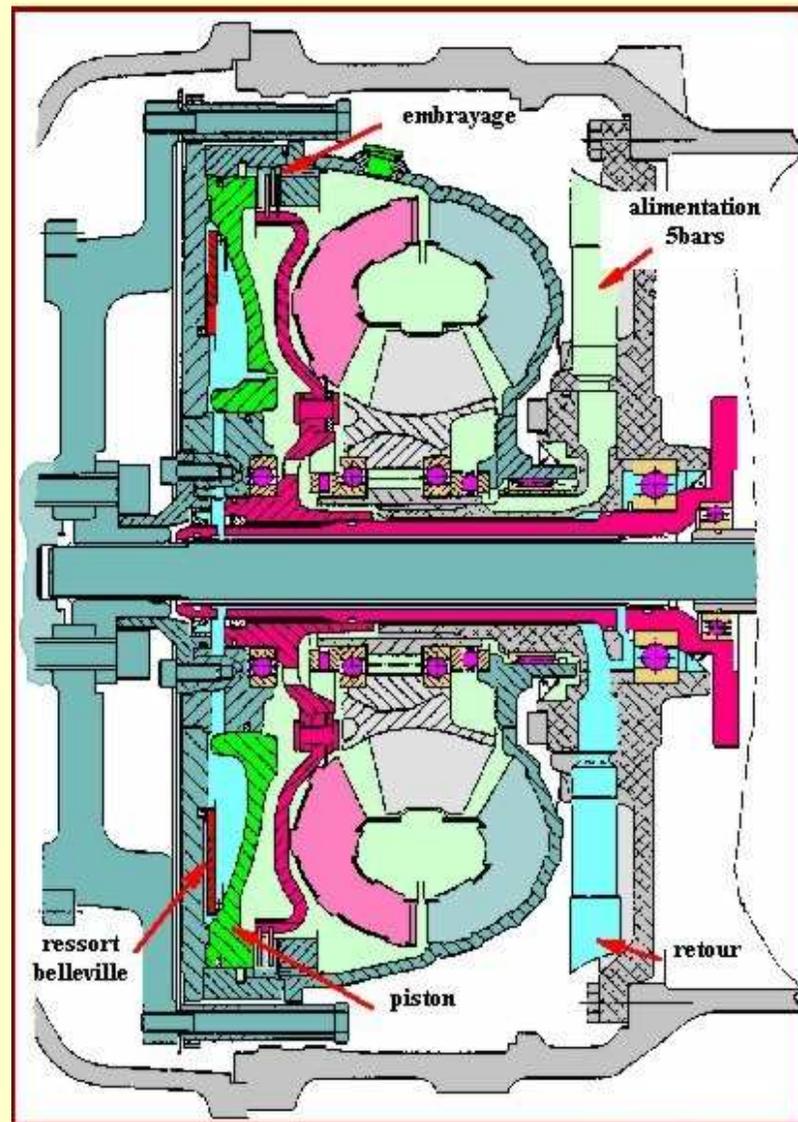
Le convertisseur de couple triphasé se compose toujours d'une pompe d'une turbine et d'un réacteur monté sur roue libre.

De manière à parfaire le rendement du convertisseur de couple biphasé (dans le but de réduire la consommation des engins à déplacement rapide), le convertisseur de couple triphasé est doté d'un embrayage mécanique de prise directe.

Cet embrayage peut être commandé manuellement lorsque le conducteur le juge nécessaire ou bien par un dispositif automatique qui enclenche la prise directe dès que le couple résistant devient approximativement égal au couple moteur.



Le convertisseur de couple triphasé



Convertisseur de couple triphasé équipant certains tracteurs

Au démarrage du moteur la pompe de gavage alimente le convertisseur de couple, la pression de 4 à 5 bars qui s'établit à l'intérieur du carter s'exerce sur le piston de débrayage, comprime le ressort belleville et libère les disques de l'embrayage de pontage; la fonction de multiplication du couple est alors activée, le couple du moteur est, au démarrage, multiplié par deux.

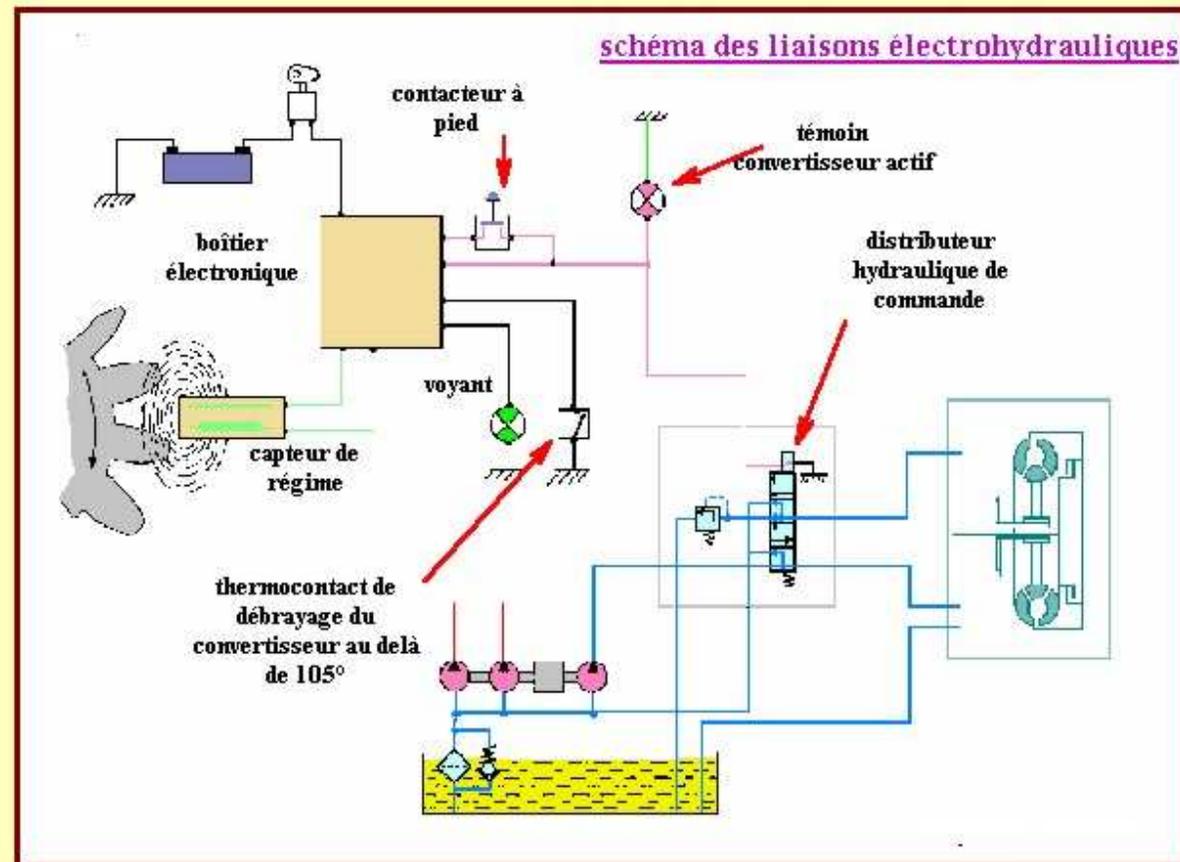
Dès que le régime de rotation de l'arbre primaire de la boîte de vitesses atteint 1600 tr/mn, le distributeur électrohydraulique de commande coupe l'alimentation du convertisseur, la pression chute, le ressort redevient prépondérant, comprime les disques de l'embrayage de pontage, réalisant ainsi une prise directe mécanique entre le moteur et la boîte de vitesses.

L'inconvénient de la perte de rendement à cause du faible glissement qui subsiste à régime élevé est ainsi éliminé.

Le convertisseur de couple triphasé

Lorsque le couple résistant augmente, si le régime de rotation de l'arbre primaire chute en dessous de 1500 tr/mn, le convertisseur est réalimenté. Le couple résistant peut doubler sans qu'il soit nécessaire de changer de rapport.

Le conducteur peut, grâce à un contacteur à pied, provoquer à volonté la mise en action du convertisseur de couple même en dehors des valeurs de consigne gérées par le boîtier électronique. Ce dispositif permet de profiter d'une transmission à variation continue de puissance.



La prise directe améliore le rendement et permet de travailler à des régimes de rotation économiques où la consommation spécifique est faible. L'automatisation complète gérée par le boîtier électronique laisse toutefois au conducteur le choix de choisir le mode de fonctionnement le mieux adapté et de profiter du frein moteur.

Différents modèles de convertisseurs de couple:

Différents modèles de convertisseurs de couple:

Le convertisseur de couple monoétage:

Le convertisseur de couple monoétage (qui vient d'être étudié) est le plus utilisé en raison de sa relative simplicité.

Il est composé d'un impulseur, d'une turbine et de un ou deux réacteurs.

Il possède un rendement satisfaisant (environ 85%) mais ses possibilités de multiplication du couple sont limitées à environ 3,5/1.

Le convertisseur de couple biétage:

Le convertisseur de couple biétage est constitué d'un impulseur, de deux turbines et d'un ou deux réacteurs.

Ses possibilités de multiplication du couple sont plus élevées puisqu'elles se situent entre 3 et 5/1 pour un rendement d'environ 80%.

Le convertisseur de couple triétage:

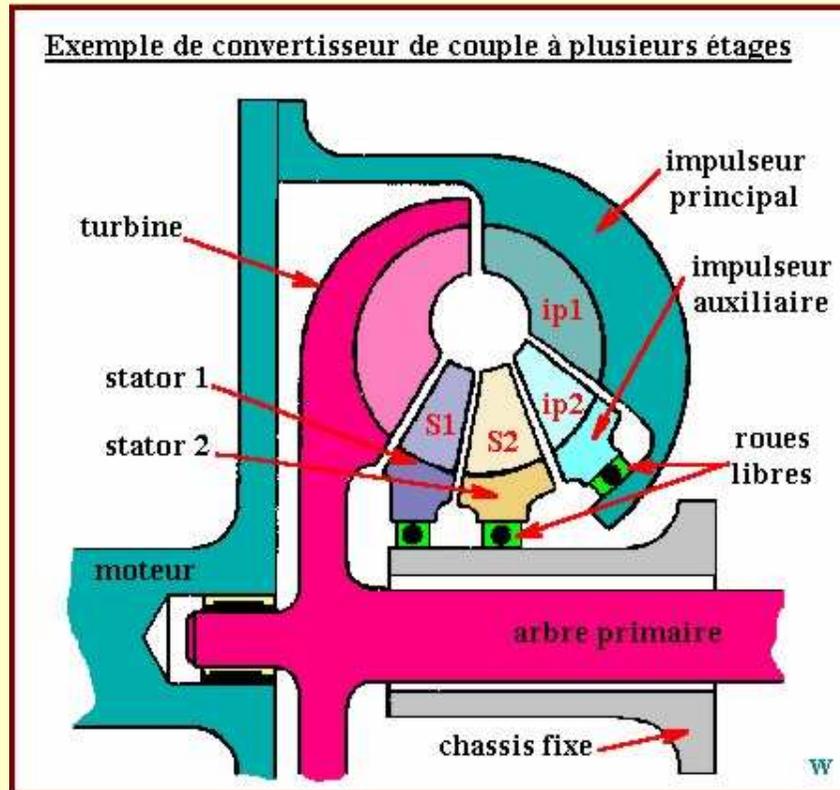
Beaucoup plus complexes par le nombre d'éléments qui les composent, les convertisseurs de couple triétage sont généralement constitués d'un impulseur, de trois turbines et de deux réacteurs.

Le couple peut être multiplié par environ 6,5 mais au détriment du rendement qui se situe autour de 75%.

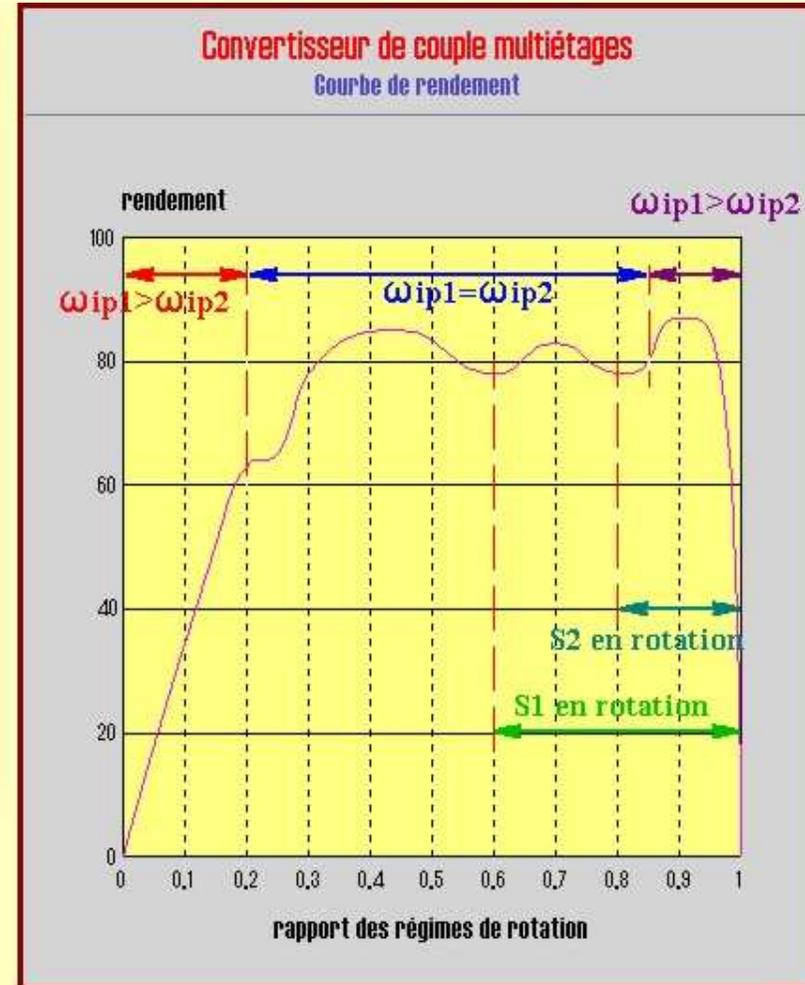
On peut rencontrer des variantes à ces différentes dispositions puisque certains convertisseurs sont dotés de plusieurs impulseurs.

Les convertisseurs triétage sont réservés à des domaines d'application bien spécifiques étant donné la complexité de leur montage et le fait qu'une multiplication élevée du couple s'accompagne toujours d'une sensible diminution du rendement.

Différents types de convertisseur de couple à plusieurs étages:



Ce convertisseur est doté d'une seule turbine, de deux impulseurs, dont l'un est monté sur roue libre et de deux réacteurs. Capables de multiplier le couple par un facteur important, la complexité des convertisseurs multiétages a pour but de tenter de rétablir un rendement acceptable.



L'association du moteur au convertisseur de couple:

Plus que tout autre organe de transmission de la puissance, le convertisseur de couple dont on cherche à optimiser le rendement, doit être adapté aux conditions de régimes de rotation et de couple auquel il est soumis.

Le convertisseur de couple transmet, mais également transforme la puissance qu'il reçoit du moteur pour l'adapter automatiquement aux conditions de travail, donc de charge.

Les caractéristiques propres à un convertisseur de couple font qu'il est apparié à un type précis de moteur.

Le coupleur et le convertisseur de couple, comme les pompes centrifuges, répondent aux lois de la mécanique des fluides appliquées aux turbo machines, à savoir:

-que la puissance transmissible est proportionnelle au cube du régime de rotation de la pompe (impulseur).

-que le couple et la puissance transmissibles sont proportionnels à la puissance cinquième du diamètre de l'impulseur.

-que le couple transmissible est proportionnel au carré du régime de rotation de l'impulseur.

Le diamètre de l'impulseur et le régime de rotation ayant une grande influence sur la puissance transmise, aucune adaptation approximative n'est permise entre le moteur et le convertisseur de couple.

Les caractéristiques du moteur concernant les régimes de rotation et la puissance maximale ne doivent pas être modifiés sous peine de perturber l'équilibre qui lie le moteur au convertisseur. L'échauffement de l'huile serait alors le reflet d'une perte de rendement due à un fonctionnement prolongé en dehors de la plage normale d'utilisation prévue par le constructeur.

Les avantages comparés du convertisseur de couple:

Les avantages comparés du convertisseur de couple:

L'embrayage mécanique, ne permet pas d'appliquer le couple maximal du moteur sur l'arbre primaire de la boîte de vitesses, car on ne peut pas maintenir, sans à coups, le régime du moteur égal à celui du couple maximal pendant la durée de la phase d'embrayage (l'augmentation de la charge s'accompagne automatiquement d'une chute de régime); au moment du démarrage le moteur tourne solidaire des plateaux d'embrayage tandis que le disque est immobile.

La première phase de l'embrayage s'accompagne obligatoirement d'un glissement, ce qui engendre une perte de couple et de régime donc de puissance dissipée sous forme de chaleur: cette phase ne peut être que de courte durée sans quoi le disque et les plateaux se dégradent rapidement de manière irréversible.

Avec un embrayage mécanique, soit l'engin démarre sans qu'il ait été nécessaire d'appliquer le couple maximal du moteur sur l'arbre primaire, soit il ne démarre pas, et il est nécessaire de disposer au niveau de la boîte de vitesses, de rapports anormalement démultipliés ne servant pratiquement qu'au démarrage (ce qui est toujours le cas).

Le coupleur permet d'appliquer tout le couple du moteur sur la turbine, donc sur l'arbre primaire de la boîte de vitesses, au moment du démarrage. La durée pendant laquelle on peut maintenir le couple maximal appliqué sur la turbine immobile peut se prolonger, elle dépend du temps que mettra le fluide contenu dans le coupleur pour atteindre sa température maximale de fonctionnement.

Une montée à la température maximale sans la dépasser est réversible et contrairement à l'embrayage mécanique, n'engendre ni usure ni dégradation.

Les avantages comparés du convertisseur de couple:

Le convertisseur de couple présente les mêmes avantages que le coupleur mais permet en plus de disposer, sur l'arbre primaire au moment du démarrage, d'un couple moteur multiplié par environ 2 à 6 fois (suivant le type de convertisseur).

Pour chaque rapport de vitesse engagé, le convertisseur se comporte comme une petite boîte de vitesses automatique au nombre illimité de rapports. Il adapte instantanément et automatiquement le couple transmis dès que l'arbre primaire ralentit suite à une augmentation de la charge: c'est une transmission à variation continue du rapport de transmission.

Les démarrages sont progressifs, les à coups dans la transmission éliminés ce qui se traduit par une réduction de l'usure des organes de transmission et des pneumatiques.

Le convertisseur de couple établit la liaison entre le moteur et la transmission mécanique au moyen d'un fluide ce qui fait que les deux organes sont relativement isolés l'un par rapport à l'autre.

La boîte de vitesses ne transmet pas les à coups de la transmission au moteur, elle ne peut pas faire caler le moteur.

le moteur ne transmet pas ses irrégularités cycliques à la boîte de vitesses, les vibrations donc les bruits sont filtrés ce qui améliore le confort du poste de conduite.

Un convertisseur de couple correctement utilisé et entretenu, contrairement à un embrayage mécanique, ne s'use pas. Dans la mesure où une intervention préventive est réalisée au niveau des joints et des roulements, sa durée de vie est celle de l'engin.