

Les différentiels - documentation

©Copyright Olivier ADLER 2022

<https://www.StoneRecording.art>

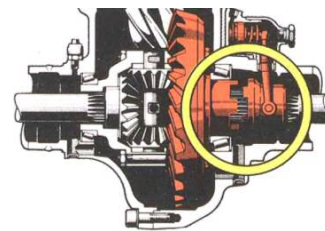
Table des matières

Les blocages manuels	2
Les différentiels classiques (Open differential)	2
Les différentiels à glissement limité (LSD, limited-slip differential)	3
Le cas du HDJ80 24S	3
Les différents types de différentiels à glissement limités	3
1) Déverrouillage par seuil de différence de couple entre les sorties	3
2) Durcissement par sensibilité au couple d'entrée (HLSD).....	4
3) Durcissement par sensibilité à la différence de vitesse des sorties.....	5
4) Durcissement par contrôle électronique	6
Conclusions	6
CONSEILS D'UTILISATION DES BLOCAGES ET RECOMMANDATIONS.....	7
Utilité des différentiels	7
Conseils	7



Les blocages manuels

Un blocage à commande manuelle permet de forcer une vitesse identique sur les deux arbres de sortie du différentiel, en les reliant ensemble, en général par un système de crabot, qui rend solidaire une des deux sorties par rapport à l'arbre d'entrée. Le différentiel se comporte alors comme un arbre rigide avec une différence de couple entre les arbres de sortie qui pourra atteindre 100%, garantissant de fournir tout le couple à la roue motrice même lorsque l'autre est complètement dans le vide. Les systèmes de verrouillage automatique présents sur les différentiels à glissement limités ne permettent pas d'avoir cette asymétrie totale. Ils sont en général limités à un rapport de couple entre les deux sorties de 1:1.5 à 1:4, contrairement au rapport infini disponible sur un blocage manuel. Le blocage manuel sera donc beaucoup plus efficace dans des situations où il y a un très fort déséquilibre d'adhérence entre deux roues ou deux ponts. Cas typique d'un enlèvement, ou d'un franchissement difficile.

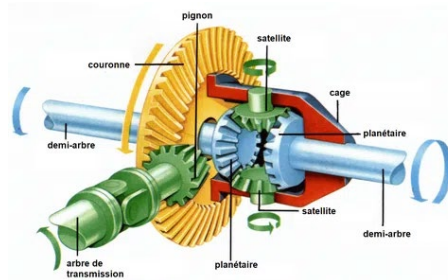


Un blocage manuel viendra compléter harmonieusement un différentiel classique, dont le rapport de couple en sortie est de 1:1. Mais on pourra aussi le trouver en complément sur des différentiels à glissement limité. C'est le cas sur le HDJ80 24s pour son différentiel central à glissement limité de type VLSD.

L'avantage du blocage manuel est son efficacité en termes de transmission du couple dans des situations difficiles, son inconvénient est la nécessité d'une intervention manuelle qui doit se faire à vitesse limitée.

Les différentiels classiques (Open differential)

Un différentiel classique (1^{ère} génération) ne limite pas la différence de vitesse et délivre toujours le même couple entre ses deux arbres de sortie. Inconvénient : si une roue ou un pont patine, l'autre roue ou l'autre pont ne recevra pas plus de couple que celle ou celui qui patine. Ils peuvent être néanmoins équipés d'un blocage à commande manuelle comme indiqué [dans le paragraphe ci-dessus](#).



Le HDJ80 12S possède trois différentiels classiques, équipés d'un blocage à commande manuelle électrique, au moins pour le différentiel central, et en option ou pour certains marchés, un blocage similaire est installé sur les différentiels arrière et avant. La France est un des rares pays à avoir bénéficié des blocages électriques installés en standard sur les trois différentiels.

Le différentiel classique est le plus simple, mais aussi souvent le plus solide, le plus durable et le plus fiable. Il a cependant un inconvénient : il ne permet pas de délivrer un couple différent sur chacun de ses arbres de sortie en se verrouillant automatiquement en fonction de la différence de vitesse ou de couple sur ses arbres de sortie. Sur les HDJ80, la présence d'un blocage permet de s'affranchir efficacement du problème, au prix d'une intervention manuelle.

Un différentiel classique délivre donc toujours une répartition 50% / 50% du couple entre ses sorties. Pour un différentiel central, cette répartition n'est pas forcément optimale sur des terrains très glissants où il serait préférable d'avoir une motricité légèrement supérieure à l'avant. Par contre il permet, avec le boîtier custom diff ECU et l'utilisation du frein à main arrière, d'augmenter progressivement et dynamiquement la motricité sur l'avant, sans modification du véhicule. [Voir ce paragraphe](#). Cette possibilité peut être empêchée par la présence d'un différentiel central à glissement limité.

Les différentiels à glissement limité de 4^{ème} génération (Torsen type C) offrent une solution à ce problème, en permettant de répartir le couple différemment entre leurs deux sorties, mais dans un rapport fixé à la fabrication, par exemple 60% / 40 %. Comme tous différentiels à glissement limité, ils ont également des inconvénients dont le premier est de fixer deux caractéristiques de fonctionnement : la différence de couple



maximum entre leurs sorties, et pour un central Torsen de type C, le rapport de partage du couple. Ce qui les rend moins polyvalents et rend leur choix dépendant du style de conduite et de terrain.

Les différentiels à glissement limité (LSD, limited-slip differential)

Il existe plusieurs types, sous types et variantes (!!!) de différentiels à glissement limité ; **ils peuvent également être équipés d'un blocage à commande manuelle** voir d'un pilotage électronique, ce qui ajoute à la confusion. Le principe de base est de détecter la différence de vitesse ou de couple entre les deux arbres de sortie, puis de créer un couple de résistance entre les sorties pour limiter le patinage d'un pont ou d'une roue. Leur prix et leur complexité sont plus élevés.

Le cas du HDJ80 24S

Le HDJ80 24S est équipé d'un différentiel central à glissement limité à friction, également pourvu d'un blocage manuel à commande électrique. Il offre l'avantage de se verrouiller progressivement et automatiquement lorsque la différence de vitesse augmente entre ses arbres de sortie, c'est-à-dire lorsque le train arrière ou le train avant patine, en redonnant de la motricité sur le train le plus moteur. Un inconvénient est qu'il est plus fragile et s'use plus vite. Pour éviter une usure prématurée, lorsque le terrain le permet, il est conseillé de le verrouiller, par exemple dans les dunes de sable.

Tout comme le différentiel classique, il ne permet pas de choisir le rapport de motricité avant / arrière. Cette fonctionnalité est apparue plus tard, avec les séries Landcruiser 120, 150 et 200, utilisant un différentiel Torsen T-3 (également appelé Type C).

Les différents types de différentiels à glissement limités

C'est principalement le type du mécanisme de création du couple de résistance (blocage plus ou moins progressif du différentiel) qui détermine la catégorie d'un différentiel à glissement limité. Selon le mécanisme utilisé, les caractéristiques statiques et dynamiques seront différentes.

La différence de couple maximum entre les deux arbres de sortie, caractéristique principale d'un différentiel à glissement limité, peut être fixe, fonction du couple sur l'arbre d'entrée (mécanismes à engrenages simples et embrayage), de la différence de couple entre les arbres d'entrée et de sortie (mécanismes à engrenages irréversibles) ou de la différence de vitesse sur les axes de sorties (mécanismes à visco-coupleurs ou pompe).

Il existe 4 catégories principales de différentiel à glissement limité :

1) Déverrouillage par seuil de différence de couple entre les sorties

Généralement implémentés avec un différentiel classique complété par un système d'embrayage à précharge par ressort, ces différentiels de 2^{ème} génération sont naturellement dans l'état bloqué. Lorsque la différence de couple entre les deux sorties atteint une valeur déterminée par la précharge du ressort, ils se déverrouillent. Le couple d'entrée n'intervient pas.



Clutch LSD



Cone LSD

Inconvénient, le couple de résistance présent par défaut induit une usure de l'embrayage et des pneus, réduit la performance de différenciation en situation de conduite normale, réduit le rendement, et rend le système incompatible avec le freinage ABS. La différence maximum de couple entre les sorties, dont la valeur fixée oblige à un compromis, rend le système peu adapté à la transmission de fortes puissances. Son avantage est sa simplicité et son coût réduit.



2) Durcissement par sensibilité au couple d'entrée (HLS)

Un premier sous type représentant les différentiels de 3^{ème} génération utilise un différentiel classique complété par des engrenages hélicoïdaux ou par un embrayage à disques ou à cône, le tout complété par un système de came conçu pour fournir une réponse selon le couple d'entrée : le différentiel se durcit dynamiquement plus ou moins fortement en fonction du couple d'entrée. Un couple moteur à l'entrée plus élevé verrouillera plus intimement les deux sorties. Un système de précharge à ressort peut être ajouté pour obtenir un couplage statique en complément. Ce dernier produira un couplage minimum des deux sorties pour un couple d'entrée nul (boîte au point mort ou pédale d'embrayage enfoncée). Comme pour tout différentiel à embrayage, le diamètre et le nombre des disques déterminera le couple maximum de verrouillage entre les arbres de sortie du différentiel.

Selon le type de commande de l'embrayage interne au différentiel, en général un système de came, il est possible de changer le comportement du différentiel de façon asymétrique en fonction du couple d'entrée.

NB : un couple négatif en entrée se produit en phase de freinage moteur.

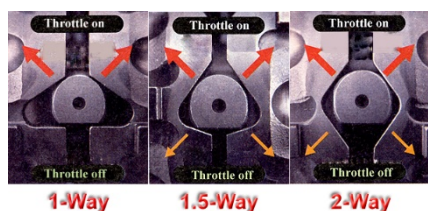
- Aucun couple à l'entrée -> couplage statique des sorties fonction de la précharge de l'embrayage.
- Couple positif à l'entrée -> couplage dynamique des sorties fonction A du couple d'entrée.
- Couple négatif à l'entrée -> couplage dynamique des sorties fonction B du couple d'entrée.

D'où trois variantes possible :

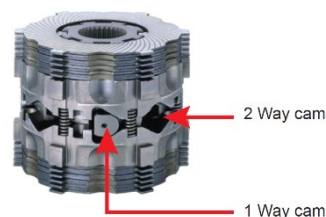
Lorsque le durcissement du différentiel est symétrique pour un couple positif ou négatif en entrée, il est dit bidirectionnel (2-way). Il se comporte alors de façon similaire lors de l'accélération ou du freinage moteur. Si la courbe de réponse pour un couple positif en entrée est différente de celle pour un couple négatif, il est dit mixte (1.5-Way). Cela peut être bénéfique en compétition, sur un différentiel arrière, où un fort durcissement lors du freinage moteur produirait un sous virage trop important.

Le différentiel est dit unidirectionnel (1-Way) s'il ne se bloque que pour un couple positif ou négatif en entrée, mais pas les deux. Par exemple il se durcit pour un couple positif en entrée, et sera libre pour un couple négatif. Fonctionnalité intéressante pour éviter le sous virage lors du freinage moteur.

Fonctionnement du système de commande à came de l'embrayage : le sens de poussée du croisillon (couple moteur ou couple de freinage en entrée) et les angles de came sur les anneaux de poussée déterminent la



force exercée sur l'embrayage, créant une commande symétrique ou asymétrique du couple de résistance entre les arbres de sortie. Certains différentiels sont équipés d'anneaux disposant de deux comes différentes, ce qui permet de changer le comportement, moyennant un démontage.



En plus de ces trois variantes concernant la réponse au couple d'entrée, le système de précharge statique de l'embrayage, parfois ajustable, peut également revêtir des options différentes, fonction de la direction de la force de précharge par rapport à la direction de la force entraînant le couplage des disques d'embrayage.

- Directions identiques : précharge faible, verrouillage plus rapide, usure moindre.
- Directions opposées : précharge importante, verrouillage plus progressif, usure plus importante.

Ses inconvénients : usure du système d'embrayage, temps de retard au verrouillage, choix complexe dépendant du type de conduite et de terrain, manque de polyvalence. Avantage : meilleure différenciation, meilleure transmission de la puissance, tout en conservant une complexité moyenne.

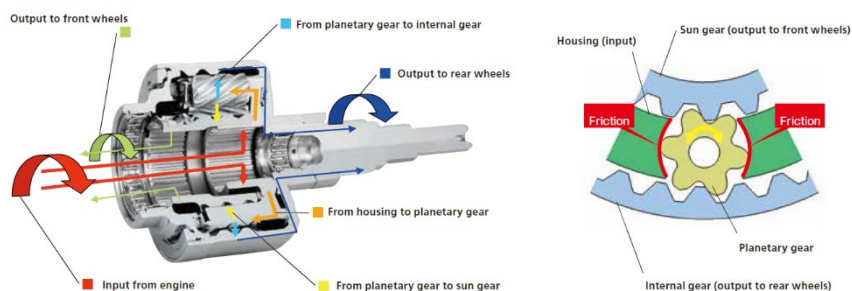


Un deuxième sous type (Geared LSD), apparu plus tard (1970) et représentant les différentiels de 4^{ème} génération, utilise un système totalement différent de vis sans fin et d'engrenages (de type Invex) où le couple d'entrée est distribué sur les sorties de manière plus efficace. Contrairement aux systèmes décrits ci-dessus à différentiels classiques complétés par un embrayage préchargé et / ou piloté mécaniquement, ce système commercialement connu sous les noms Torsen (contraction de Torque Sensing), Quaife ATB ou Truetrac utilise l'irréversibilité plus ou moins prononcée d'un système d'engrenage à vis sans fin pour produire le couple résistif de blocage. Le degré d'irréversibilité est fonction de l'angle de taillage des dents et détermine le rapport de couple maximum entre les deux sorties, de 2:1 (usage courant) à 4:1 pour les modèles destinés à la compétition. Le différentiel se durcit que lorsqu'il détecte une différence de couple sur les sorties. Ce qui en fait le meilleur système à l'avant pour éviter un impact du différentiel sur la directivité du véhicule.

C'est le système le plus performant en termes de transmission de la puissance, de différenciation et de temps de réponse. L'usure est également limitée par rapport aux différentiels à embrayages.

Inconvénient : il ne se verrouille pas lorsqu'une roue est dans le vide, mais le blocage manuel qui peut également compléter ce type de différentiel apportera ici aussi plus de polyvalence s'il est présent.

Il est également possible par construction de choisir une répartition des couples de sortie différent de 50% / 50% (sur le Torsen T-3 ou Type C). Par exemple un différentiel central 60% / 40% favorisera la motricité sur l'avant, ce qui pourra être bénéfique en conduite tout terrain. Dans ce système le couple est réparti par la différence de diamètre entre le planétaire et la couronne d'un train épicycloïdal.

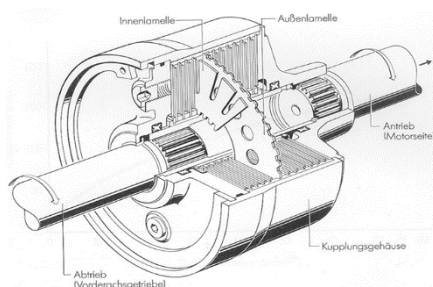


Différentiel Torsen Type C

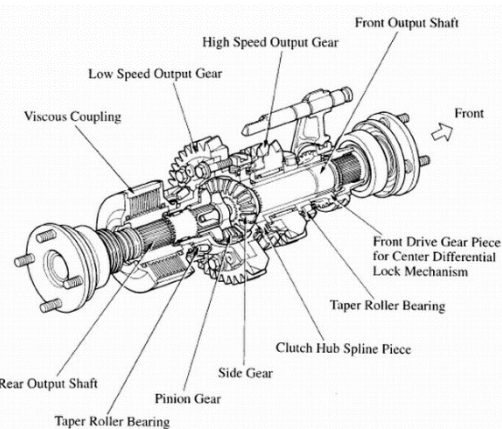
3) Durcissement par sensibilité à la différence de vitesse des sorties

Les différentiels à glissement limité par la différence de vitesse entre les arbres de sortie ont un comportement dynamique différent des différentiels à détection de couple. Ils se bloquent en fonction de la différence de vitesse entre les deux arbres de sortie, avec un blocage de plus en plus fort à mesure que la différence de vitesse augmente.

Une implémentation courante est le VLSD (viscous limited-slip differential), ou différentiel à glissement limité à visco-coupleur. Il utilise un différentiel classique complété par un élément à frottement visqueux. Il fonctionne sur un principe hydrodynamique utilisant la haute viscosité d'une huile (généralement aux silicones), et de deux ensembles de disques perforés, traversés par cette huile, chaque ensemble de disques étant solidaire d'un axe de sortie. La viscosité de l'huile tend à rendre tous les disques solidaires à mesure que la vitesse entre les arbres augmente. Pour certains systèmes utilisant ce principe, lorsque la température de l'huile augmente à cause d'une différence de vitesse prolongée entre les arbres, les disques sont poussés les uns contre



Détail de l'élément à frottement visqueux



les autres par l'augmentation du volume d'huile (humping), provoquant un couplage nettement plus prononcé.

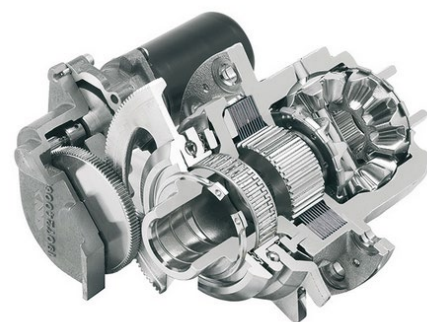
Les VLSD sont moins efficaces en termes de rendement que leurs homologues à fonctionnement mécanique (perte de puissance), et peuvent perdre de leur efficacité si la température d'huile est trop élevée.

Leur avantage est d'avoir un comportement plus souple, plus adapté aux conducteurs novices, et de terminer généralement leur vie en différentiels semi-ouverts ou ouverts au-delà de 100 000 à 300 000 km, plutôt que se détériorer totalement. Attention, une surchauffe de l'huile occasionnée par une utilisation intensive peut néanmoins induire un blocage permanent et mener à la détérioration de la transmission. Ils doivent donc être vérifiés régulièrement. Ils sont non réparables, tout comme les Torsen et dérivés.

Une autre implémentation utilise une pompe à rotor denté (Gerotor), fournissant une pression d'huile de plus en plus élevée à mesure que la différence de vitesse augmente entre les arbres de sortie. Cette pression, qui peut être régulée électroniquement pour améliorer les performances, compresse alors un embrayage qui produit un couple de résistance entre les arbres de sortie.

4) Durcissement par contrôle électronique

Utilisé sur des véhicules plus récents, un différentiel à pilotage électronique est généralement constitué d'un différentiel classique, complété par un embrayage piloté électroniquement de manière progressive. Ils sont communément connus sous la marque Haldex en Europe. Ils sont généralement couplés au système de freinage ABS et à un système de correction de trajectoire disposant d'accéléromètres et de gyroscopes électroniques. Certains véhicules disposent d'un système anti-patinage à moindre coût uniquement basé sur le système de freinage et ses capteurs ABS. Tous les véhicules récents ne disposent pas forcément d'un système entièrement électronique, le temps de réponse et le rendement d'un système différentiel mécanique de dernière génération étant difficile à égaler.



Embrayage piloté

Conclusions

Les différentiels à glissement limité sont surtout adaptés aux pilotes experts qui recherchent les meilleures performances dans un cadre bien défini dans lequel ils pourront bénéficier de leurs capacités d'anti-patinage et d'amélioration du freinage. Mais ils apportent également leur lot d'inconvénients avec une conduite possiblement plus agressive et délicate, surtout si utilisés à l'avant, une usure plus importante du différentiel et des pneus, un coût d'achat et de maintenance plus élevé. Surtout, le type de véhicule, de conduite et de terrain influencera significativement leur choix, induisant en général une moindre polyvalence.

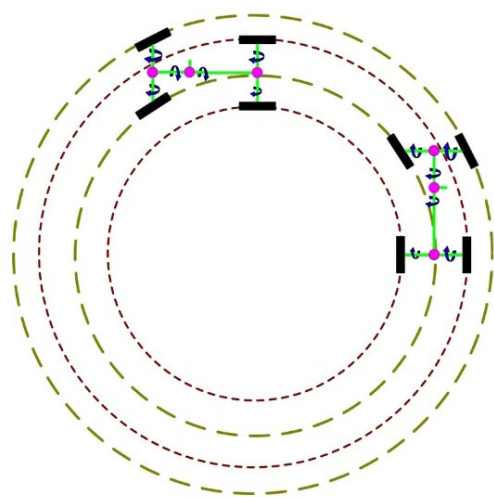
Le système de trois différentiels classiques à blocage manuel utilisé sur le HDJ80 12S est probablement le meilleur choix en termes de fiabilité, de polyvalence et de coût pour un usage courant surtout s'il est complété par un boîtier Custom Diff ECU qui élargira les possibilités et la sécurité d'utilisation. Le HDJ80 24S qui dispose d'un différentiel central à glissement limité, pourrait profiter d'une suppression de son élément visco-coupleur pour le transformer en différentiel classique, surtout si une maintenance est programmée. Cela offre trois avantages : une polyvalence plus grande avec le boîtier Custom Diff ECU, la suppression du risque de détérioration de la transmission en cas de blocage permanent de l'élément visco-coupleur (par surchauffe de l'huile) et la suppression des opérations de contrôle et de remplacement d'une pièce onéreuse. [Voir le paragraphe sur sa vérification.](#)



Conseils d'utilisation des blocages et recommandations

Utilité des différentiels

Les différences de rayons lors de la conduite en courbe impliquent des vitesses de rotation différentes pour les roues du train avant, pour celles du train arrière, mais aussi entre les arbres de transmission avant et arrière, comme c'est visible clairement sur le dessin ci-dessous :



Conseils

- Les blocages de différentiels doivent être utilisés uniquement sur des surfaces à faible adhérence, telles que celles rencontrées en utilisation tout terrain, pour donner plus de motricité dans des passages difficiles. Un différentiel verrouillé sur des surfaces à forte adhérence produit des contraintes inutiles sur la transmission et le châssis, même à faible vitesse. Il faudra donc veiller à ne pas laisser les blocages enclenchés dès l'obstacle franchi.
- Il est recommandé d'utiliser les blocages de différentiels par anticipation : les verrouillages devraient être verrouillés avant d'arriver sur l'obstacle, s'il est pressenti une situation qui peut nécessiter plus de motricité.
- N'engagez de préférence un blocage que lorsque le véhicule est à l'arrêt ou à une vitesse inférieure à 8 km/h et que les roues ne patinent pas. Le véhicule devrait de préférence rouler en ligne droite, sans efforts dans la transmission ni dans la direction, sans accélération ni frein moteur. Le but est d'obtenir une vitesse différentielle, c'est à dire une différence de vitesse entre les roues d'un même pont et entre les arbres de transmission avant et arrière, stable et proche de zéro, pour éviter la détérioration des crabots de verrouillage. Si ces deux dernières conditions sont respectées, il est théoriquement possible, si les circonstances le permettent, d'enclencher les blocages à des vitesses plus élevées, en prévision d'un passage difficile à venir. Cette manœuvre doit être effectuée en toute connaissance des effets sur la tenue de route du véhicule et de la casse mécanique possible.
- L'engagement du ou des blocages doit être désactivé après avoir surmonté le passage difficile. Le ou les blocages doivent être déverrouillés après avoir surmonté le passage difficile. A l'identique il est déconseillé de déverrouiller un blocage lorsque la transmission ou la direction sont soumises à des contraintes, comme dans un virage ou lors de phases de patinage et de chocs. Dans ces situations il y a de fortes chances que le blocage ne se déverrouille pas immédiatement.
- Le blocage d'un différentiel ne devrait pas être maintenu à des vitesses élevées (supérieures à 30 km/h). Il pourrait entraîner un comportement malsain du véhicule, voir une perte de contrôle. L'enclenchement d'un ou plusieurs blocages modifie le comportement et la manœuvrabilité du véhicule. **La réponse de la direction peut devenir très réduite surtout lorsque le blocage avant est engagé.** Celui-ci occasionnera également des efforts supplémentaires sur les joints homocinétiques. Pour cette raison, **il ne devrait être utilisé qu'à très faible vitesse (<10 km/h) et seulement s'il est absolument indispensable.** Le blocage central, puis le blocage arrière si nécessaire, devront être privilégiés.
- Lors de l'utilisation des blocages sur des terrains glissants, comme des surfaces glacées, des pentes en dévers, des différentiels bloqués peuvent rendre plus difficile le contrôle ou le maintien du véhicule sur sa trajectoire. Conduire le véhicule avec prudence et à vitesse réduite dans ces situations.

