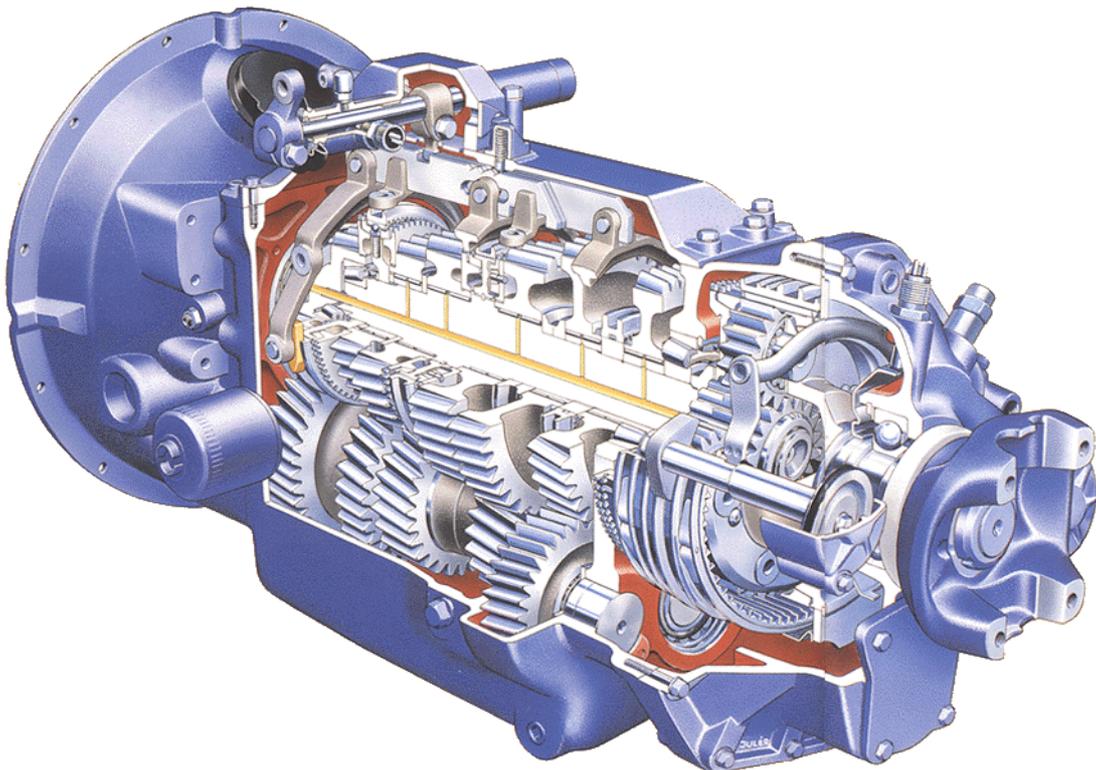


# Etude d'une transmission de camion

Le sujet comporte 6 pages de texte et 4 documents



## Liste des figures et documents :

**Page de garde** : Photographies présentant le camion et la boîte de vitesses

**Document I** : Présentation des transmissions (**format A4**)

**Document II** : Schéma des boîtes Scania (**format A4**)

**Document III** : Formulaire (**format A4**)

**Document IV** : **Trame préimprimée**, présentant le doubleur de gamme, à rendre à la fin de l'épreuve (**format A3**)

**Tournez la page S.V.P.**

## **Etude d'une transmission de camion : les boîtes SCANIA**

La concurrence est de plus en plus rude dans le monde des transports, les coûts ne font qu'augmenter, les marges rétrécissent constamment. Plus que jamais, il est important d'établir entre l'homme et le véhicule une interaction qui améliore l'efficacité du travail. Le juste à temps, qui permet aux industriels de tenir des stocks minimaux, est venu apporter aux transporteurs un nouvel et important moyen de devancer les concurrents, c'est-à-dire la maîtrise des temps de parcours. Il ne s'agit pas de faire des pointes de vitesse, mais de tenir de bonnes moyennes : une vitesse de croisière stable contribue grandement à l'efficacité des transports.

A mesure que le trafic s'intensifie sur nos routes, les transporteurs apprécient de plus en plus la facilité de maniement des véhicules, et cherchent à améliorer le cadre et les conditions de travail des chauffeurs. L'utilisation de moteurs puissants permet de réduire la tâche du conducteur, mais pour les transports lourds il est nécessaire d'utiliser des boîtes ayant un grand nombre de rapports. La conception de telles boîtes, devant être facile à manier, demande une attention particulière.

Le constructeur **Scania** propose différentes architectures de boîtes en fonction de leurs utilisations. Les solutions présentées sur le **DOCUMENT I** et **II** sont utilisées sur des camions ayant des moteurs développant de 200 CV (cylindrée de 9 l) à 500 CV (cylindrée de 14 l, couple maximal de 2 100 mN, vitesse maximale de 2 200 tr/min).

- La boîte **Scania GS711** à 10 vitesses comporte une boîte principale à 5 rapports et un médiateur à deux gammes (gamme haute et basse). Un commutateur (H-L) sur le levier de vitesse permet de présélectionner la gamme du médiateur, un débrayage entraîne la sélection rapide du rapport du médiateur par l'intermédiaire d'un vérin pneumatique. Cette technique réduit la charge du conducteur. De plus, lorsque le véhicule est vide, le médiateur n'est pas utile car une boîte à 5 rapports est suffisante vue la puissance du moteur.

- La boîte **Scania GR871** à 10 vitesses comporte une boîte principale à 5 rapports associée à un doubleur de gamme (à deux rapports). Une technique similaire à celle utilisée pour la boîte précédente permet le changement de gamme, la différence vient de l'étagement des deux gammes.

- La boîte **Scania GRS900** à 14 vitesses avant (et 4 vitesses arrière) est adaptée aux transports lourds. Elle comporte une boîte principale à 3 rapports associée à un médiateur à deux gammes placé à l'avant de la boîte et à un doubleur de gamme placé à l'arrière de la boîte. De plus pour les manœuvres, la boîte comporte deux rapports "ultra-lent". Deux commutateurs placés sur le levier de vitesse permettent de présélectionner les gammes du médiateur et du doubleur.

Depuis les années 80, **Scania** propose des boîtes dites "semi-automatisées" qui permettent aux chauffeurs de changer de rapport sans ôter les mains du volant et sans quitter la route du regard. Grâce à une électronique moderne, le système développé propose le meilleur rapport en prenant en compte le paramètre de la consommation optimale. Le changement automatique de rapport ne s'effectue que lorsque le chauffeur débraye. La boîte peut être commandée manuellement ; par exemple le chauffeur peut devancer le système d'aide à la conduite à l'approche de côtes. Ce système permet de réduire le temps de changement de rapport ; le gain de l'ordre de quelques dixièmes de seconde peut être précieux dans une montée ou en accélération ; de plus, il entraîne une réduction de la consommation.

**Le travail demandé comporte trois parties.** La première partie concerne une étude rapide de la transmission du camion, la seconde est liée au dimensionnement d'un baladeur, et la troisième est centrée sur la conception d'un doubleur de gamme. Les deux dernières parties sont d'importance sensiblement équivalente.

**PREMIERE PARTIE : Etude de la transmission**

Le but de l'étude suivante est principalement de comparer les caractéristiques de deux doubleurs de gamme (boîtes de vitesses à deux rapports) (**Document II**) permettant de répondre au cahier des charges (rapports de réduction, encombrement minimal, pertes minimales, coût de réalisation faible).

1) Proposer des choix technologiques pour la réalisation des liaisons entre la boîte de vitesses et l'arbre de transmission et entre l'arbre de transmission et le pont (**Figure 1, Document I**) ; justifier rapidement vos choix.

2) Quelle est la fonction du ralentisseur (**Figure 1, Document I**) ? Commenter rapidement la réalisation et le fonctionnement de ce composant (5 lignes maximum).

3) Quelle est la fonction du synchroniseur dans une boîte de vitesses (**Document II**) ? Commenter rapidement la réalisation et le fonctionnement de ce composant (5 lignes maximum).

4) Justifier l'utilisation d'un train épicycloïdal pour la réalisation du doubleur de gamme (**Document II**).

On notera respectivement "e" et "s" les arbres d'entrée et de sortie du doubleur de gamme.

Les rapports souhaités sont  $\omega_s/\omega_e = 1$  et  $\omega_s/\omega_e = 1/4$ .

On notera  $\lambda$  la raison basique du train :  $\omega_1 - \lambda \omega_3 + (\lambda - 1) \omega_4 = 0$  ("1" et "3" sont les planétaires et "4" représente le porte satellites).

5) Etude cinématique du doubleur de gamme "A" (**Document II**). Déterminer en fonction de  $\lambda_a$  le rapport des vitesses  $\omega_s/\omega_e$  lorsque le crabot C<sub>1</sub> ou C<sub>2</sub> est engagé. Déterminer la valeur de la raison basique du train  $\lambda_a$  compatible avec le cahier des charges.

6) Etude cinématique du doubleur de gamme "B" (**Document II**). Déterminer en fonction de  $\lambda_b$  le rapport des vitesses  $\omega_s/\omega_e$  lorsque le crabot C<sub>3</sub> ou C<sub>4</sub> est engagé. Déterminer la valeur de la raison basique du train  $\lambda_b$  compatible avec le cahier des charges.

7) Etude dynamique du doubleur de gamme "A" (**Document II**). Déterminer, en fonction de  $\lambda_a$  et du couple  $C_e$  à l'entrée du doubleur de gamme, le couple à transmettre par les crabots C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>. Les hypothèses utilisées seront précisées.

8) Etude dynamique du doubleur de gamme "B" (**Document II**). Déterminer, en fonction de  $\lambda_b$  et du couple  $C_e$  à l'entrée du doubleur de gamme, le couple à transmettre par les crabots C<sub>3</sub> et C<sub>4</sub>. Les hypothèses utilisées seront précisées.

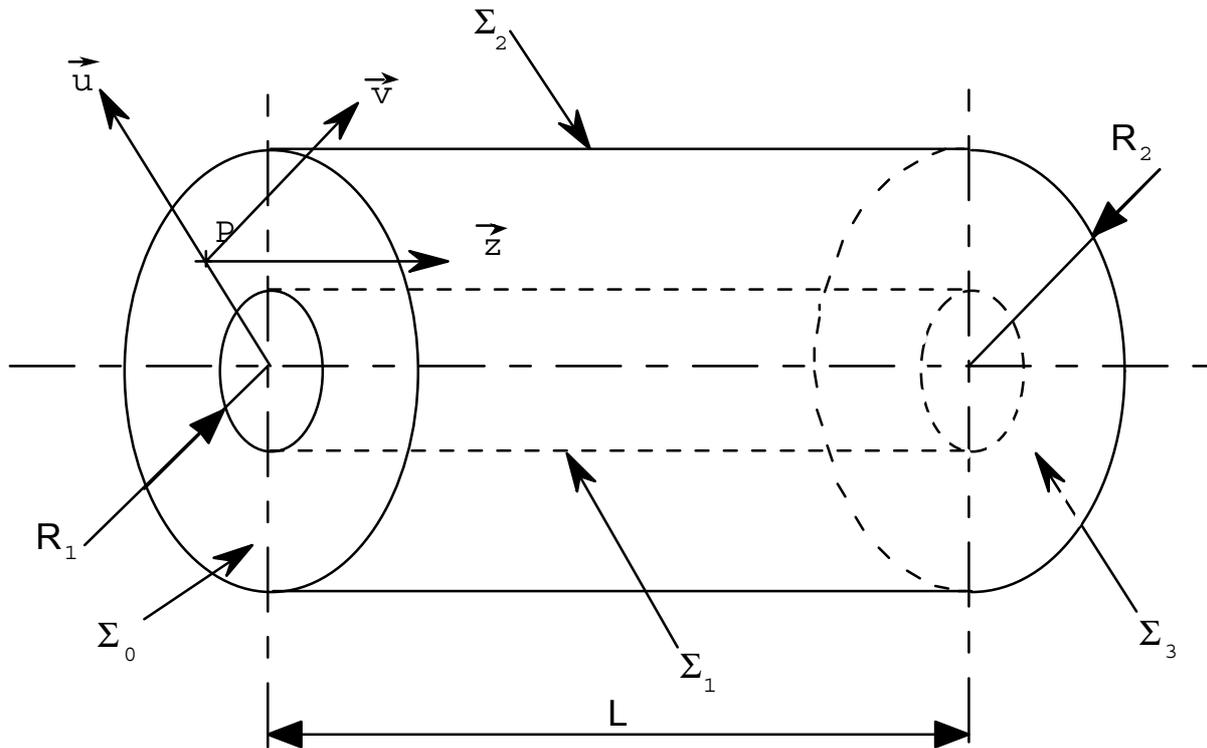
9) Comparer les deux solutions constructives.

**Tournez la page S.V.P.**

**SECONDE PARTIE : Dimensionnement d'un baladeur**

L'étude proposée est relative au dimensionnement d'un baladeur de la boîte de vitesse. Il s'agit de déterminer le champ des contraintes qui se développe lorsqu'il transmet un couple  $\vec{C} = C \vec{z}$  à l'arbre de sortie S.

La figure qui suit propose une modélisation possible du corps du baladeur. Il est assimilé à un cylindre creux de révolution de dimensions  $R_1$ ,  $R_2$  et  $L$ .



Les efforts extérieurs qui s'exercent sur le cylindre sont définis par des densités surfaciques d'effort :

$$\begin{aligned} \forall P \in \Sigma_0 \quad \vec{F}(P, t) &= -Ar \vec{v} \\ \forall P \in \Sigma_1 \quad \vec{F}(P, t) &= -\frac{A}{4L} \left( R_1^2 - \frac{R_2^4}{R_1^2} \right) \vec{v} \\ \forall P \in \Sigma_2 \quad \vec{F}(P, t) &= \vec{0} \\ \forall P \in \Sigma_3 \quad \vec{F}(P, t) &= \vec{0} \end{aligned}$$

$\vec{v}$  est le deuxième vecteur de la base locale normée associée aux coordonnées cylindriques au point P considéré.

On demande, en utilisant le formulaire (**document III**) :

1) de démontrer que les efforts extérieurs proposés assurent l'équilibre du baladeur. Est-ce que le problème est régulier ?

2) de rechercher la solution sous la forme suivante :

$$\sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{zz} = \sigma_{rz} = 0$$

$$\sigma_{z\theta} = A r \frac{L-z}{L}$$

$$\sigma_{r\theta} = A f(r)$$

A est une constante dépendant de C, f(r) est une fonction à déterminer.

Pour chercher la solution, on répondra aux questions suivantes :

a- donner les 2 relations auxquelles f(r) doit satisfaire pour que les conditions aux limites soient respectées.

b- à partir de l'équation d'équilibre relative à  $\vec{v}$  écrire l'équation différentielle dont f(r) est solution.

c- donner l'expression de f(r) lorsque  $\vec{f}(M, t) = \vec{0} \quad \forall M \in$  au corps du baladeur. La constante d'intégration sera calculée avec l'une des relations déterminées en 2-a. On s'assurera que la seconde est bien vérifiée.

3) de montrer que le champ des contraintes ainsi obtenu vérifie les équations de BELTRAMI.

4) d'indiquer la démarche qui permet de déterminer le champ des déplacements, (10 lignes maximum).

5) de calculer A en fonction du couple transmis C.

6) de donner la valeur maximale de C pour qu'aucun point du corps de baladeur ne dépasse la limite élastique du matériau le constituant.

7) quelles autres études de mécanique faudrait-il réaliser pour déterminer le dimensionnement complet du baladeur ?

8) Le baladeur est en liaison glissière avec l'arbre S. Cette liaison est réalisée par des cannelures. Indiquer les différents procédés de fabrication qui permettent de les obtenir.

### TROISIEME PARTIE : Conception du doubleur de gamme

L'objectif de cette partie est la réalisation du dessin d'un avant projet du doubleur de gamme "A" (**document II**). La solution industrielle nécessite l'utilisation de synchroniseurs pour assurer un changement de gamme rapide et sans risque (pas de détérioration) pour la boîte de vitesses. Par faute de temps, il n'est pas demandé d'étudier la réalisation de ces synchroniseurs, la transmission étant assurée par des crabots ; ceci ne modifie pas la conception globale du doubleur de gamme. La conception de la commande du baladeur n'est pas demandée.

1) Proposer un schéma d'architecture (ou schéma technologique) de ce doubleur de gamme. La solution technique proposée doit limiter au maximum l'hyperstaticité. Pour faciliter la réalisation et le montage le constructeur impose que le pignon planétaire "1" soit en liaison complète avec l'arbre de sortie de la boîte principale "S", cet arbre étant en liaison pivot avec le carter de la boîte (**document II et IV**). Les solutions constructives proposées seront rapidement commentées.

2) Réaliser un dessin d'avant-projet de ce doubleur de gamme (**document IV**) en respectant le cahier des charges suivant :

- puissance maximale du moteur d'entraînement : 200 CV,
- l'arbre de sortie du doubleur de gamme doit être cannelé à son extrémité pour assurer la liaison avec l'arbre de transmission,
- les caractéristiques des dentures des pignons du train épicycloïdal sont données sur le **document IV**,
- système très fiable,
- montage et démontage faciles,
- réalisation en moyenne série.

Les principaux points à étudier sont :

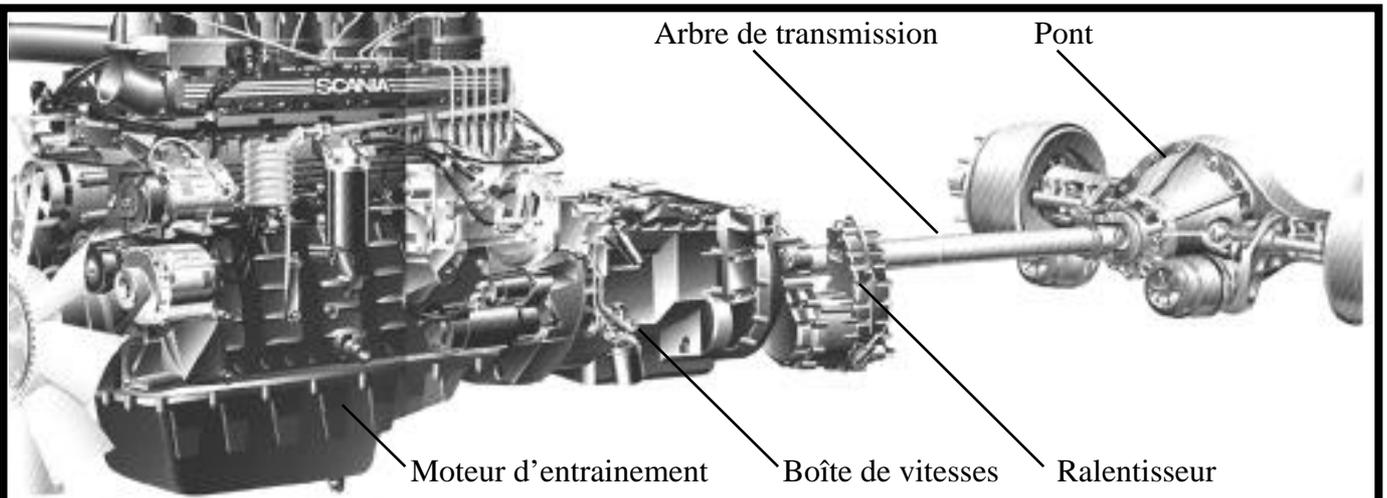
- la réalisation du train épicycloïdal, en particulier la réalisation du porte satellites,
- la réalisation du baladeur,
- la réalisation du carter.

Les différentes vues nécessaires à la compréhension doivent être représentées. Des vues en perspectives, à main levée, peuvent avantageusement être utilisées (sur le **document IV** ou sur la copie).

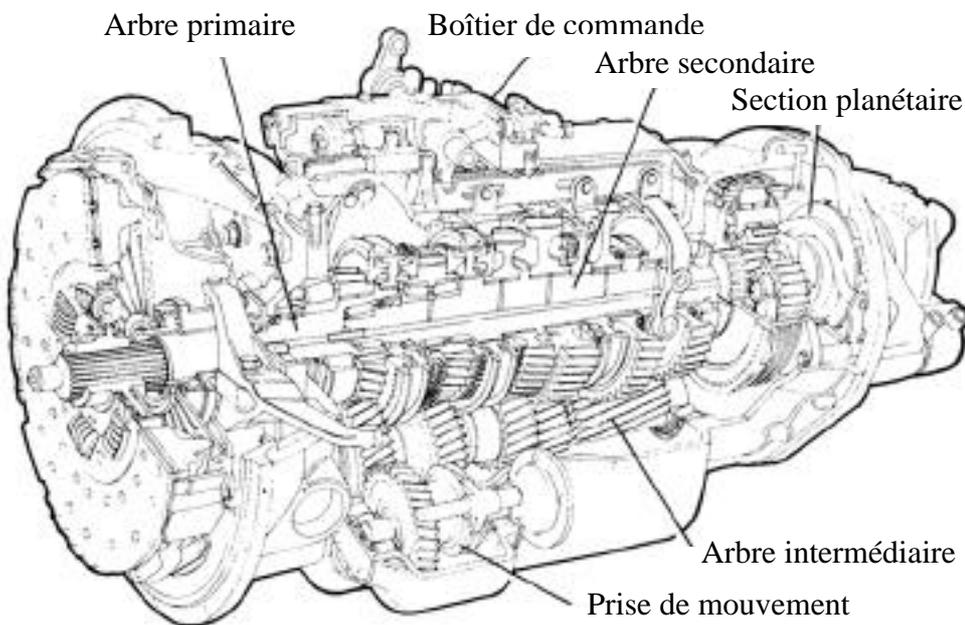
Les différents ajustements sont à préciser.

Le dimensionnement des différentes liaisons n'est pas à étudier.

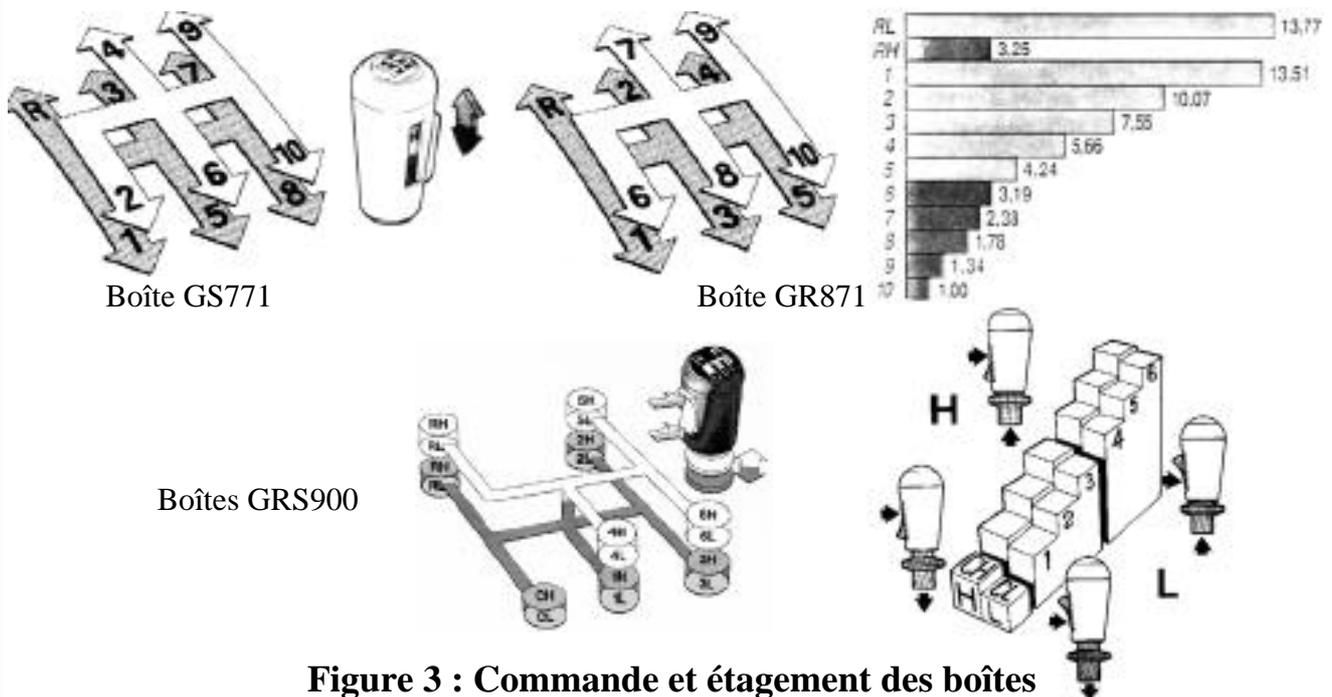
Pour les éléments standards du commerce (roulements, joints, vis, ...) il est demandé de respecter l'ordre de grandeur des dimensions.



**Figure 1 : Transmission de camion**

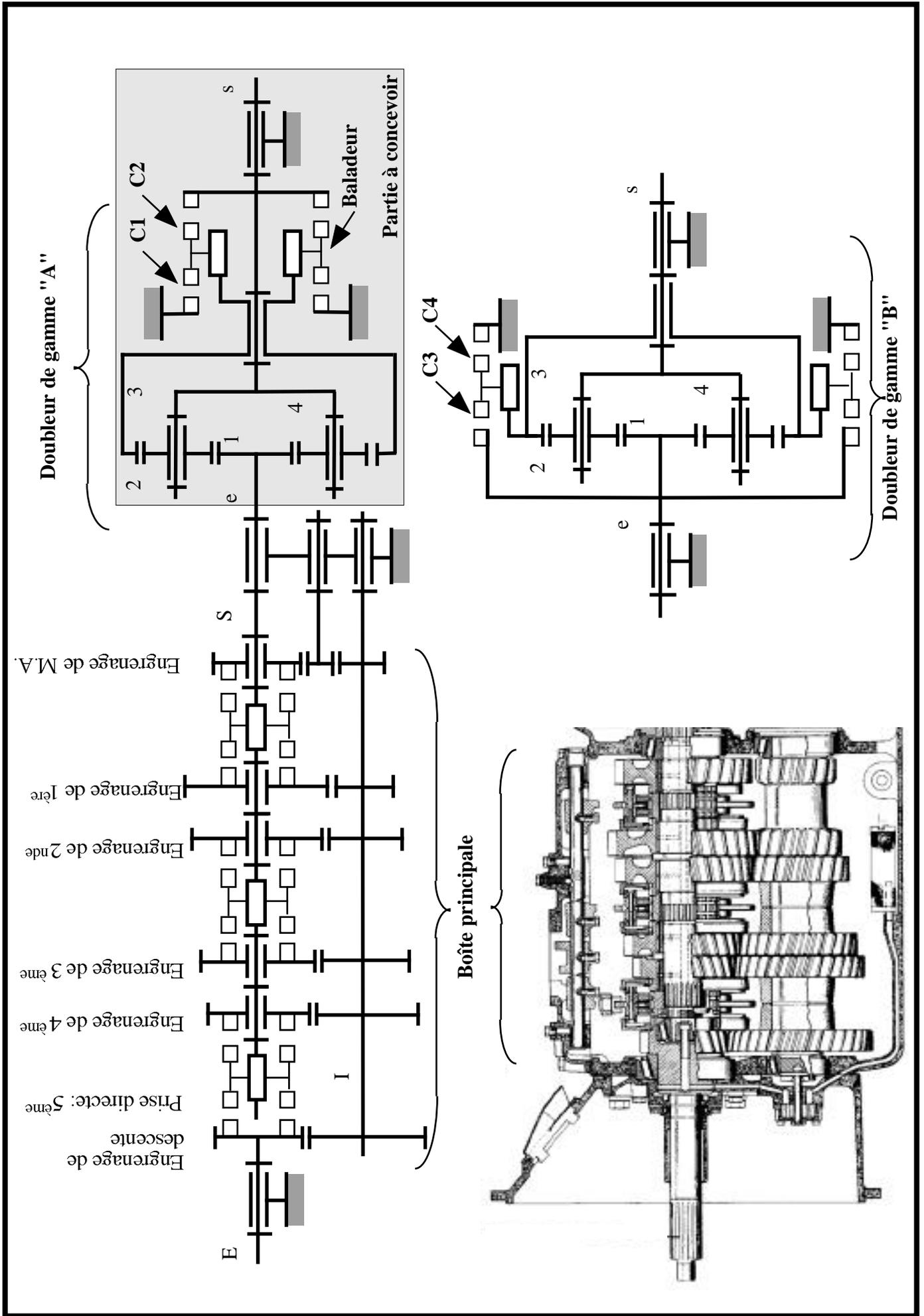


**Figure 2 : Boîte Scania GRS900**



**Figure 3 : Commande et étagement des boîtes**

**DOCUMENT II : Schéma des boîtes Scania**



Equations d'équilibre en coordonnées cylindriques :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r} + f_r = 0$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{z\theta}}{\partial z} + \frac{2}{r} \sigma_{r\theta} + f_{\theta} = 0$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rz}}{r} + f_z = 0$$

Equations de BELTRAMI en coordonnées cylindriques :

$$\frac{1}{1+\nu} \left[ \text{Tr}(\boldsymbol{\sigma}) \right] + \frac{1}{1-\nu} (\text{div } \mathbf{f}) \cdot \mathbf{1} + \mathbf{f} + \text{grad } \phi = \mathbf{0}$$

Sur la base tensorielle, associée à la base locale, les composantes de la matrice symétrique qui représente  $\boldsymbol{\sigma}$  sont :

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r}$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{z\theta}}{\partial z} + \frac{2}{r} \sigma_{r\theta}$$

$$\sigma_{zz} = \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rz}}{r}$$

$$\sigma_{r\theta} = \sigma_{\theta r} = \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{z\theta}}{\partial z} + \frac{2}{r} \sigma_{r\theta}$$

$$\sigma_{rz} = \sigma_{zr} = \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rz}}{r}$$

$$\sigma_{z\theta} = \sigma_{\theta z} = \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{z\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{z\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z}$$

Sur la base locale les composantes de  $\text{Tr}(\boldsymbol{\sigma})$  s'écrivent:

$$(\text{Tr } \boldsymbol{\sigma})_r = \frac{1}{r} (\text{Tr } \boldsymbol{\sigma})$$

$$(\text{Tr } \boldsymbol{\sigma})_{\theta} = \frac{1}{r} (\text{Tr } \boldsymbol{\sigma})$$

$$(\text{Tr } \boldsymbol{\sigma})_z = \frac{1}{r} (\text{Tr } \boldsymbol{\sigma})$$

Si  $\mathbf{V}$  est un champ vectoriel, la matrice qui représente  $[\mathbf{V}]$ , sur la base tensorielle associée à la base locale, est :

$$\begin{matrix} \frac{v_r}{r} & \frac{1}{r} \frac{v_r}{r} - \frac{v}{r} & \frac{v_r}{z} \\ \frac{v}{r} & \frac{1}{r} \frac{v}{r} + \frac{v_r}{r} & \frac{v}{z} \\ \frac{v_z}{r} & \frac{1}{r} \frac{v_z}{r} & \frac{v_z}{z} \end{matrix}$$

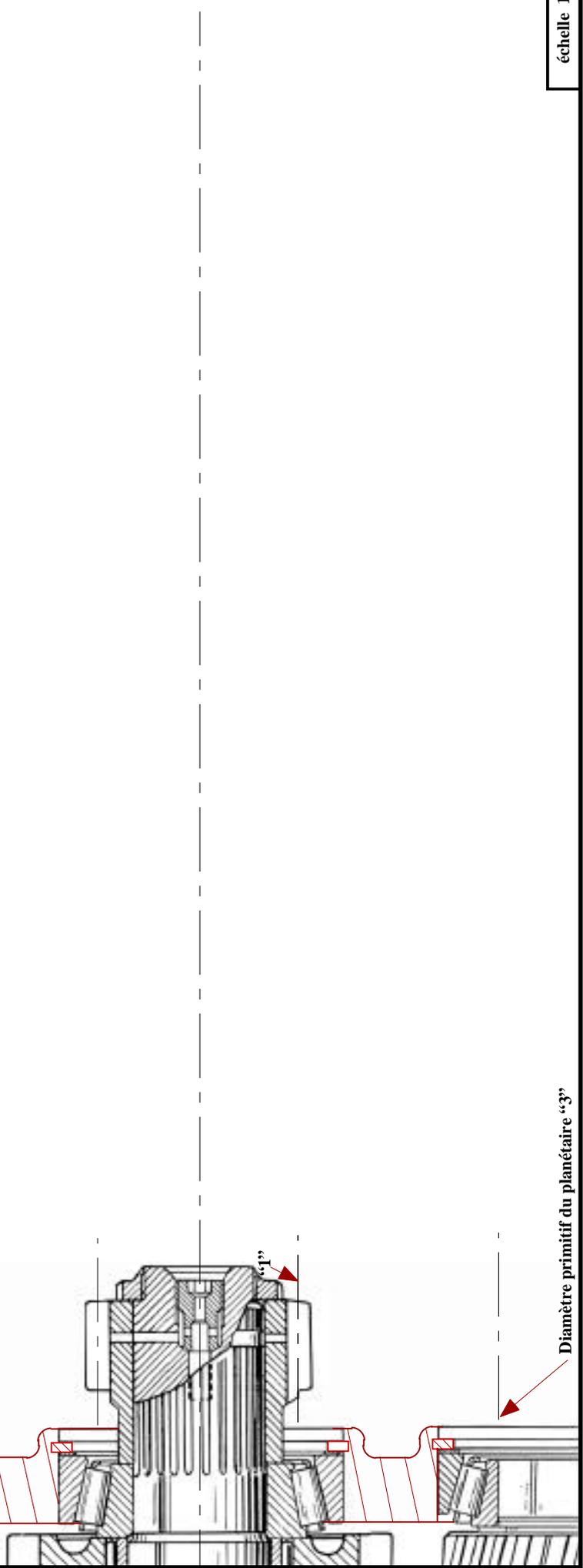
Nom : .....  
Prénom : ..... (en lettres capitales)  
Epreuve : .....  
N° de table : .....

Boîte principale

carter

"1"

Diamètre primitif du planétaire "3"



échelle 1