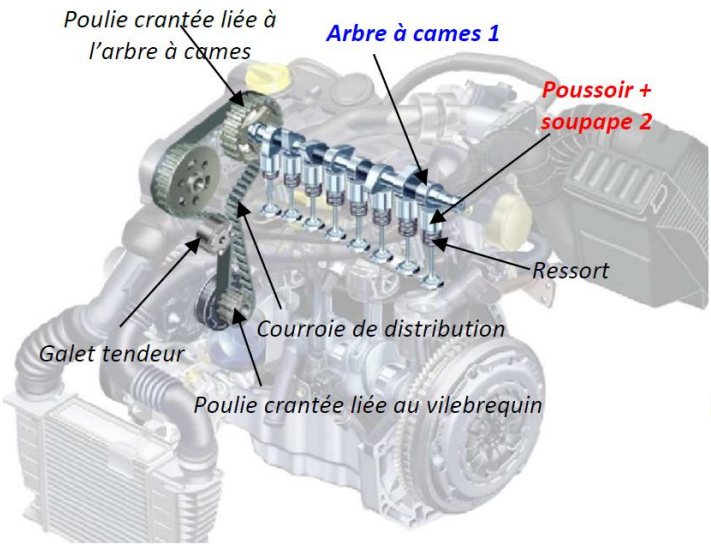
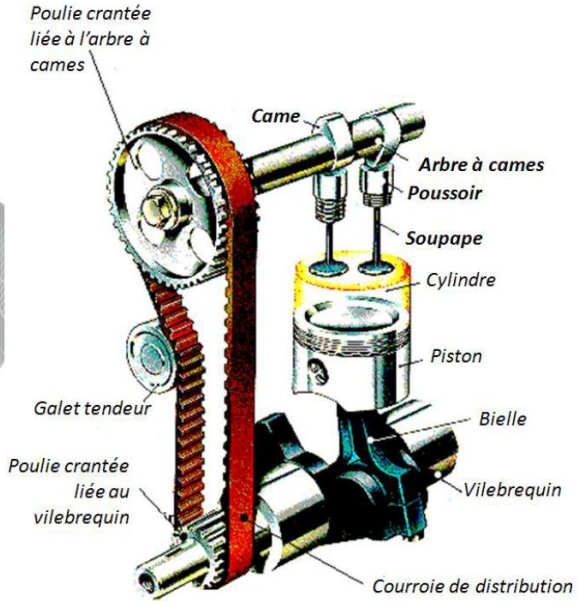
Ex. 1 : Système de distribution d'un moteur 4 temps

Le système de distribution automobile permet l'admission du mélange gaz frais (air + carburant) et le refoulement des gaz d'échappement lors du cycle 4 temps d'un moteur thermique. Le vilebrequin (arbre moteur) entraine en rotation l'arbre à cames par l'intermédiaire d'une transmission poulie/courroie crantée (courroie de distribution). Le mouvement de rotation continue de l'arbre à cames **1** est ensuite transformé en un mouvement de translation alternative de l'ensemble poussoir+soupape **2.**





On s'intéresse dans la suite, au comportement cinématique de ce dispositif de transformation de mouvement par came. Pour simplifier l'étude, on l'assimilera à un dispositif de transformation de mouvement par excentrique (came ronde excentrée).

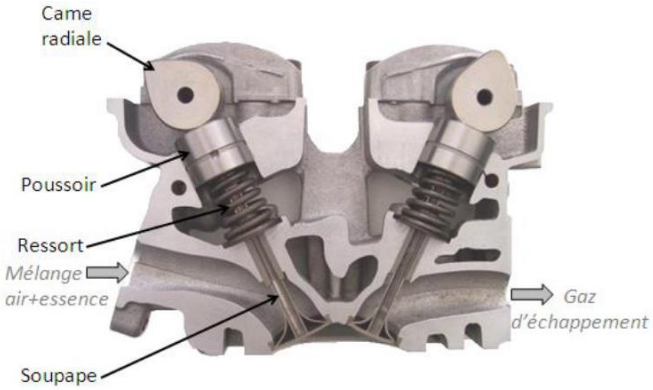


Photo du dispositif de transformation de mouvement par came radiale

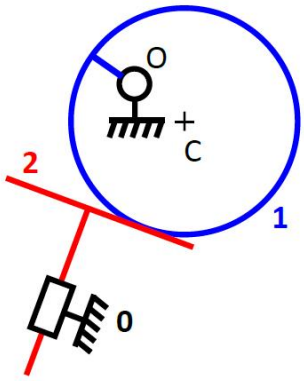


Schéma cinématique du dispositif de transformation de mouvement par excentrique

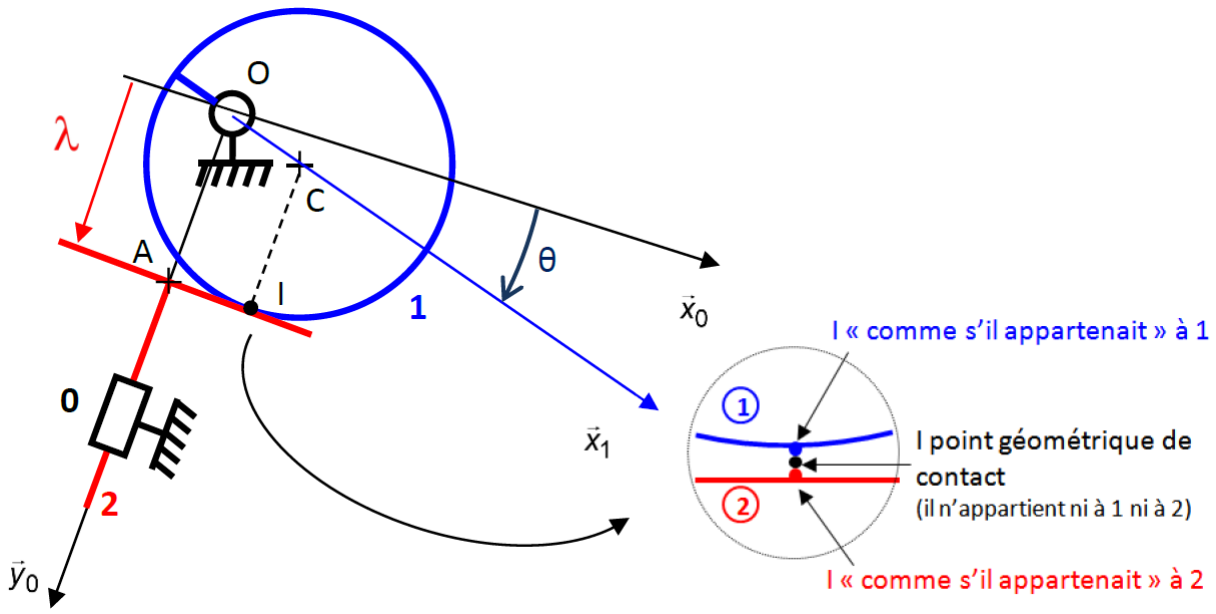
Les constituants du système sont les suivants :

– carter **0**, considéré comme fixe, de repère associé $R_0 = (O, \overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})$;

– l'arbre à came **1**, de repère associé $R_1 = (O, \overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_1})$, est en mouvement de rotation d'axe $(O, \overrightarrow{z_0})$ par rapport au carter **0** tel que $\overrightarrow{z_0} = \overrightarrow{z_1}$ et $(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_1}) = \theta$. La came, représentée par un

disque de rayon R et de centre C tel que $\overrightarrow{OC} = e.\overrightarrow{x_1}$ est en contact ponctuel au point I avec l'ensemble poussoir+soupape **2** ;

– l'ensemble poussoir+soupape **2**, de repère associé $R_2 = (A, \overrightarrow{x_2}, \overrightarrow{y_2}, \overrightarrow{z_2})$, est en mouvement de translation à trajectoire rectiligne de direction $\overrightarrow{y_0}$ par rapport au carter **0** tel que $\overrightarrow{OA} = \lambda.\overrightarrow{y_0}$.



On définit : e=14 mm ; R =25 mm et $\|\overrightarrow{\Omega_{1/0}}\| = 1500$ tr/min.

Objectif : déterminer le vecteur vitesse de glissement, les composantes de roulement et pivotement au contact came/poussoir.

Question 1. Déterminer l'expression du vecteur vitesse de glissement entre 1 et 2. Le projeter dans la base locale liée au contact.

Question 2. Donner la relation entre λ, e , R , et θ qui permet de garantir à chaque instant le contact au point I entre 1 et 2. En déduire une relation entre $\dot{\lambda}$, e, θ et $\dot{\theta}$.

Question 3. En tenant compte de cette relation, vérifier que le vecteur vitesse de glissement est bien contenu dans le plan tangent commun aux deux solides en contact.

Question 4. Déterminer la norme de ce vecteur vitesse de glissement dans la position du mécanisme pour laquelle $\theta = 20°$.

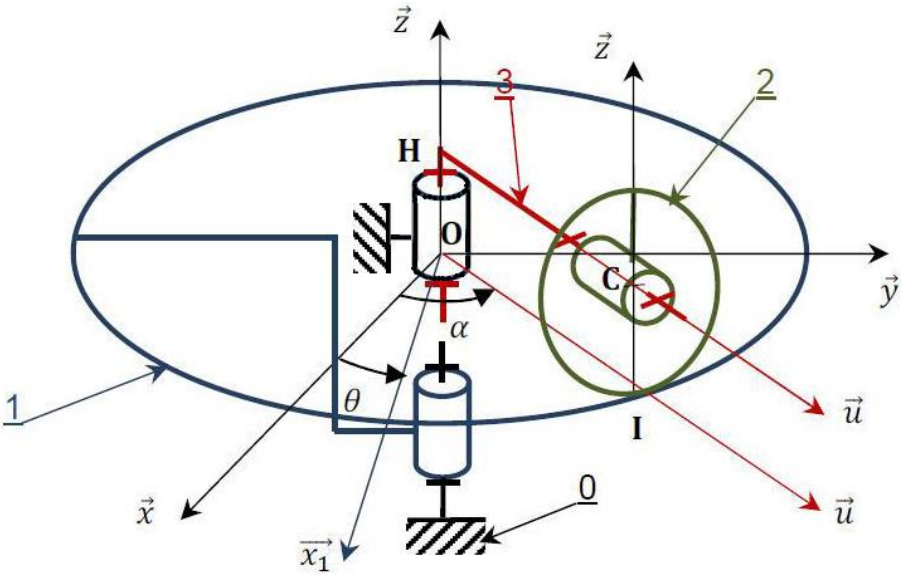
Question 5. Dans la position donnée sur le schéma cinématique (θ =20°), tracer $\vec{V}_{I\in 1/2}$ (on prendra une échelle : 1 cm pour 1 m/s). Tracer les directions de $\vec{V}_{I\in 1/0}$ et $\vec{V}_{I\in 2/0}$ en utilisant les résultats de cinématique des mouvements élémentaires.

Question 6. En déduire graphiquement la vitesse de translation du piston pour cette position.

Question 7. Déterminer l'expression des vecteurs de roulement $\vec{\Omega}_{2/1}^{roul}$ et de pivotement $\vec{\Omega}_{2/1}^{piv}$.

Ex. 2 : Banc de tests de pneumatiques

On s'intéresse à un banc de tests d'usure de pneumatiques. Un ensemble pneumatique + jante **2**, entrainé en rotation par rapport au bras **3** à l'aide d'un moto-réducteur, roule sur un plateau tournant **1**. Le bras **3** et le plateau tournant **1** sont entrainés en rotation par rapport aux bâti **0** à l'aide de deux autres moto-réducteurs. En assimilant la roue **2** à un disque on obtient le schéma cinématique suivant du système :



On donne ci-dessous les constituants et le paramétrage :

– bâti **0**, considéré comme fixe, de repère associé $R_0 = (O, \vec{x_0}, \vec{y_0}, \vec{z_0})$;

– le plateau tournant **1**, de repère associé $R_1 = (O, \vec{x_1}, \vec{y_1}, \vec{z_1})$, est en mouvement de rotation d'axe $(O, \vec{z})$ par rapport au bâti **0** tel que $\vec{z} = \vec{z_1}$ et $(\vec{x}, \vec{x_1}) = \theta$;

– le bras **3**, de repère associé $R_3 = (H, \vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$, est en mouvement de rotation d'axe $(O, \vec{z})$ par rapport au bâti **0** tel que $\vec{z} = \vec{w}$ et $(\vec{x}, \vec{u}) = \alpha$;

– l'ensemble pneumatique + jante **2**, de repère associé $R_2 = (C, \vec{x_2}, \vec{y_2}, \vec{z_2})$, est en mouvement de rotation d'axe $(H, \vec{u})$ par rapport au bras **3** tel que $\vec{u} = \vec{x_2}$ et $(\vec{z}, \vec{z_2}) = \beta$. On pose $\overrightarrow{HC} = d.\vec{u}$ (d=constante). Le pneumatique, de rayon r, est en contact au point I avec le plateau **1**.

Objectif : déterminer la relation entre les vitesses de rotation des 3 actionneurs permettant de reproduire des conditions de roulement sans glissement d'un pneumatique sur une route.

Question 1. Déterminer l'expression du vecteur vitesse de glissement entre 1 et 2.

Question 2. En déduire la relation entre les vitesses de rotation des 3 actionneurs $\dot{\theta}$, $\dot{\alpha}$ et $\dot{\beta}$ afin d'assurer en permanence le roulement sans glissement du pneumatique sur le plateau.

Question 3. Déterminer l'expression des vecteurs de roulement et de pivotement.

Ex. 3 : Accélérateur de boules pour bowling

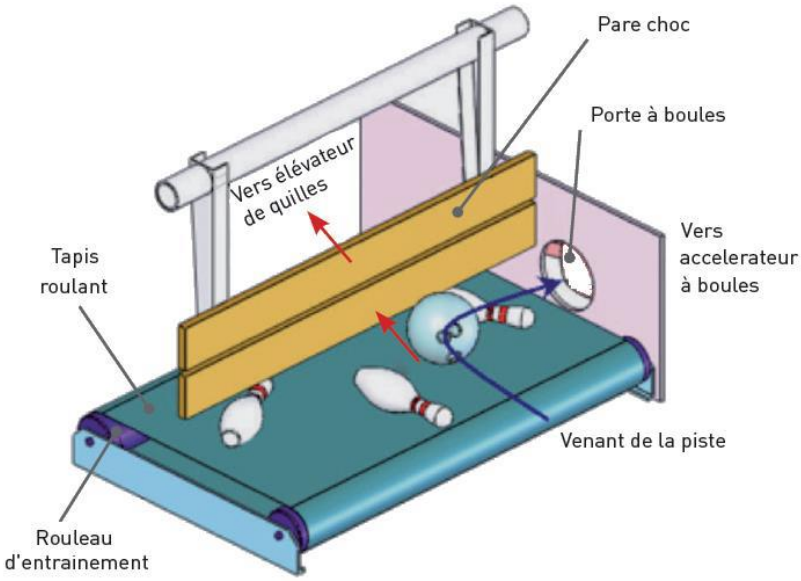
(sujet oral Mines-Télécom)

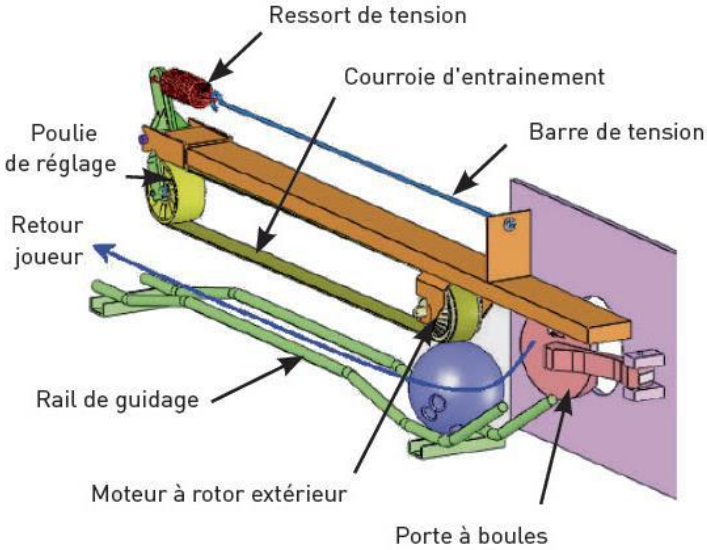
Au bowling, lors du lancer d'une boule, celle-ci tombe avec les quilles, dans une fosse placée en contrebas de la piste. Elle est constituée :

• d'un pare choc qui permet d'absorber l'impact de la boule ;

• d'un tapis roulant qui dirige les quilles vers l'élévateur à quilles en passant sous ce pare choc.

La légère inclinaison du tapis roulant permet d'amener la boule retenue par le pare choc vers l'accélérateur à boules en passant par la porte à boules.





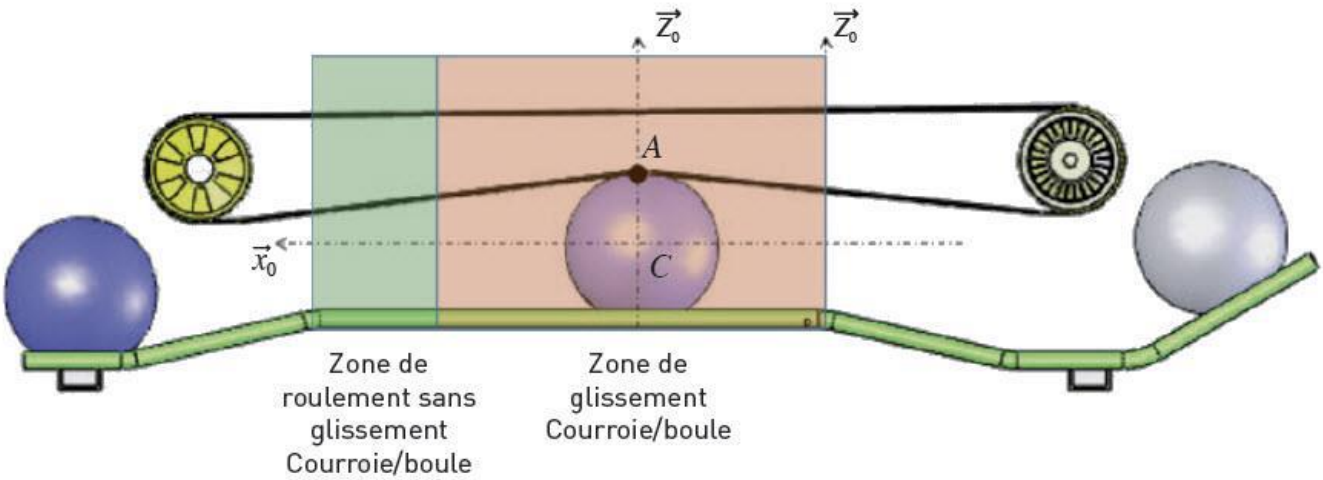
L'accélérateur à boules sert à renvoyer les boules aux joueurs de chacune des deux pistes. La boule passant par la porte à boules arrive sur la pente d'un rail de guidage qui l'amène par son propre poids, sous une courroie d'entraînement. La courroie est entraînée par un moteur à rotor extérieur (Il joue le rôle de poulie motrice). Une poulie réceptrice articulée permet de moduler la tension de la courroie par l'intermédiaire d'un ressort et d'une barre de tension.

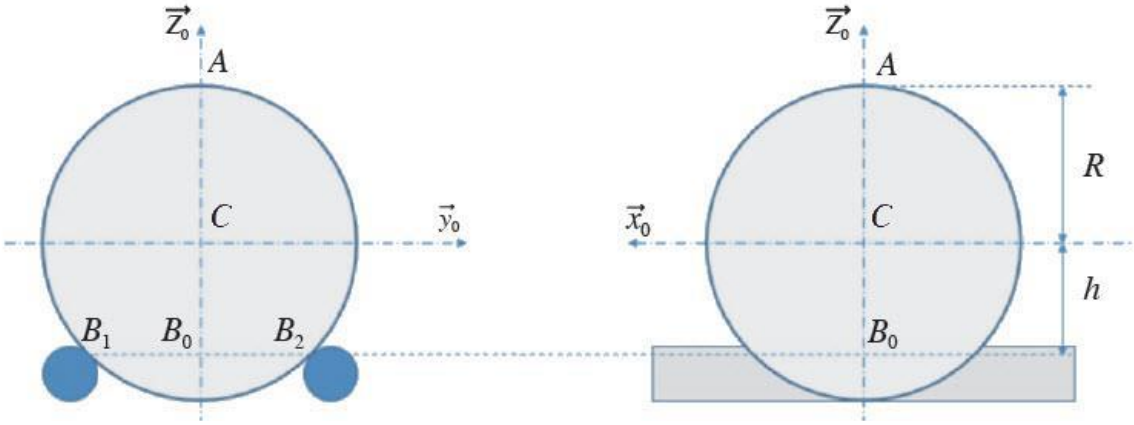
Un extrait du cahier des charges est proposé dans le tableau ci-dessous. L'objectif de l'exercice est de déterminer la vitesse de rotation du rotor moteur afin que l'exigence soit satisfaite.

Exigence	**Critères**	**Niveau**
ASSURER LE RETOUR DE LA BOULE	Vitesse de sortie de l'accélérateur de boules	$\vec{V}_{C\in boule/rail} = V_c\,\vec{x}_0$ ($V_c = 1\,\mathrm{ms}^{-1}$) avec C centre de la boule.

Pour déterminer la vitesse de la boule à partir de calculs cinématiques, les hypothèses suivantes sont posées :

- la courroie ne glisse pas sur le rotor extérieur du moteur ;
- il existe une zone à la sortie de l'accélérateur où la boule roule sans glisser sur la courroie ;
- la boule roule sans glisser sur le rail de guidage en B_1 et B_2. L'axe (B_1B_2) est alors dit axe instantané de rotation de la boule par rapport au rail de guidage. On pose ainsi $\vec{\Omega}_{boule/rail} = \omega_{boule/rail}.\overrightarrow{y_0}$ (on notera par la suite $\vec{\Omega}_{b/r} = \omega_{b/r}.\overrightarrow{y_0}$) ;
- Diamètre extérieur du rotor du moteur : D = 150 mm ;
- Rayon de la boule étudiée vaut R = 11 cm et la hauteur h = 9 cm.





Question 1. En prenant un vecteur $\|\overrightarrow{\Omega_{b/r}}\|$ ↔1 cm, tracer sur la figure ci-dessus dans le plan $(C, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})$, les vecteurs de roulement et de pivotement en B_1 et B_2.

Question 2. Déterminer $\vec{V}_{C\in b/r}$ en fonction de $\omega_{b/r}$ et h. En déduire $\omega_{b/r}$ en fonction de V_C et h.

Question 3. Déterminer $\vec{V}_{A\in b/r}$ en fonction de $\omega_{b/r}$, R et h .

Question 4. En considérant qu'à un instant donné, la boule est en mouvement de rotation autour de l'axe instantané (B_1B_2) par rapport au rail, déterminer graphiquement sur la figure 4C, $\vec{V}_{A\in b/r}$ après avoir tracé $\vec{V}_{C\in b/r} = V_C.\overrightarrow{x_0}$ avec $V_C = 1$ m/s (on prendra une échelle 1 cm↔1 m/s). Valider vos résultats analytiques des questions 2 et 3.

Question 5. Déterminer $\vec{V}_{A\in courroie/r}$ dans la zone de sortie de l'accélérateur de boules où il y a roulement sans glissement de la boule sur la courroie, en fonction de $\omega_{b/r}$, R et h .

Question 6. Déterminer la vitesse de translation de la courroie d'entraînement $V_{courroie/r}$ par rapport au rail de guidage en fonction des caractéristiques $N_{rotor/r}$ et D du moteur.

Question 7. En déduire $N_{rotor/r}$ en fonction de V_C, D, R et h. Faire l'application numérique et déterminer alors la vitesse de rotation du rotor moteur afin que l'exigence soit satisfaite.