

Dossier technique

Evolution du freinage des véhicules industriels

Introduction

Le freinage des véhicules industriels a toujours fait l'objet d'une attention toute particulière de la part des constructeurs, tant les enjeux sécuritaires et économiques sont cruciaux. Les systèmes de freinage de type « EBS » (pour Electronic Braking System) ont nettement amélioré la sécurité tout en diminuant les coûts de maintenance des véhicules.

Toutefois, si ces dispositifs tendent à se développer rapidement sur les porteurs et les tracteurs, il en va différemment pour les remorques. Leur durée de vie étant beaucoup plus importante que celle des tracteurs (20 ans en moyenne), un grand nombre de remorques sont « conventionnelles » et ne sont toujours pas équipées du freinage EBS.

Pour autant, les constructeurs ont mis au point des stratégies de mesures de certains paramètres afin d'améliorer le freinage y compris avec des remorques conventionnelles. Une fois de plus, ces stratégies sont rendues possibles par la mise en réseau des différents calculateurs de gestion des fonctions principales du véhicule (moteur, transmission de puissance, freinage, liaison au sol).

Présentation d'un système EBS avec valve de commande remorque électronique (EBS 2.2)

Depuis 2001 (norme Euro 3), les constructeurs de véhicules industriels sont obligés d'équiper leurs camions de plus de 12 tonnes d'un système d'antiblocage de roues. Cette législation induit de ne plus considérer :

- le système d'antiblocage de roues (ABS) comme une option,
- les composants ABS qui ne sont plus additifs.

Le système EBS développé par la société KNORR répond à ces nouvelles préoccupations et équipe les véhicules industriels de certains constructeurs. Le constructeur RENAULT TRUCKS a donc choisi d'équiper en série ses gammes MAGNUM et PREMIUM de ce système.

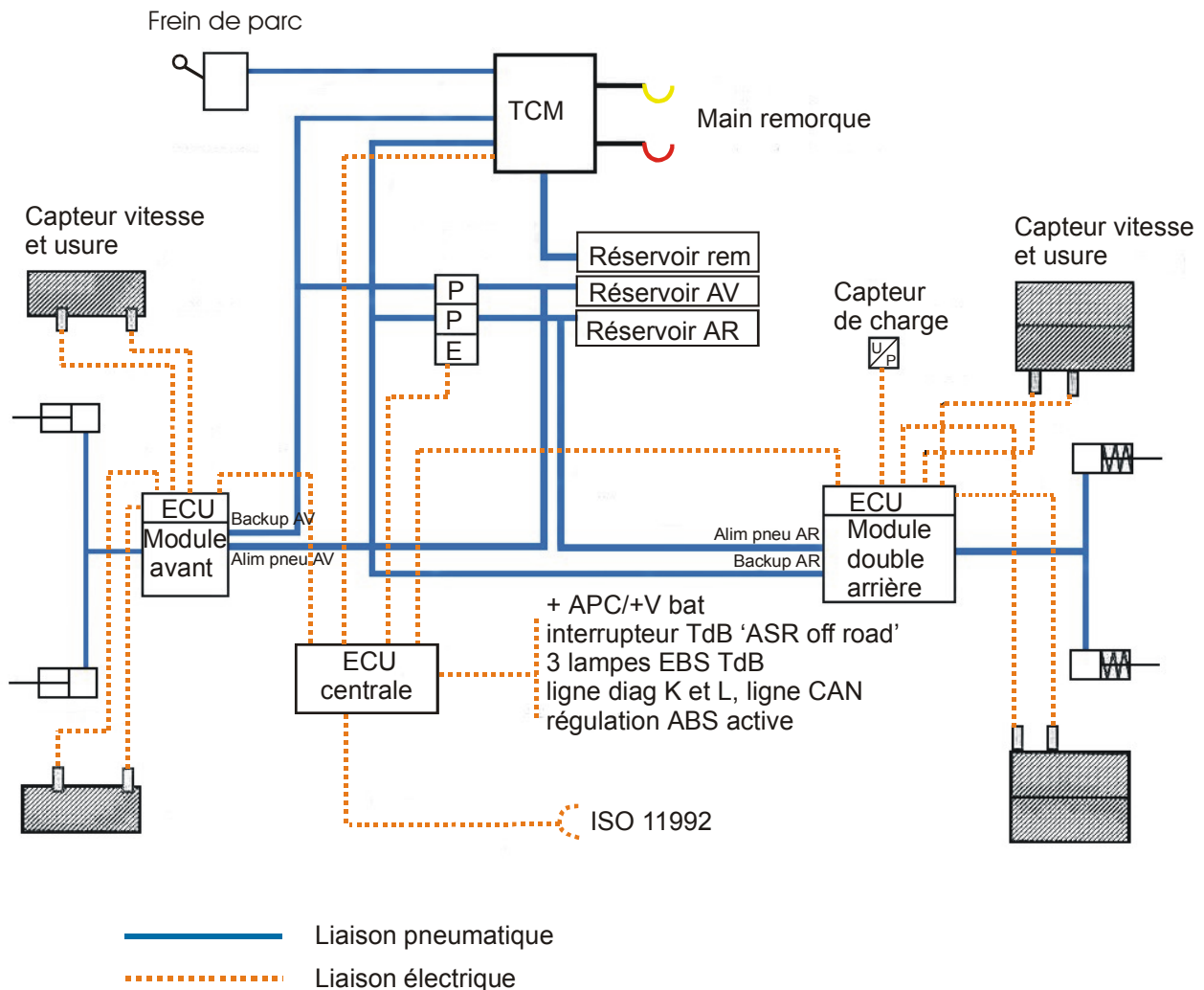
Le système EBS est un circuit de freinage complet, il remplace tous les composants traditionnels situés entre la pédale de frein et les actionneurs de freinage, c'est à dire :

- Le robinet de frein.
- Le correcteur de freinage.
- Toutes les valves relais, valve de réduction, doubles valves d'arrêt.
- L'ensemble des systèmes ABS et ASR (antipatinage au démarrage) traditionnels.

Il conserve :

- La pédale de frein.
- Les actionneurs de freinage.
- Les disques et les tambours.
- Le circuit de génération d'énergie pneumatique : compresseur, dessiccateur, valve quadruple, réservoirs ...
- Le circuit de frein de parc et d'anti-superposition des efforts.
- Le circuit de la remorque.

Schéma de principe



Fonctionnement en mode EBS

Lorsque le conducteur appuie sur la pédale de frein :

L'étage électrique du robinet de frein informe l'ECU centrale de la demande de freinage du conducteur et de son niveau de puissance.

L'ECU centrale envoie vers l'ECU du module AV, l'ECU du module double AR et l'ECU de la TCM, l'information de pression devant être délivrée aux vases et cylindres et à la main jaune. La pression délivrée est déterminée en utilisant des règles de calculs définies par des paramètres contenus dans l'ECU centrale.

La TCM (Trailer Control Modul = valve de commande remorque électronisée) envoie une pression à la main jaune selon une stratégie permettant d'améliorer le freinage du convoi (tracteur + remorque) par rapport au système conventionnel.

Une partie de cette stratégie est développée ci-après, précédée d'un rappel sur l'harmonisation de freinage tracteur-remorque.

Notions d'harmonisation de freinage tracteur-remorque

(cf. courbe page suivante)

L'harmonisation de freinage entre le tracteur et la remorque est définie par la courbe de compatibilité tracteur-remorque. Cette courbe précise le taux de freinage du tracteur en fonction de la pression à la main jaune.

NB : on pourrait nommer cette courbe « lien entre la pression à la main jaune et la décélération ».

Les valeurs doivent être à l'intérieur d'un « couloir » réglementaire faisant l'objet de la demande d'homologation. A l'intérieur de ce couloir, les valeurs sont choisies selon des stratégies visant à satisfaire le client (sécurité, répartition des usures).

Chaque point correspond à une stratégie particulière :

Point 1 : origine (0,0)

Point 2 : pression de début de freinage du convoi = pression d'approche,
le taux de freinage est nul.

Point 3 : équilibre des usures (TAV/TAR = constante)

Point 4 : début de la stratégie d'équiadhérence

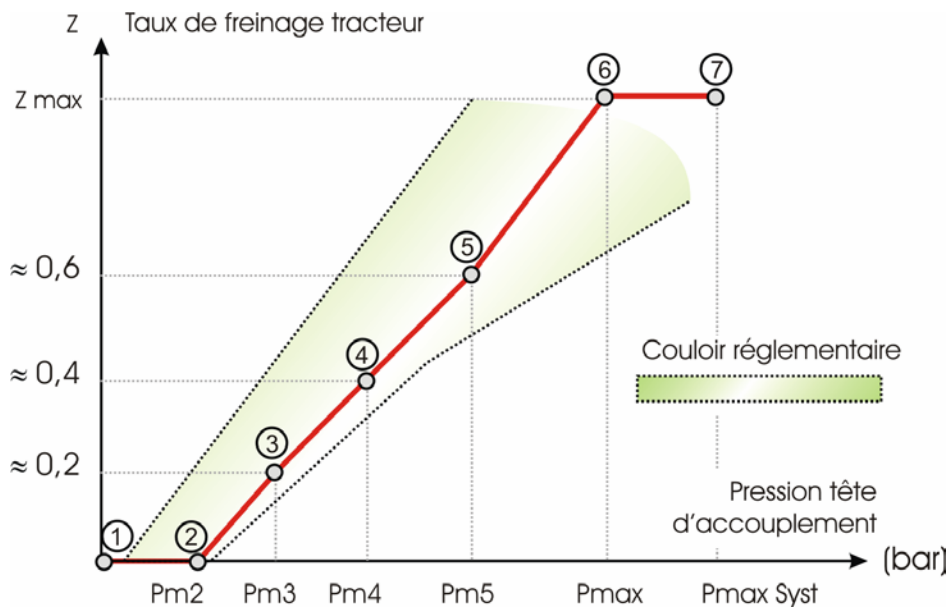
Point 5 : fin de la stratégie d'équiadhérence

Point 6 : freinage maximum, on impose 8 ou 10 bar dans les vases et cylindres de frein.

Point 7 : dépend de la pression maximum pouvant être délivrée par le système.

Rappel : par définition le taux de freinage vaut :
$$Z = \frac{\sum \text{Efforts retardateurs}}{\text{Poids}}$$

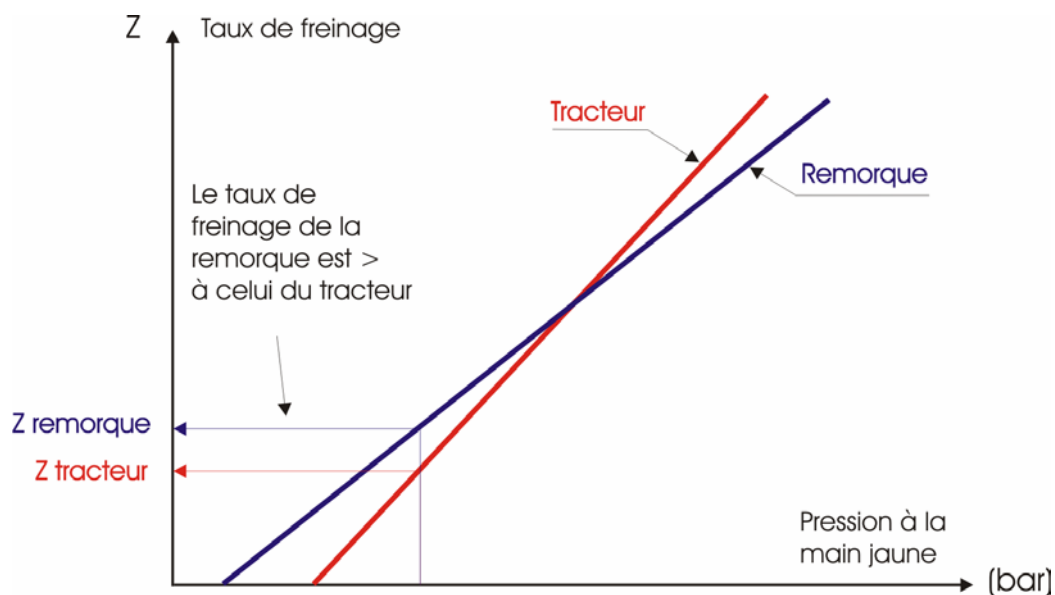
Courbe de compatibilité tracteur-remorque



Lorsque cette courbe est parfaitement respectée, le freinage est assuré dans de bonnes conditions de sécurité. Toutefois les statistiques établies à partir du parc de remorques en circulation montrent deux types d'anomalies :

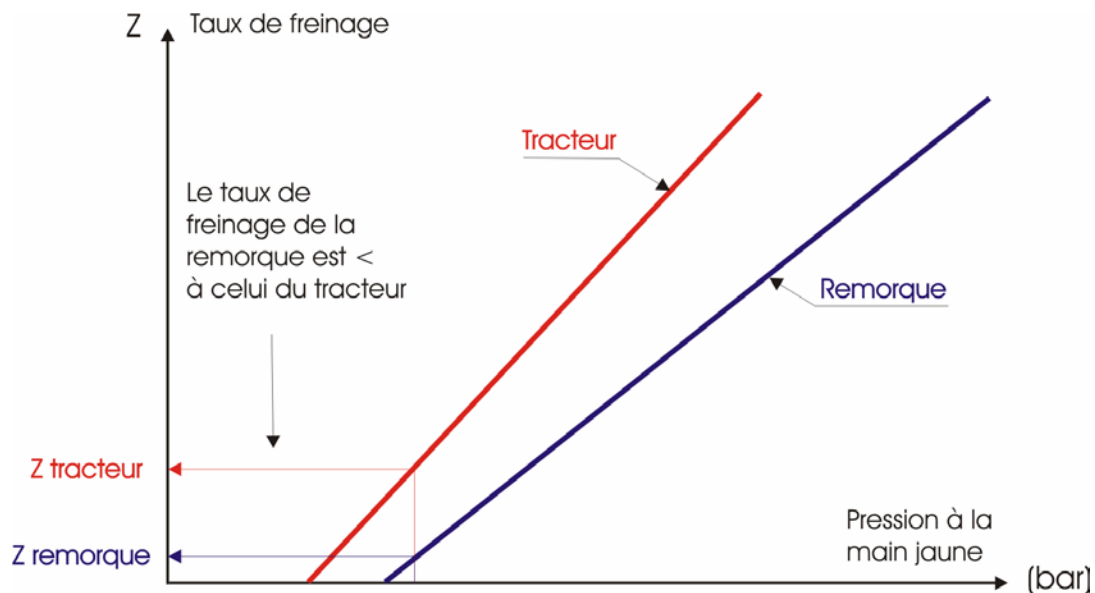
- « sur freinage » de la remorque :

Conséquences : le convoi risque de se « mettre en travers », l'usure des freins de la remorque est plus importante.



- « sous freinage » de la remorque :

Conséquences : le convoi risque de se « mettre en porte feuille », l'usure des freins du tracteur est plus importante.



Afin de limiter les situations à risques précédentes, le système EBS 2.2 intègre une fonction supplémentaire qui se nomme CFCS (Coupling Force Control System) associée à une valve de commande remorque électronique qui remplace la valve de commande remorque classique (voir schéma page 2).

Le CFCS a donc pour objectif de répartir de façon optimale l'énergie de freinage entre le tracteur et la remorque.

Afin de pouvoir exploiter au mieux l'énergie de freinage disponible, le CFCS a pour obligation :

- de connaître les efforts de freinage que la remorque peut transmettre,
- de faire débiter le freinage de la remorque et celui du tracteur simultanément.

Pour cela, le CFCS doit déterminer deux paramètres fondamentaux :

- la **masse** et l'**efficacité** du convoi,
- la **pression d'approche** de la remorque.

La méthode de mesure de la masse du convoi est présentée ci-après.

Détermination de la masse de l'ensemble Tracteur + Remorque :

- La stratégie de calcul de la masse se fait en 3 étapes.

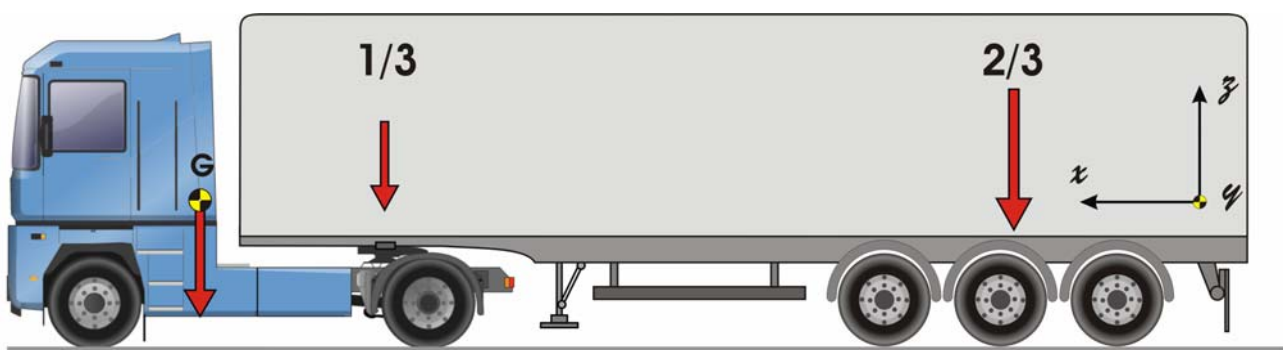
Etape 1 :

Lors de la mise sous tension du véhicule, dans un premier temps, la valeur de la masse prise par défaut est de 26T.

Etape 2 :

45 secondes après cette mise sous tension, la masse du véhicule est calculée en fonction du signal fourni par le capteur de charge implanté sur l'essieu AR du tracteur et des valeurs de charges statiques entrées en paramétrage.

Cette répartition de charge est définie selon l'hypothèse de calcul suivante :



Etape 3 :

Dans un troisième temps, lors de changements de rapports (il en faut au minimum 7), la stratégie de calcul de l'ECU centrale est basée sur le « *Principe Fondamental de la Dynamique* » (PFD).

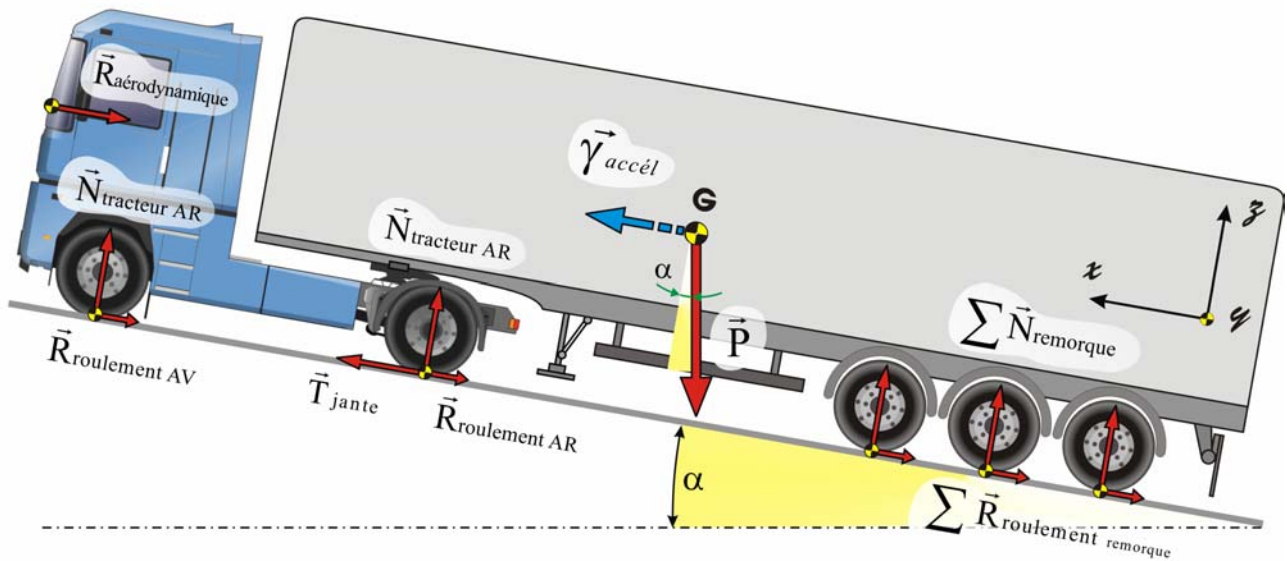
Les formules utilisées sont donc :

En phase d'accélération : $\sum \vec{F}_{\text{ext.}\vec{X}} = M.\gamma$

En phase de décélération (due au changement de rapport) : $\sum \vec{F}_{\text{ext.}\vec{X}} = -M.\gamma$

- Schémas d'explications et mode de calcul de la masse :

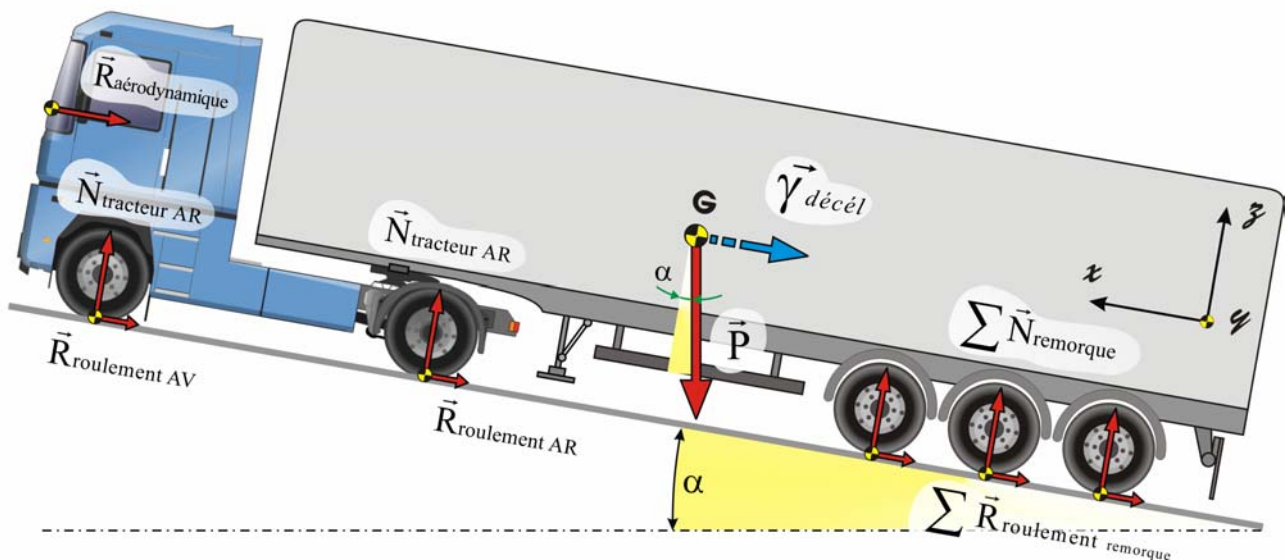
En phase accélération :



$$\sum \vec{F}_{\text{ext.}} \cdot \vec{x} = M \cdot \gamma_{\text{accél}}$$

$$\text{D'où : } T_{\text{jante}} - \left[\sum R_{\text{roulement tracteur}} + \sum R_{\text{roulement remorque}} + R_{\text{aéro}} + P \cdot \sin \alpha \right] = M \cdot \gamma_{\text{accél}} \quad (\text{Eq } \textcircled{1})$$

En phase passage de rapports (aucune action motrice ni retardatrice) :



$$\sum \vec{F}_{\text{ext.}} \cdot \vec{x} = -M \cdot \gamma_{\text{décél}}$$

$$\text{Ce qui donne : } - \left[\sum R_{\text{roulement tracteur}} + \sum R_{\text{roulement remorque}} + R_{\text{aéro}} + P \cdot \sin \alpha \right] = -M \cdot \gamma_{\text{décél}}$$

$$\text{D'où : } \left[\sum R_{\text{roulement tracteur}} + \sum R_{\text{roulement remorque}} + R_{\text{aéro}} + P \cdot \sin \alpha \right] = M \cdot \gamma_{\text{décél}} \quad (\text{Eq } \textcircled{2})$$

Si l'on reporte le résultat de l'Eq② dans l'Eq①, on obtient :

$$T_{\text{jante}} - M \cdot \gamma_{\text{décél}} = M \cdot \gamma_{\text{accél}} \quad \text{d'où : } T_{\text{jante}} = M \cdot (\gamma_{\text{accél}} + \gamma_{\text{décél}})$$

Ce qui donne comme résultat :

$$M = \frac{T_{\text{jante}}}{(\gamma_{\text{accél}} + \gamma_{\text{décél}})}$$

Avec :

- T_{jante} = effort au contact pneu/sol en N
- $\gamma_{\text{accél}}$ = accélération de l'ensemble roulant avant un passage de rapport en m/s²
- $\gamma_{\text{décél}}$ = décélération de l'ensemble roulant pendant le passage du rapport en m/s²

$\gamma_{\text{accél}}$ et $\gamma_{\text{décél}}$ sont des valeurs calculées au niveau de l'ECU centrale, par dérivation numérique de la vitesse du tracteur définie à l'aide des informations des capteurs de roues.

T_{jante} est calculé à partir de l'information P_{moteur} de la façon suivante :

$$P_{\text{jante}} = P_{\text{moteur}} \cdot \eta_{\text{transmission}} \quad \text{et } T_{\text{jante}} = \frac{P_{\text{jante}}}{V_{\text{Tracteur}}}$$

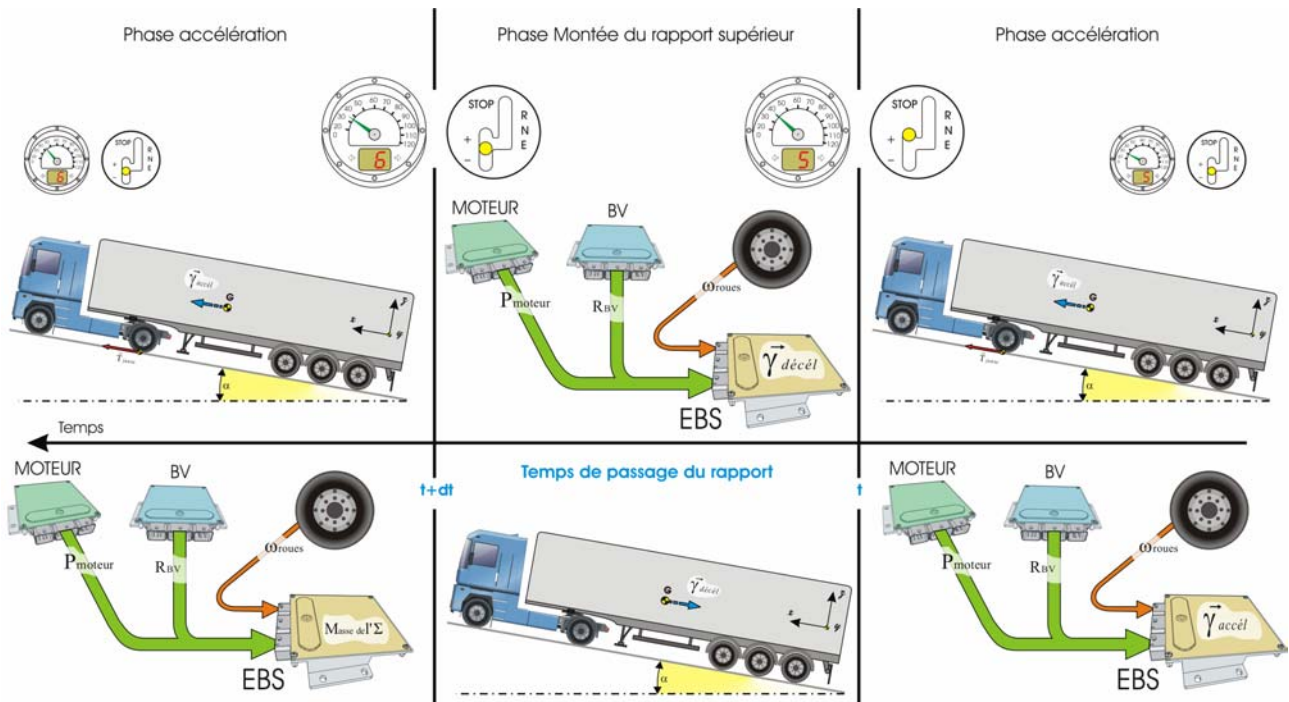
$$\text{D'où : } T_{\text{jante}} = \frac{P_{\text{moteur}} \cdot \eta_{\text{transmission}}}{V_{\text{Tracteur}}}$$

- . P_{moteur} : Puissance générée par le moteur.
L'information est envoyée par le calculateur d'injection.
- . $\eta_{\text{transmission}}$: Rendement de la transmission, variable en fonction du rapport engagé R_{bv}
L'information rapport engagé est envoyée par le calculateur BV.
- . V_{Tracteur} : Vitesse du tracteur définie par l'ECU centrale à l'aide des informations des capteurs de roues.

Ce qui donne comme résultat final :

$$M = \frac{P_{\text{moteur}} \cdot \eta_{\text{transmission}}}{V_{\text{Tracteur}} \cdot (\gamma_{\text{accél}} + \gamma_{\text{décél}})}$$

- Exploitations des résultats précédents :



Pendant la phase d'accélération, l'ECU centrale calcule $\gamma_{accél}$, lorsque le conducteur actionne le levier de vitesses afin de changer de rapport, l'ECU centrale mémorise cette valeur et commence à calculer $\gamma_{décel}$ pendant tout le temps de passage du rapport suivant.

Lorsque le rapport suivant est engagé et que l'accouplement moteur boîte est embrayé, l'ECU centrale mémorise $\gamma_{décel}$ et commence le calcul de la masse de l'ensemble tracteur-remorque.

Cette opération est exécutée lors de 7 changements de rapports.

Cette valeur de masse est mémorisée tant que l'ECU centrale reste alimentée.

Si le conducteur change de remorque sans couper le contact du tracteur, la masse mémorisée n'est plus adaptée au nouvel ensemble.

Le système devrait donc mettre en œuvre une stratégie lui permettant de valider que cette valeur de masse mémorisée ne correspond plus à la réalité et qu'il doit ainsi recommencer ses tests lors des changements de rapports.