



DM2 Etude Moteur thermique

PTSI

Vacances Noël 2014

Table des matières

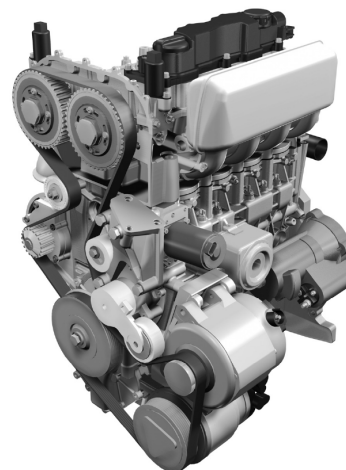
1	Présentation du produit étudié (20 min)	2
2	Cinématique (1h)	4
3	Étude des mécanismes	6

Moteur thermique

1 Présentation du produit étudié (20 min)

1.1 Le produit et son marché

La diminution des ressources pétrolières mondiales, l'augmentation des coûts des carburants dérivés et les évolutions vers des normes antipollution de plus en plus sévères, sont des facteurs qui engagent les constructeurs automobiles vers des développements de nouveaux moteurs. Une des pistes de recherche les plus empruntées, est le développement de moteurs à « taux de compression variable ». Le produit étudié (voir figure 1 page T1/17) est un moteur de ce type développé par la société MCE-5, il est en phase d'industrialisation. La commercialisation des véhicules en grande série est prévue pour 2012.

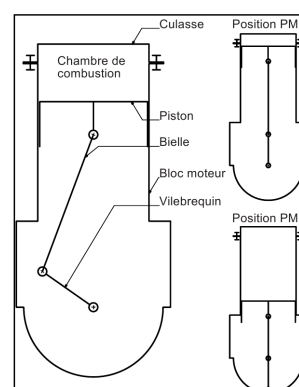


1.2 Principes de base de la cinématique des moteurs à combustion interne

Les moteurs à combustion interne utilisent en grande majorité des systèmes bielle-manivelle dont le principe est décrit sur la figure 2 page T2/17 ci-dessous.

On peut définir :

- Les positions extrêmes du piston par PMH (Point Mort Haut) et PMB (Point Mort Bas) ;
- La cylindrée unitaire Cylunit qui est le volume balayé par le piston pendant son déplacement du PMB vers le PMH ;
- Le rapport volumétrique T , appelé commercialement « Taux de compression », qui est le rapport du volume occupé par les gaz quand le piston est au PMB, sur le volume occupé par les gaz quand le piston est au PMH.



1.3 Principe de la variabilité du taux de compression

Le taux de compression est un des paramètres les plus influents d'un moteur thermique. Sa valeur influe directement sur des grandeurs telles que rendement, consommation, puissance, et polluants émis. La possibilité de faire varier le taux de compression permet d'optimiser ces différentes grandeurs. Or, par construction cinématique, le taux de compression

Carburant	Essence
Nombre de cylindre	4
Disposition	En ligne
Alésage \times course	75 \times à déterminer
Cylindrée	A déterminer
Puissance maxi	160 kW
Couple maxi	300 Nm
Taux de compression	de 7/1 à 18/1
Suralimentation	Sans
Consommation moyenne	6.2l pour 100 km

d'un moteur « classique » est fixe. Plusieurs architectures cinématiques basées sur le système bielle-manivelle ont été brevetées. Elles permettent toutes de faire varier le taux de compression du moteur en pilotant un dispositif de réglage mécanique. La solution MCE-5 est une de ces architectures.

1.4 Principales caractéristiques du moteur MCE-5

Les principales caractéristiques du moteur MCE-5 sont données dans le tableau ci-dessous

1.5 Architecture générale (voir D1/11 figures 3 et 4 et D2/11 figure 5)

L'architecture cinématique du moteur MCE-5 est principalement composée d'un piston en liaison complète avec sa crémaillère, d'un vilebrequin et de sa bielle, d'une roue dentée, d'une crémaillère de commande verrouillable, d'un rouleau synchroniseur, et d'un dispositif de réglage de jeu radial (non représenté). Le mécanisme est représenté sur la figure 3 page D1/11 et page D2/11 en position PMH (point mort haut).

1.6 Principe de fonctionnement (voir figures 3 et 4 page D1/11 et figure 5 page D2/11)

La roue dentée 4 engrène avec la crémaillère de piston 5, et avec la crémaillère de commande 3 qui en fonctionnement stabilisé est fixe par rapport au bloc moteur 10, mais dont la position verticale influe sur le taux de compression.

Dans la phase motrice, la détente des gaz provoque le déplacement du piston 7 du PMH vers le PMB. Le piston 7 est en liaison complète avec la crémaillère de piston 5. La crémaillère de piston 5 prend appui sur le bloc moteur 10 grâce au rouleau synchroniseur 6 et entraîne en rotation la roue dentée 4. Cette roue dentée prend appui sur la crémaillère de commande 3. Le déplacement de son centre entraîne le déplacement de la bielle 2 avec laquelle elle est en liaison pivot, et met ainsi en rotation le vilebrequin 1.

Le mécanisme étant réversible, la rotation du vilebrequin provoque la translation alternative du piston.

En fonctionnement, la variation du taux de compression du moteur est obtenue grâce au déplacement vertical de la crémaillère de commande 3. Ce déplacement est obtenu par déverrouillage et asservissement en position du verrou hydraulique.

Un dispositif de réglage de jeu axial (non représenté) permet de précontraindre radialement la crémaillère de commande, la roue dentée, la crémaillère de piston, et le rouleau synchroniseur.

Le guidage particulier de l'ensemble piston, crémaillère augmente sensiblement le rendement mécanique du moteur par rapport à un système classique actuel.

Données (se reporter à la figure 6 page D3/11) :

Sur la figure 6 sont représentées, à l'échelle 0.7/1, les différentes pièces du mécanisme dans une position quelconque.

- Longueurs : $AB = 21mm$, $BC = 88,75mm$,
- Rayon primitif de la roue 4 : $CD = DE = 50mm$,
- Diamètre des pistons 7 : $D_{p7} = 75mm$ (pour les applications numériques, on prendra $\frac{\pi \cdot 75^2}{4} \approx 45004$).

Hypothèses :

- Les liaisons sont considérées comme parfaites,
- La liaison entre la roue 4 et la crémaillère de commande 3 ainsi que la liaison entre la roue 4 et la crémaillère de piston 5, sont des liaisons de roulement sans glissement obtenues par engrenement.

2 Cinématique (1h)

2.1 Détermination de la cylindrée du moteur

Il s'agit de représenter le système en position « Point Mort Bas » avec le réglage « taux de compression maximum ».

Pour cette position les points seront notés avec une apostrophe (exemple : B').

La crémaillère de commande 3 est considérée fixe.

Sur le document réponse cadre R1 de la notice justificative 1/8, les différentes pièces du mécanisme sont représentées, à l'échelle 0.7/1, dans la position « Point Mort Haut » avec le réglage « taux de compression maximum ».

Question 1 : Inscrire votre réponse sur la première page du document réponse.

Représenter le schéma cinématique du mécanisme.

Question 2 : Inscrire votre réponse dans le cadre R1 du document réponse.

- Tracer la position du point B' ;
- En déduire et tracer le point C' ;
- Exprimer la distance CC' en fonction de la longueur AB ;
- Déterminer et tracer la position du point de contact D' entre la roue 4 et la crémaillère de commande 3 ;
- Tracer le point E', point de contact entre la roue 4 et la crémaillère de piston 5 ;
- Tracer le point D'_r, correspondant à la position du point de contact D' sur la roue 4 ;
- En déduire et tracer le point E'_r, correspondant à la position du point E' sur la roue 4 ;
- En déduire et tracer le point E'_p, correspondant à la position du point E' sur la crémaillère de piston 5 ;
- Exprimer la distance E'E'_p en fonction de la longueur AB ;

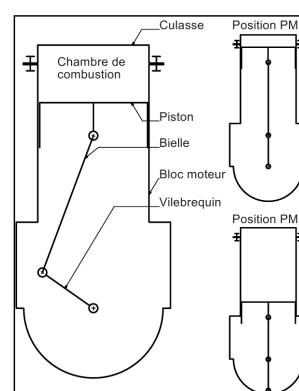
- Tracer le point F' et mettre en place une cote chiffrée représentant la course du piston 7 ;
- Calculer la cylindrée unitaire (en cm^3) Cyl_{unit} , et en déduire la cylindrée Cyl_{mot} du moteur (en cm^3) ;
- Dessiner en bleu, la crémaillère de piston 5, le piston 7 et la roue 4 (sans les graduations), dans la position « point mort bas ».

2.2 Détermination du taux de compression minimum du moteur

Il s'agit de représenter le système en position « point mort haut » avec le levier de commande en position « taux de compression minimum ».

Notation :

- On appellera « taux de compression » T , le rapport du volume occupé par les gaz quand le piston est au « point mort bas », sur le volume occupé par les gaz quand le piston est au « point mort haut »,
- Dans la position « point mort haut », on note x la distance entre le piston 7 et la culasse 8 (voir figure ci-contre),
- Pour cette position les points seront notés avec deux apostrophes (ex : H'').



Hypothèses :

- Le haut du piston 7 est supposé plan,
- Le volume de gaz comprimé entre le piston 7 et la culasse 8 est supposé cylindrique,
- La course du piston 7 reste constante, quelle que soit la position de la crémaillère de commande 3,
- Le vilebrequin 1 est considéré fixe, la crémaillère de commande 3 est mobile.

Données :

- Le « taux de compression maximum » T_{max} est de 18,
- La crémaillère de commande 3 se déplace de 9 mm pour atteindre la position « taux de compression minimum ».

Question 3 : Inscrire votre réponse dans le cadre R2 du document réponse.

Exprimer la valeur de la cote x en fonction de la course du piston C_p et du « taux de compression » T .

Question 4 : Inscrire votre réponse dans le cadre R3 du document réponse.

Calculer la distance x_{min} (donner 3 chiffres significatifs) pour le « taux de compression maximum » T_{max} .

Pour la suite du problème, on prendra $x_{min} = 5\text{mm}$.

Sur le document réponse cadre R4 de la notice justificative 2/8, les différentes pièces du mécanisme sont représentées, à l'échelle 0.7/1, dans la position « Point Mort Haut » avec le réglage « taux de compression maximum ».

Question 5 : Inscrire votre réponse dans le cadre R4 du document réponse.

- Tracer le point H" dans la position « taux de compression minimum »,
- Tracer le point F" dans la position « taux de compression minimum »,
- Mettre en place sur la figure la cote chiffrée entre F" et F,
- Calculer le « taux de compression minimum » T_{min} ,
- Dessiner en rouge, la crémaillère de commande 3, la roue 4 (sans les graduations) et le piston 5, dans la position « taux de compression minimum ».

3 Étude des mécanismes

3.1 Associations de liaisons cinématiques élémentaires (se reporter à la figure 15 page D7/11)

Dans certains mécanismes, il est judicieux de concevoir des liaisons cinématiques entre différents sous-ensembles en combinant certaines liaisons élémentaires. Ces liaisons peuvent être caractérisées selon plusieurs critères et modélisées à plusieurs niveaux, comme pour l'exemple traité figure 15.

Certaines de ces combinaisons de liaisons élémentaires permettent de réaliser des liaisons linéiques ou ponctuelles par l'intermédiaire de contacts surfaciques.

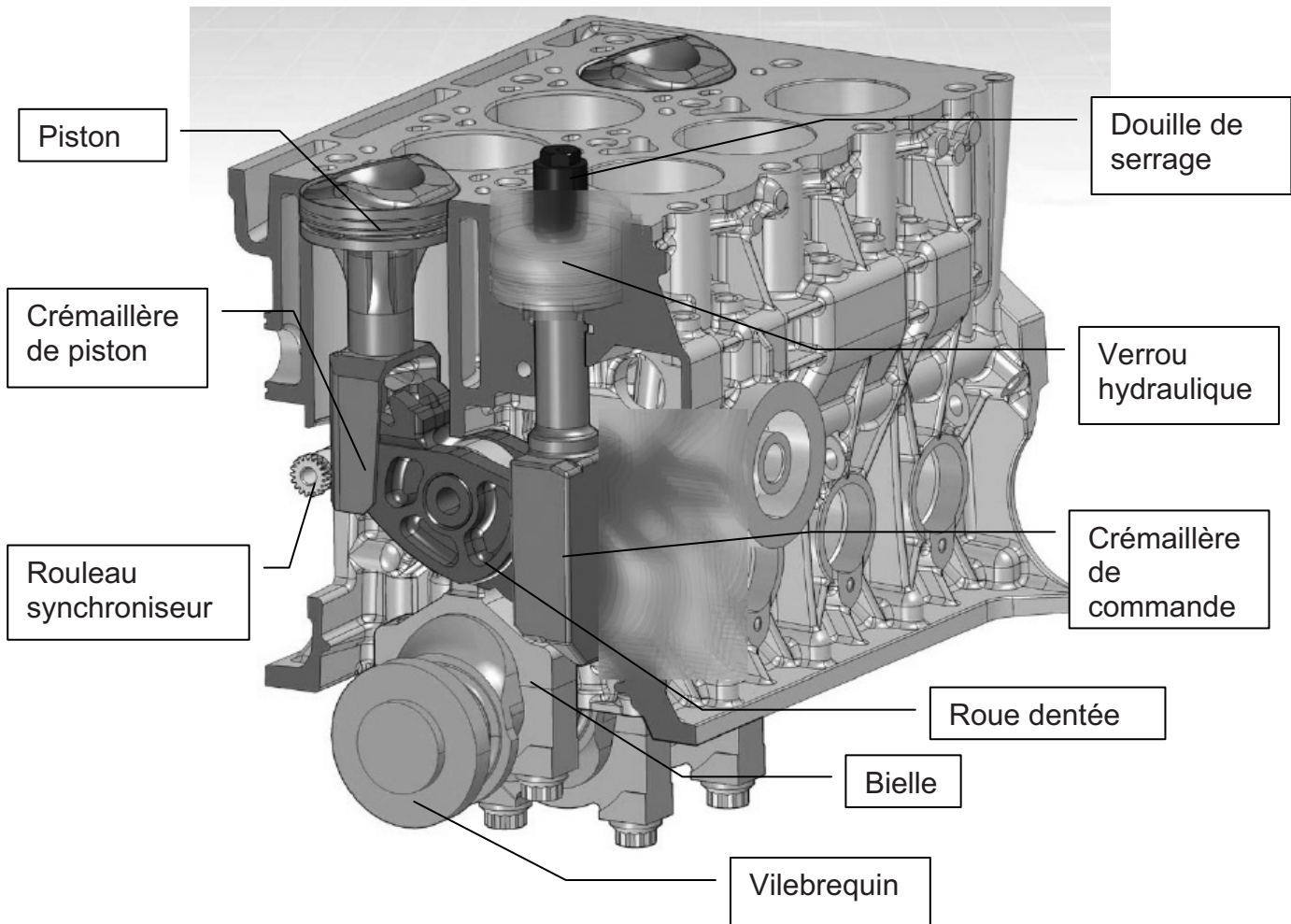
Question 6 : Inscrire votre réponse dans le cadre R19 de la notice justificative.

Compléter le tableau caractérisant trois combinaisons de liaisons cinématiques.

Question 7 : Inscrire votre réponse dans le cadre R20 de la notice justificative.

Quel est le principal intérêt de réaliser des liaisons linéiques ou ponctuelles par l'intermédiaire de contacts surfaciques ?

Fig. 3 – Principaux composants du moteur MCE-5
(Certaines zones de cette figure ont été rendues volontairement floues).



23	4	Ressort de clapet de sécurité
22	1	Joint de culasse
21	1	Carter inférieur
20	4	Bille de clapet de sécurité
19	4	Clapet d'alimentation
18	4	Douille de serrage
17	8	Ressort de clapet de commande
16	8	Clapet de commande
15	4	Tige de commande
14	4	Piston du verrou hydraulique
13	8	Piste de roulement
12	4	Corps de platine d'appui
11	4	Axe de roue dentée
10	1	Bloc moteur
9	4	Chapeau de bielle
8	1	Culasse
7	4	Piston
6	4	Rouleau synchroniseur
5	4	Crémaillère de piston
4	4	Roue dentée
3	4	Crémaillère de commande
2	4	Corps de bielle
1	1	Vilebrequin
Rep	Nb	Désignation

*Fig.4 –
Nomenclature
(extraits)*

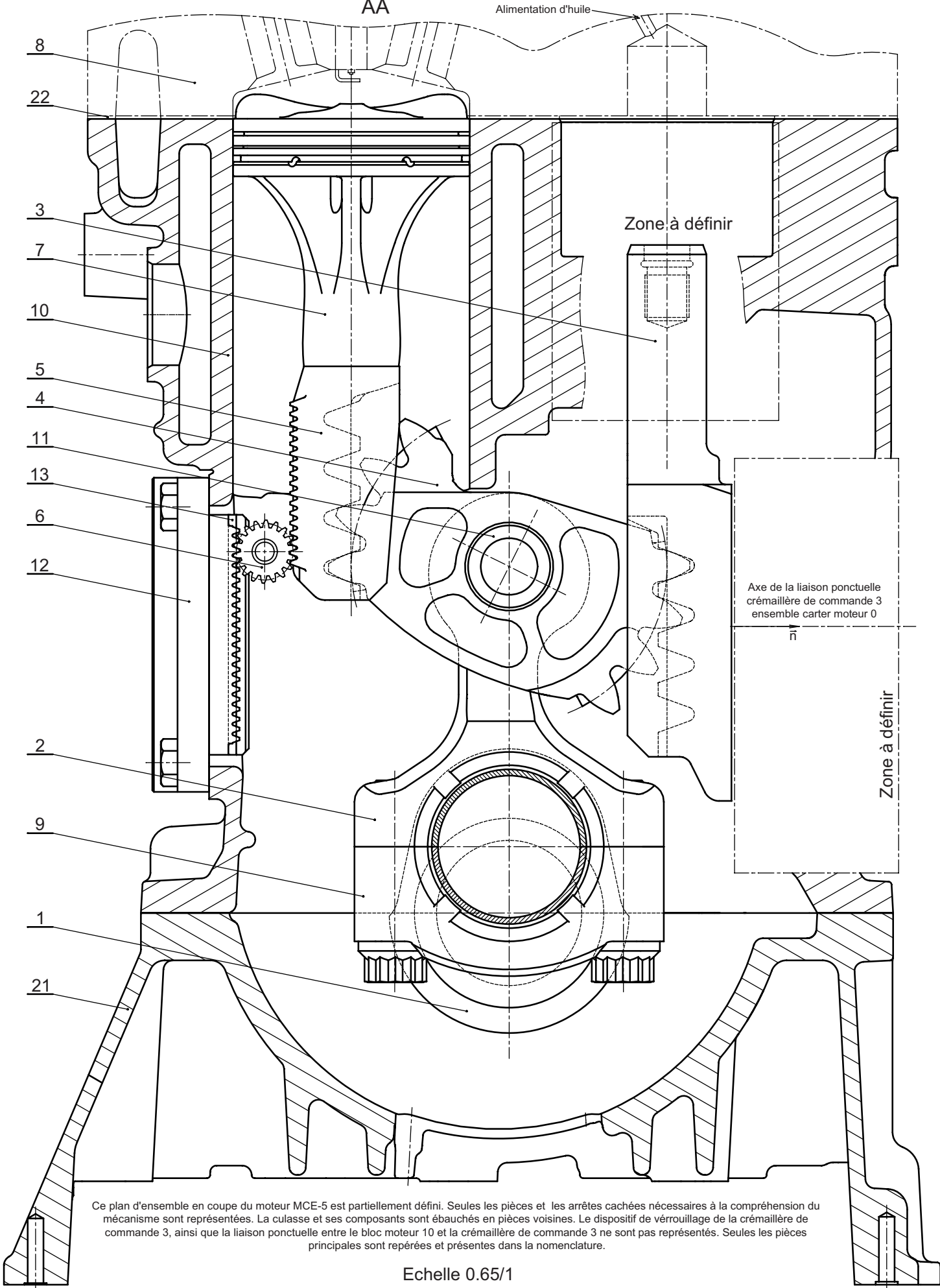


Fig.5 – Dessin
d'ensemble

Fig. 6 – Schéma du système de transformation de mouvement en position quelconque

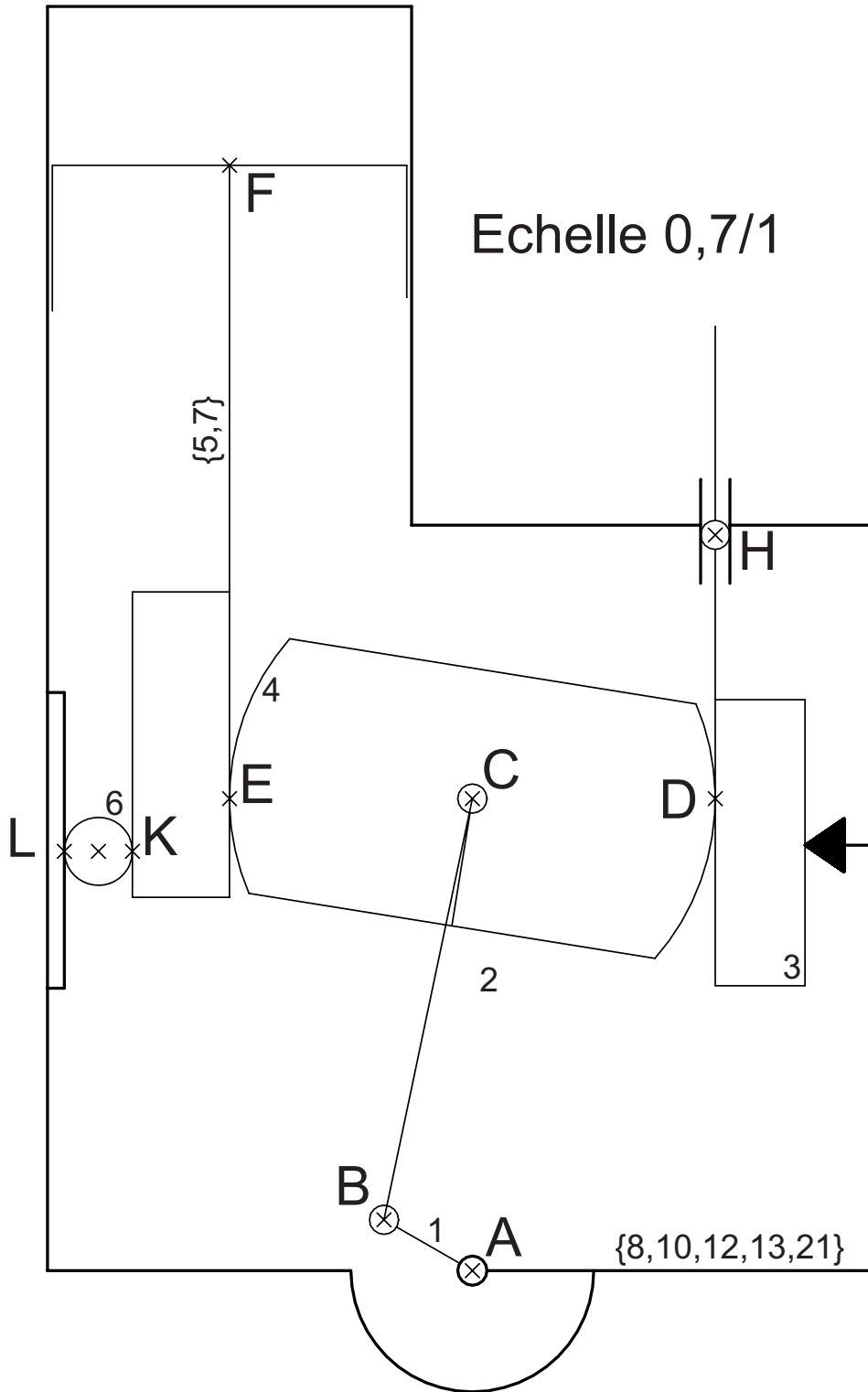


Fig. 7 – Schéma du système de transformation de mouvement bielle manivelle classique

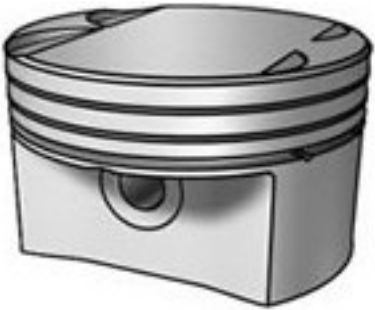
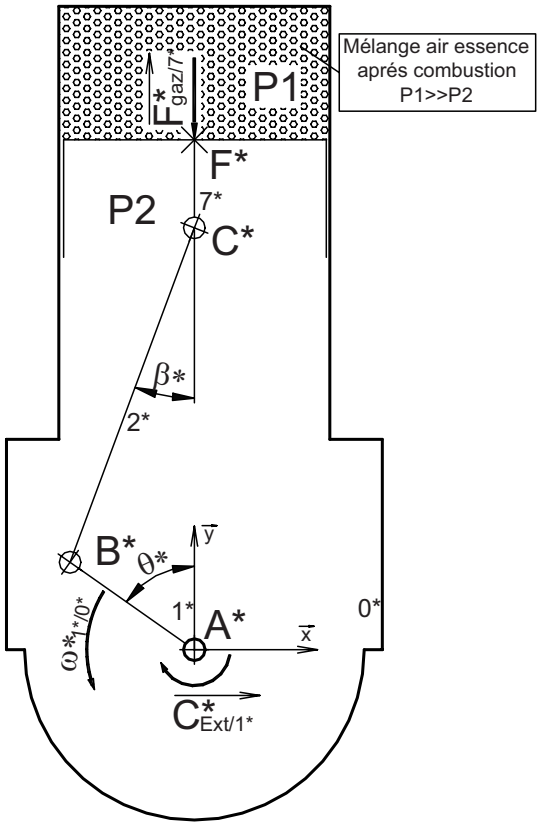


Fig. 9 – Formes d'un piston d'un système bielle manivelle classique

Fig. 8 – Schéma du système de transformation de mouvement du moteur MCE-5

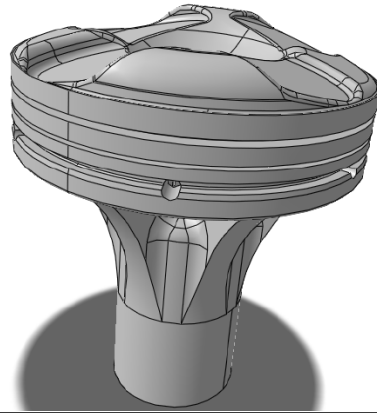
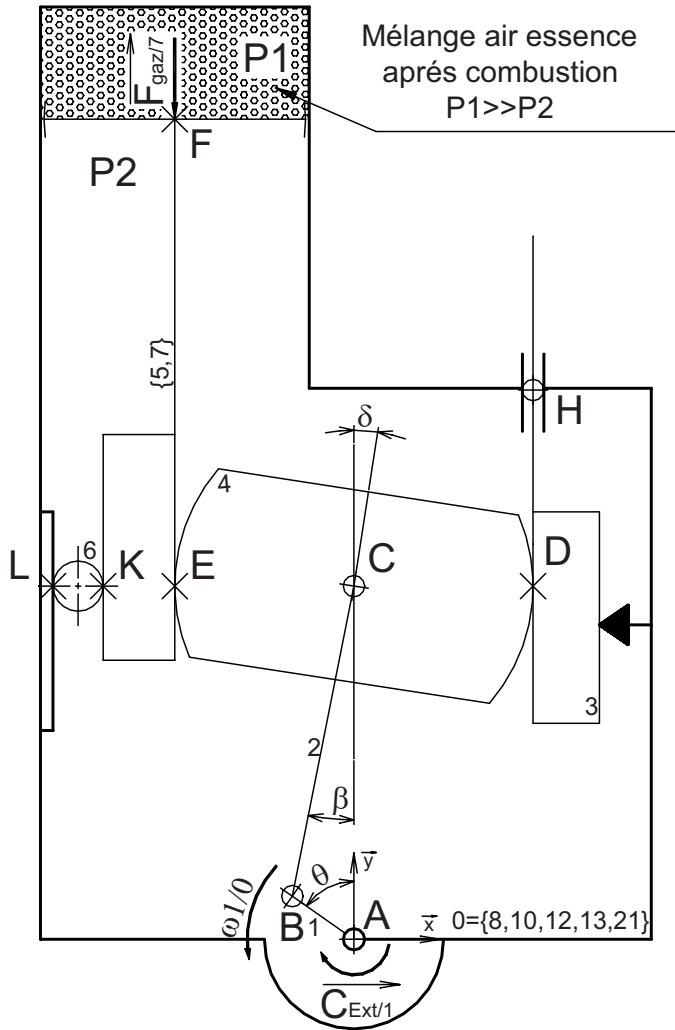


Fig. 10 – Formes d'un piston d'un Moteur MCE-5

Fig. 11 – Plans détaillés du rouleau synchroniseur 6

rouleau synchroniseur 6 seul

Vue en coupe de l'assemblage
rouleau synchroniseur 6, crémaillère de piston 5,
corps de platine d'appui 12 et pistes de roulement 13

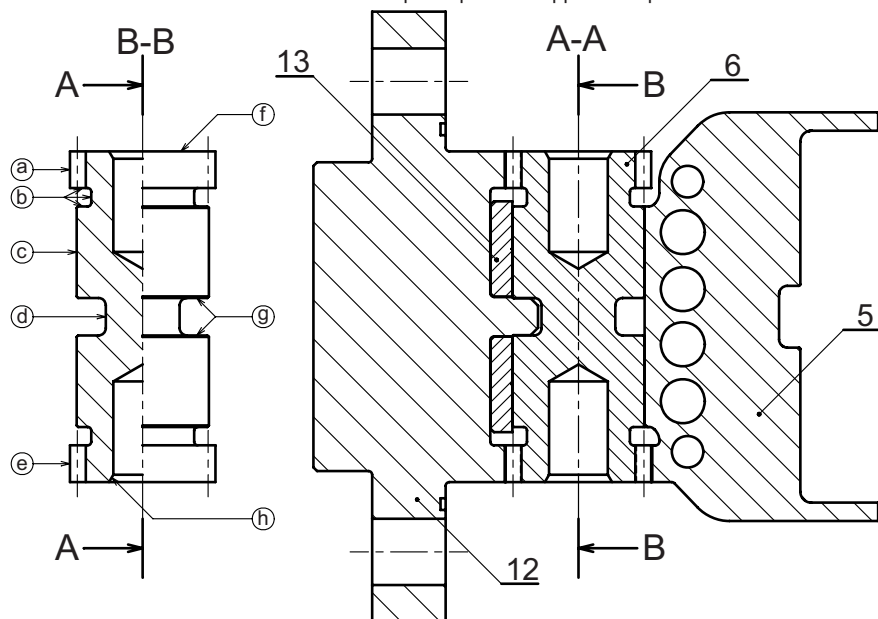


Fig. 12 – Photo du rouleau synchroniseur 6



Fig. 13 – Photo de quelques pièces du moteur MCE-5



*Fig. 14 – Représentation 3D de
quelques pièces du moteur MCE-5*

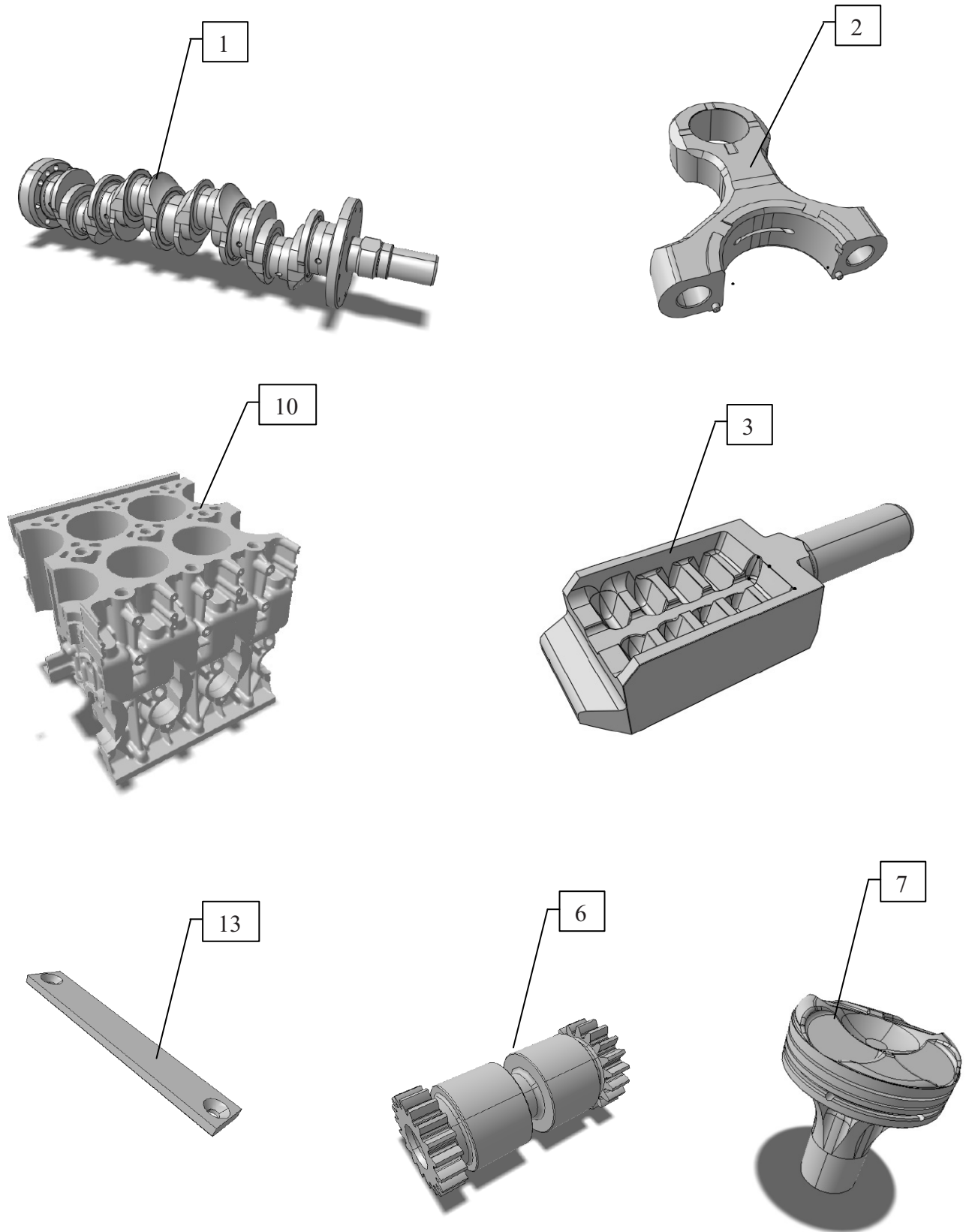
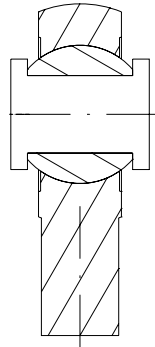
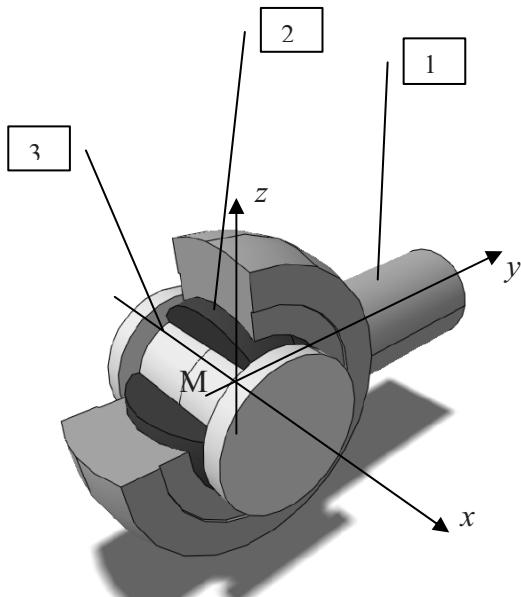
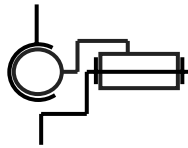


Fig. 15 – Exemple de caractérisation de liaison cinématique



- Schéma cinématique détaillé :



- Torseur cinématique :

$$\{v_{3/1}\} = \left\{ \begin{array}{c|c} \omega_x & 0 \\ \omega_y & 0 \\ \omega_z & 0 \end{array} \right\}_M$$

- On notera $\omega_x, \omega_y, \omega_z$, les vitesses de rotation respectivement autour des axes $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$, et V_x, V_y, V_z , les vitesses de translation respectivement sur les axes $\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$;

- Liaison équivalente : liaison rotule (sphérique) ;

- Schéma cinématique de la liaison équivalente :



Fig. 16 – Schéma de principe du verrou hydraulique

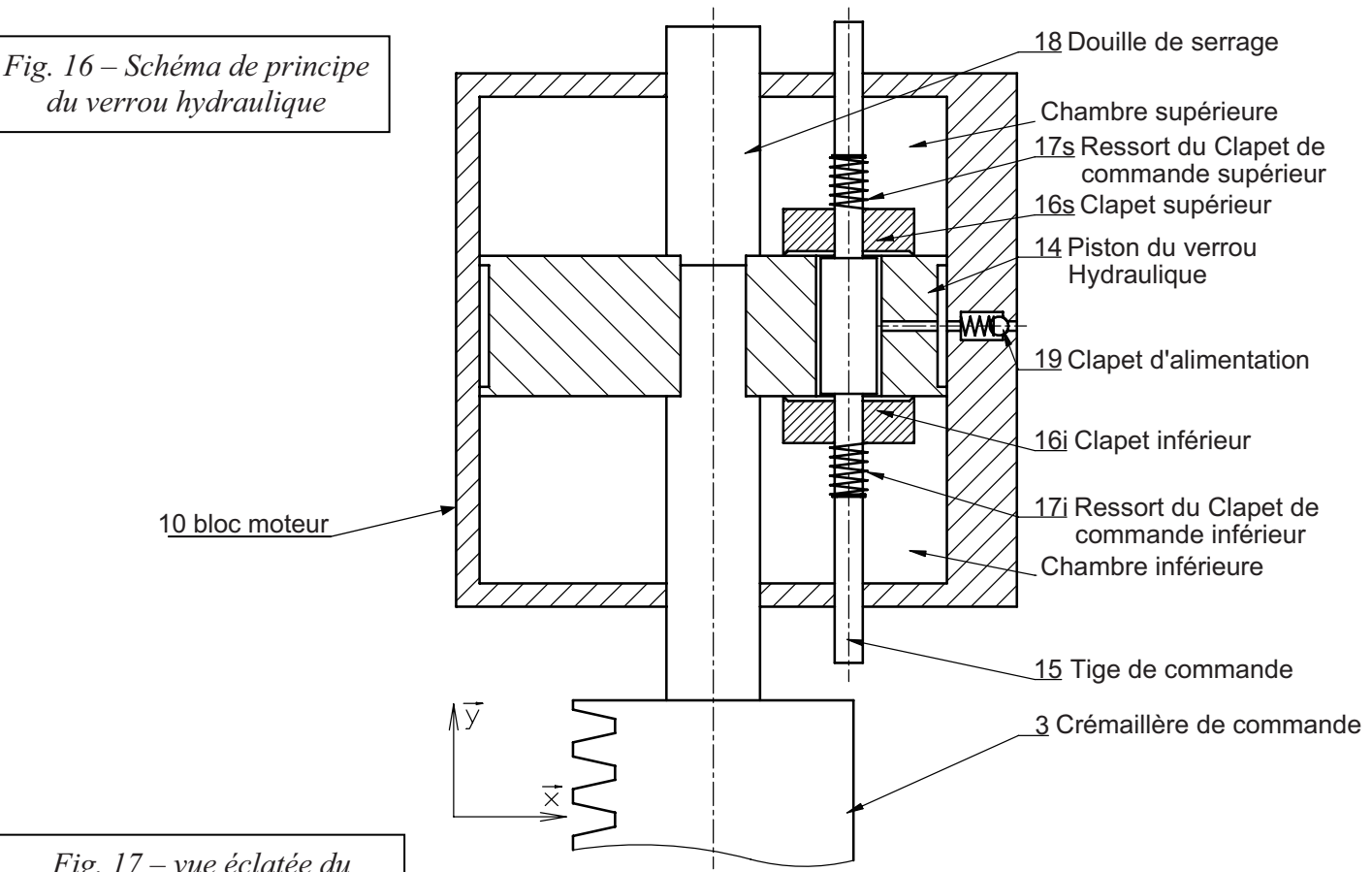


Fig. 17 – vue éclatée du verrou hydraulique

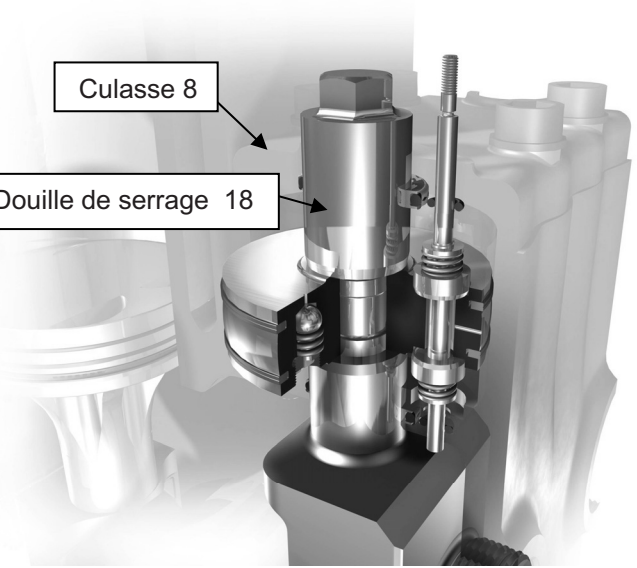


Fig. 18 – Evolution de $F_{y4/3}$ en fonction de l'angle de rotation du vilebrequin

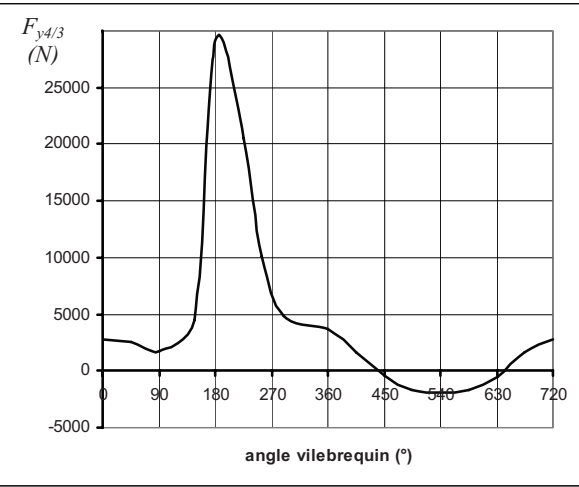
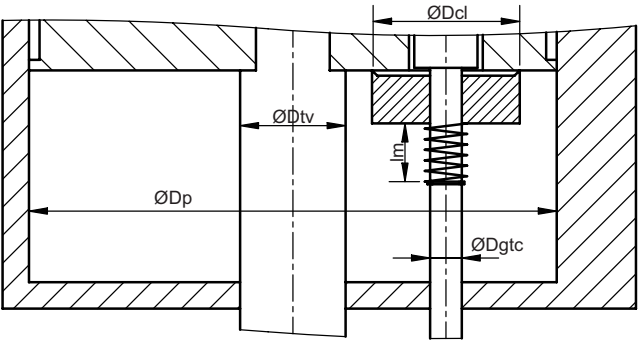


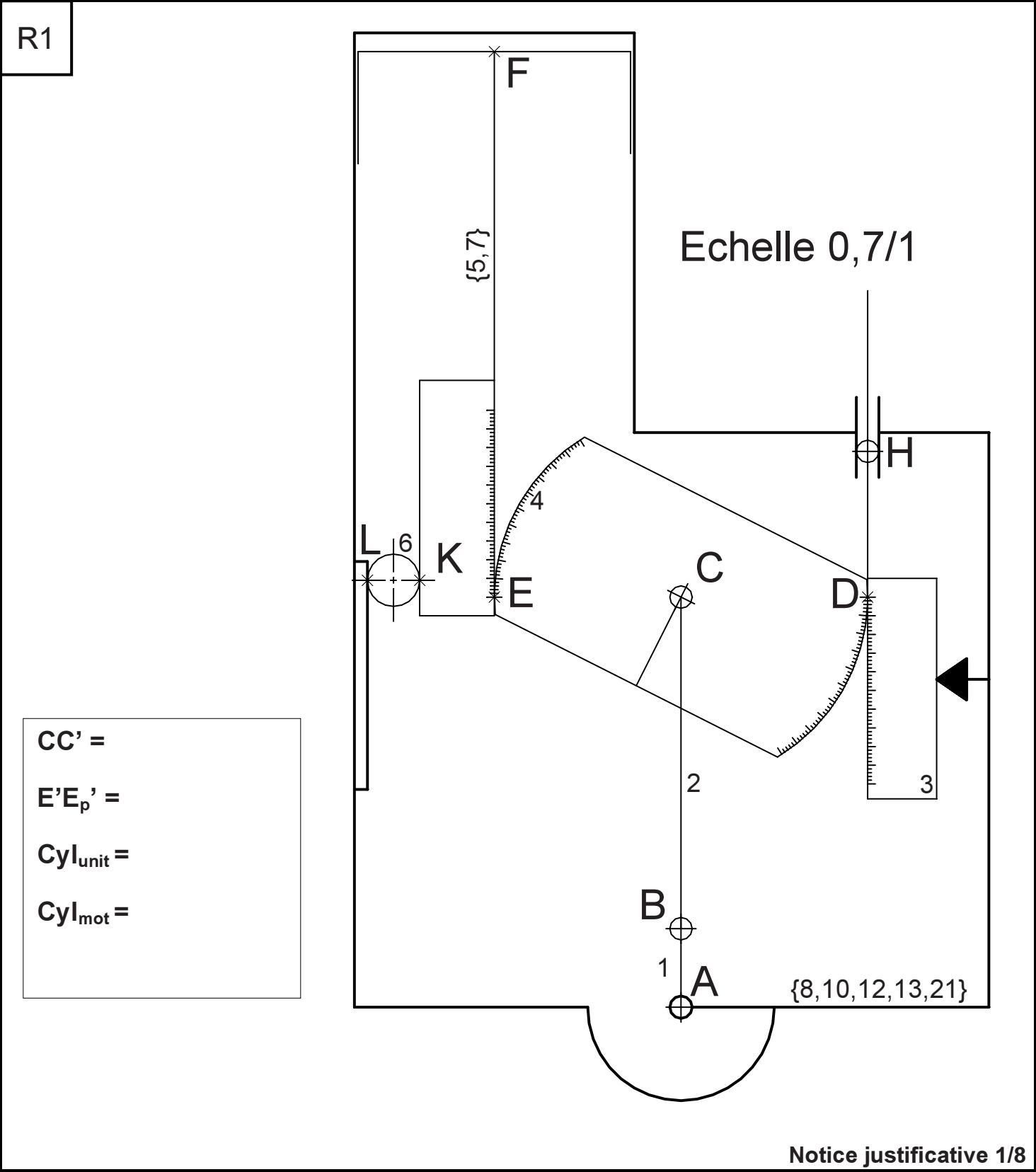
Fig. 19 – Schéma du verrou hydraulique - Détails



Document réponse

NOM : Prénom :

Schéma cinématique



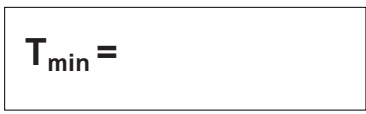
R2

R3

X=

$$X_{\min} =$$

R4



Echelle 0,7/1

Notice justificative 2/8

R19

Vue 3D et vue
en coupe

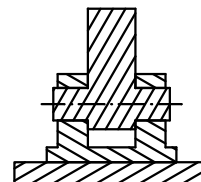
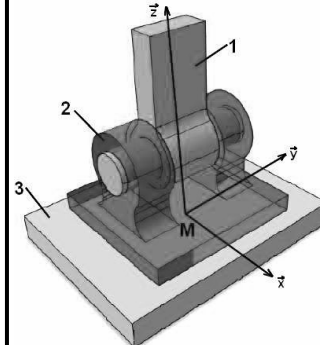
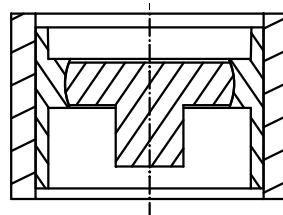
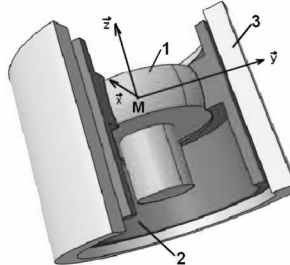
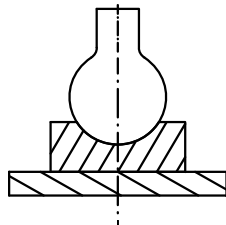
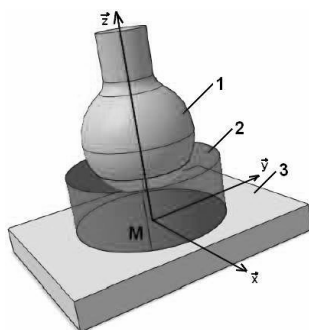


Schéma
cinématique
détaillé

Torseur
cinématique
(mobilités de 1/3)

$$\{v_{(3/1)}\}_M$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{array} \middle| \begin{array}{c} \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{array} \right\}_M$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{array} \middle| \begin{array}{c} \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{array} \right\}_M$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{array} \middle| \begin{array}{c} \dots\dots \\ \dots\dots \\ \dots\dots \end{array} \right\}_M$$

Liaison
équivalente (1/3)

Schéma
cinématique de
la liaison
équivalente (1/3)

R20

Intérêt :