

# *Moteur thermique 50 cm<sup>3</sup>, 2 temps à injection.*

*Aucun document autorisé, calculatrice autorisée.*

## *Mise en situation.*

Nous proposons l'étude des performances d'un moteur thermique de scooter et de sa chaîne de transmission jusqu'à la roue arrière.



*Figure 1 : Scooter.*



*Figure 2 : Moteur.*

La motorisation de 50 cm<sup>3</sup> étudiée est à 2 temps et à injection : TSDI (Two Stroke Direct Injection). Les avantages sont multiples par rapport à un moteur 2 temps à carburateur:

- réduction des émissions de polluants jusqu'à 80%,
- réduction de la consommation de carburant jusqu'à 35%,
- réduction de la consommation d'huile jusqu'à 40%,
- amélioration de l'agrément de conduite,
- réduction du calaminage de l'échappement,
- amélioration des performances au démarrage.

### *Documents techniques :*

**DT1, DT2 et DT3** : Dessins d'ensemble (le réducteur de vitesse à double étage est masqué).

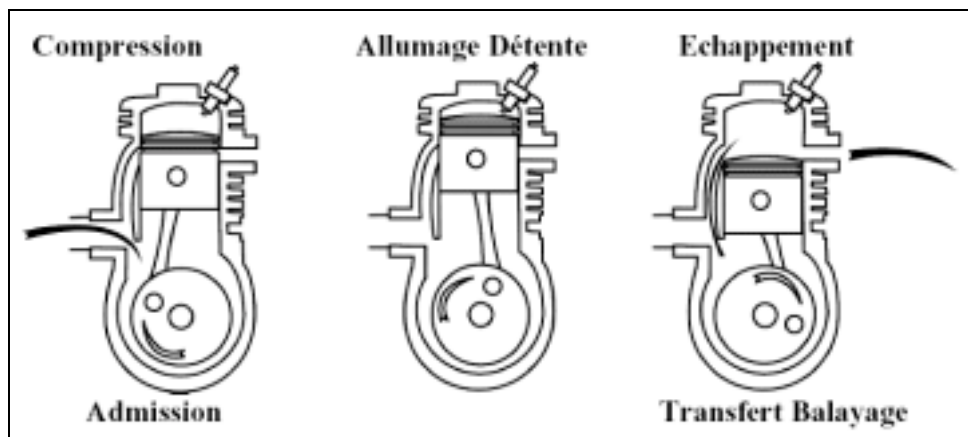
### *Documents réponses :*

**DR1** : Schéma cinématique minimal incomplet de l'ensemble moteur, variateur, réducteur.

**DR2** : Schéma architectural incomplet du guidage en rotation du vilebrequin.

**DR3** : Dessin du réducteur à compléter.

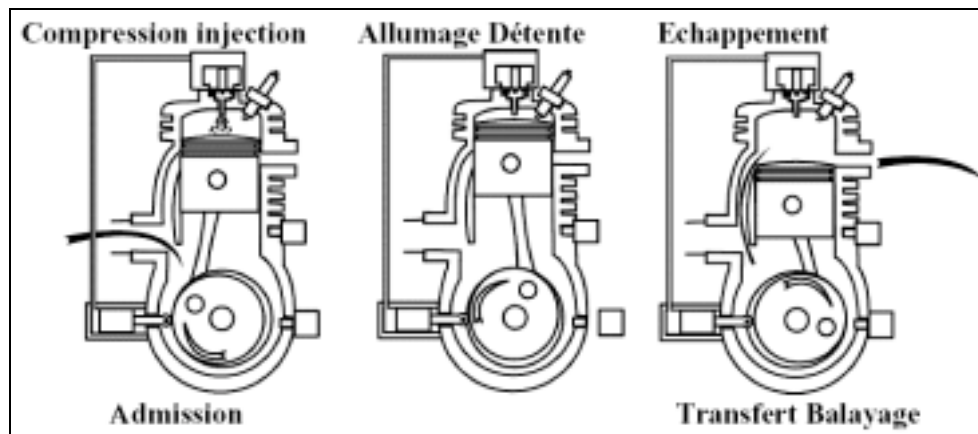
***Principe de fonctionnement du moteur 2 temps à carburateur.***



*Figure 3 : Principe moteur 2 temps à carburation.*

Lors de l'admission il entre dans le moteur un mélange d'air + carburant. Ce mélange est comprimé sous le piston puis envoyé vers la chambre de combustion par les transferts. Lorsque ce mélange arrive dans la chambre de combustion il est utilisé pour évacuer les gaz brûlés. C'est le balayage. Pour que le balayage soit efficace et complet il faut le prolonger jusqu'à ce que le mélange (air + carburant) neuf commence à sortir par l'échappement. Ce mélange qui sort par l'échappement est gaspillé.

***Principe de fonctionnement du moteur 2 temps à injection.***



*Figure 4 : Principe moteur 2 temps à injection.*

Lors de l'admission il n'entre dans le moteur que de l'air. Cet air est comprimé sous le piston puis envoyé vers la chambre de combustion par les transferts. Le balayage est effectué avec cet air qui ne comportant pas de carburant n'engendre pas de gaspillage. Le carburant ne sera injecté que lors de la compression quand le piston va remonter.

## Travail demandé.

Les 6 parties du sujet sont indépendantes. Sauf indication contraire, vous répondrez sur feuille de copie.

### Partie 1 : Analyse du fonctionnement.

Analyse fonctionnelle.

1. Exprimer les fonctions de service du système mécanique (moteur, variateur, réducteur) en phase de fonctionnement.

Schématisation.

2. Compléter le schéma cinématique du système mécanique (moteur, variateur, réducteur) sur le document réponse **DR1**.
3. Décrivez le fonctionnement du système de variation de vitesse. Vous pourrez illustrer d'un schéma cinématique en représentant le variateur dans les deux positions extrêmes.
4. Calculer les rapports de réduction minimal et maximal ( $k_{\text{mini}}$  et  $k_{\text{maxi}}$ ) entre la vitesse de rotation de la roue et la vitesse de rotation du vilebrequin. (les diamètres d'enroulement de la courroie pourront être mesurés sur les documents DT1 et DT3.)

$$k = \frac{\omega_{\text{roue}}}{\omega_{\text{vilebrequin}}}$$

### Partie 2 : Etude du dispositif bielle-vilebrequin.

On considère le dispositif bielle-manivelle (ou vilebrequin) représenté sur la figure 5 ci-dessous, avec les caractéristiques dimensionnelles suivantes :

- $OA = R = 0.02$  m
- $AB = L = 0.08$  m
- Diamètre du piston,  $d = 0.04$  m
- $B_0$  : position du point B au point mort bas.

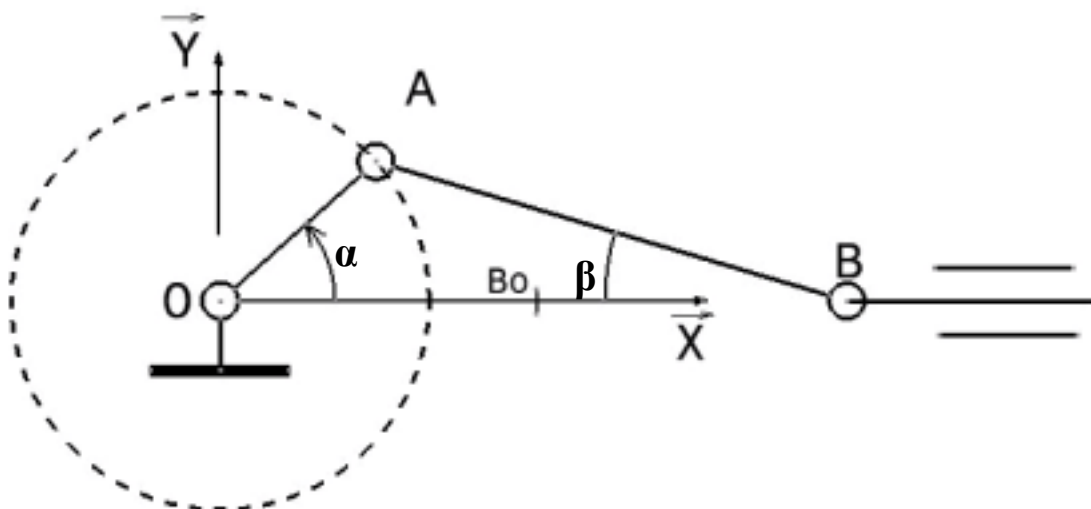


Figure 5 : modèle du dispositif bielle-manivelle.

5. Définir la loi d'entrée sortie du dispositif bielle-manivelle :
  - a. En position, c'est-à-dire exprimer la distance **OB** en fonction de l'angle  $\alpha = (\vec{X}, \vec{OA})$  et des caractéristiques dimensionnelles. En déduire la cylindrée du moteur.
  - b. En vitesse, c'est-à-dire exprimer la vitesse du point **B**, notée  $\vec{V}_B$ , par rapport au repère fixe  $(O, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})$ , en fonction de  $\alpha, \dot{\alpha}$  et des caractéristiques dimensionnelles.
  
6. Etablir la relation entre la résultante des forces de pression ( $F_p \cdot \vec{X}$ ) sur le piston lors de l'explosion et le couple moteur induit sur le vilebrequin ( $C_v \cdot \vec{Z}$ ). (On considérera les liaisons parfaites.)
  
7. On donne sur la figure 6 l'évolution de la pression dans la chambre de combustion du cylindre en fonction de la position angulaire du vilebrequin à  $\dot{\alpha} = 6000$  tour/min. La position  $\alpha = 0$  correspond au point mort haut, c'est-à-dire lorsque **OB** est maximale.
  - a. Lorsque la pression est maximale dans le cylindre, calculer le couple induit sur le vilebrequin.
  - b. Tracer l'allure de l'évolution de ce couple ( $C_v \cdot \vec{Z}$ ) en fonction de l'angle  $\alpha$ .

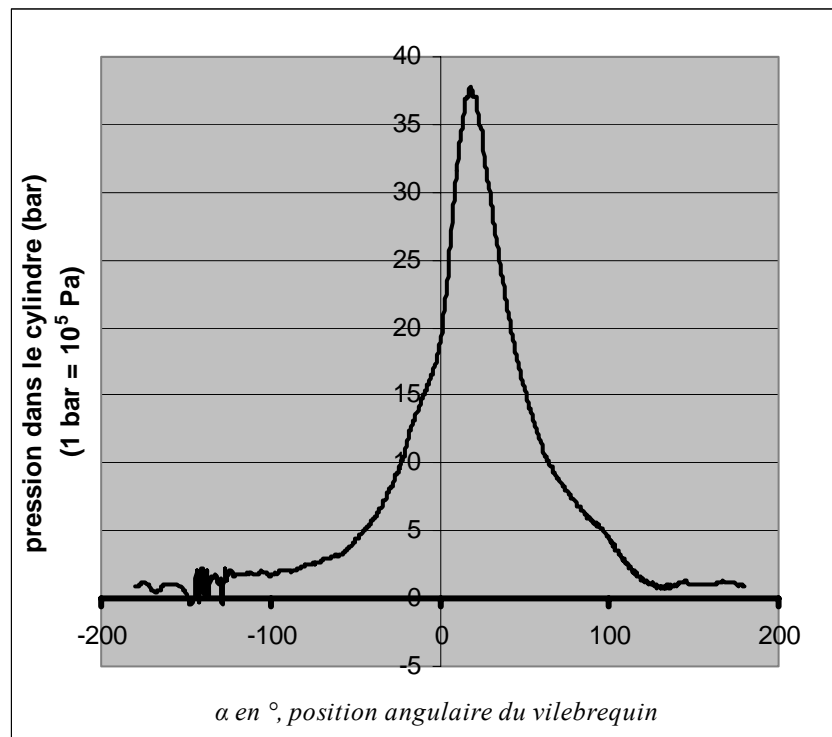


Figure 6 : Pression dans le cylindre pour une vitesse de rotation du vilebrequin de 6000 tour/min.

### Partie 3 : Estimation du couple moteur nécessaire au fonctionnement.

On prendra pour la partie 3 un rapport de réduction moyen,  $k = \frac{\omega_{roue}}{\omega_{vilebrequin}} = 0.05$

On propose de travailler avec le modèle suivant :

- Le scooter et le conducteur sont considérés comme un ensemble indéformable.
- Le scooter est en mouvement de translation rectiligne en montée sur une pente.
- La résistance au roulement entre les roues et le sol est négligée.
- On considérera qu'il y a roulement sans glissement au point B.

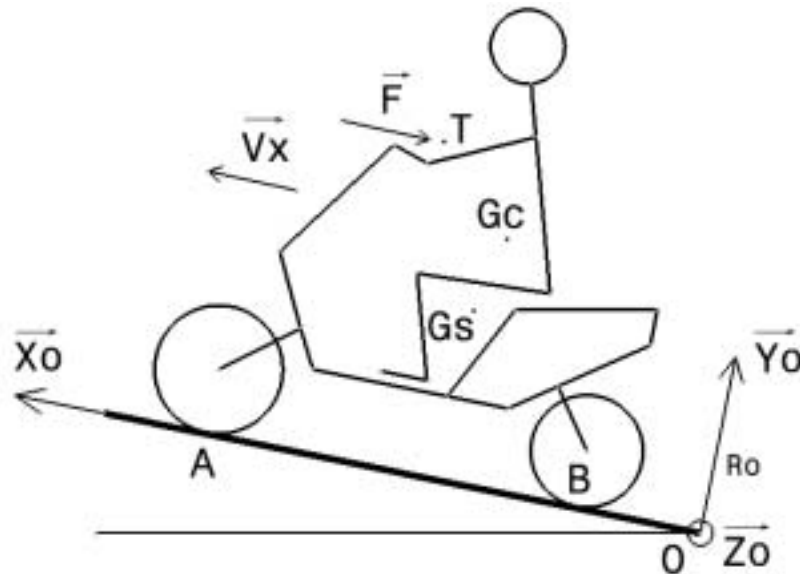


Figure 7 : Schématisation modèle.

#### Données :

- Scooter : masse  $M_s = 120$  kg, centre de gravité  $G_s$ ,
  - Conducteur : masse  $m_c = 80$  kg, centre de gravité  $G_c$ ,
  - Accélération de la pesanteur :  $g = 9.8$  m/s<sup>2</sup>
  - Vitesse du scooter :  $\dot{x} = \dot{x}_0$
  - Action de l'air sur l'ensemble (Scooter + conducteur), appliquée en T et opposée au sens de déplacement du scooter :  $\vec{F} = -0.3 \times \dot{x} \cdot \vec{X}_0$  (en unités SI),
  - Pente de la route : 17%,
  - Diamètre des roues :  $D = 0.4$  m,
  - Le moment d'inertie de l'ensemble des éléments tournants (moteur, variateur, réducteur, roues...) ramenée au vilebrequin par rapport à son axe de rotation est estimée à :  $J_{\text{éléments\_tournants}} = 1 \times 10^{-2}$  kg  $\times$  m<sup>2</sup>.
8. Etablir l'expression de l'énergie cinétique du système (scooter + conducteur) se déplaçant à la vitesse  $\dot{x} = 20$  km/h dans le repère Galiléen  $R_0 (O, \dot{X}_0, \dot{Y}_0, \dot{Z}_0)$ .
  9. En déduire l'expression du moment d'inertie équivalente  $J_{eq}$  du système (scooter + conducteur) ramené sur le vilebrequin par rapport à son axe de rotation.

10. En déduire, dans la configuration décrite sur la figure 7 ci-dessus, le couple moteur nécessaire au niveau du vilebrequin :

- à vitesse constante,  $\dot{\alpha} = 20 \text{ km/h}$ ,
- à  $\dot{\alpha} = 20 \text{ km/h}$ , en phase d'accélération uniforme avec :

$$\vec{\Gamma}_{(scooter/R_0)} \cdot \vec{X}_0 = 1.5 \text{ m/s}^2.$$

(On considérera le rapport de réduction moyen,  $k=0.05$ )

#### **Partie 4 : Efforts sur les paliers induits par le balourd du vilebrequin.**

On souhaite estimer l'incidence du balourd du vilebrequin sur le chargement des paliers. On ne tiendra pas compte des forces de pression et des effets dynamiques liés à la bielle et au piston... Ce calcul pourrait s'intégrer dans une démarche plus globale de dimensionnement des paliers de guidage du vilebrequin.

Pour le vilebrequin, on donne la matrice d'inertie  $\overline{J}_O(\text{vilebrequin})$  exprimée dans le repère tournant lié au vilebrequin,  $(O, \overset{P}{u}, \overset{P}{v}, \overset{P}{w})$ , défini sur la figure 8 ci-dessous.

$$\overline{J}_O(\text{vilebrequin}) = \begin{bmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{bmatrix}_{(O, \overset{P}{u}, \overset{P}{v}, \overset{P}{w})}$$

Avec :

$$A = 2 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$$

$$D = 5.1 \times 10^{-6} \text{ kg m}^2$$

$$B = 2 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$$

$$E = -8 \times 10^{-5} \text{ kg m}^2$$

$$C = 1 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$$

$$F = -9 \times 10^{-5} \text{ kg m}^2$$

#### **Données complémentaires:**

- $\mathbf{QO} = \mathbf{a} = 0.027 \text{ m}$  (voir document réponse DR2)
- $\mathbf{OR} = \mathbf{b} = 0.036 \text{ m}$  (voir document réponse DR2)
- Masse du vilebrequin,  $\mathbf{m} = 1.4 \text{ kg}$
- Coordonnées du centre de gravité  $\mathbf{G}$  dans le repère  $(O, \overset{P}{u}, \overset{P}{v}, \overset{P}{w})$ .

$$\overrightarrow{OG} \begin{cases} u_G = -9.5 \times 10^{-3} \text{ m} \\ v_G = 0 \text{ m} \\ w_G = 5.7 \times 10^{-3} \text{ m} \end{cases}$$

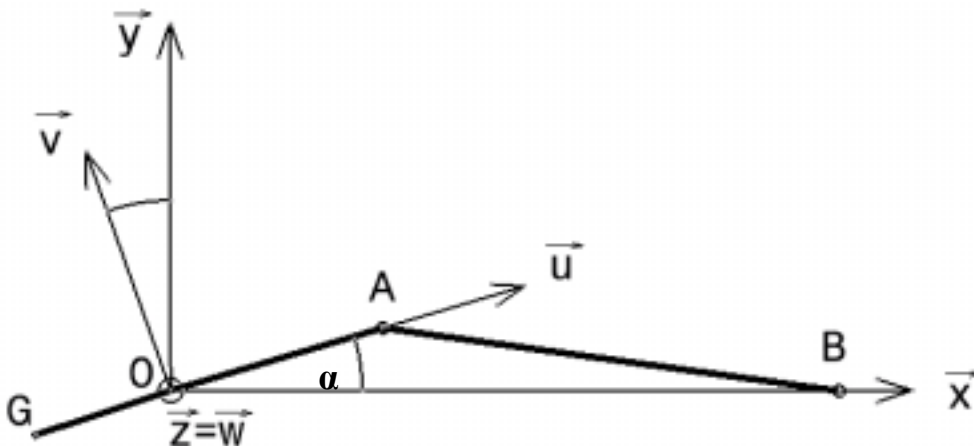


Figure 8 : Définition du repère tournant avec le vilebrequin  $(O, \overset{P}{u}, \overset{P}{v}, \overset{P}{w})$ .

11. Que pensez vous de l'équilibrage dynamique du vilebrequin. Justifier en 2 lignes.

12. Les centres des deux paliers sont représentés par les points **Q** et **R**. Réaliser le schéma architectural du guidage en rotation du vilebrequin sur le document réponse **DR2**. Le modèle proposé est-il isostatique ? Commenter en 2 lignes.

13. Etablir le bilan des actions extérieures appliquées à l'ensemble (vilebrequin + poulie + ventilateur) en phase de déplacement du scooter à vitesse constante.

*On ne s'intéressera, dans la question qui suit, qu'aux effets du balourd sur le chargement des paliers.*

14. Dans les torseurs intereffort (du bâti sur le vilebrequin) des liaisons en **Q** et **R**, calculer les composantes uniquement liées à la rotation du vilebrequin à vitesse constante :  $\omega = 6000$  tour/min.

### Partie 5 : Couple transmissible par l'embrayage.

L'embrayage est localisé entre la poulie réceptrice du variateur à courroie et le réducteur à double étage. On veut calculer le couple transmissible par cet embrayage.

On propose un modèle simplifié schématisé sur la figure 9, composé de :

- Une cloche en liaison complète avec l'arbre d'entrée du réducteur à double étage,
- Deux masselottes ( $m_1$  et  $m_2$ ) en liaison glissière sur un flasque de la poulie réceptrice,
- Une garniture sur la périphérie des masselottes, en contact sur la surface intérieure de la cloche.

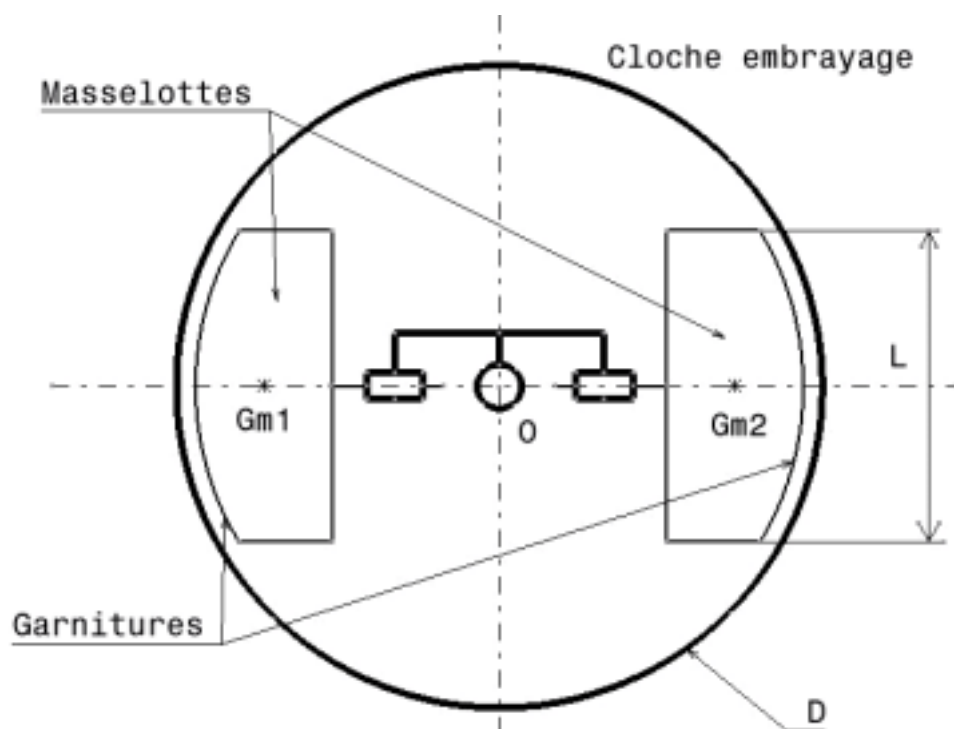


Figure 9 : Modèle pour l'embrayage.

***Hypothèses :***

- Répartition de pression uniforme sur les zones de contact des garnitures,
- Coefficient de frottement constant,  $f = 0.25$
- Le poids des masselottes est négligé.

***Données :***

- Masselottes : masses  $m_1 = m_2 = 0.15$  kg, centres de gravité respectifs  $G_{m1}$  et  $G_{m2}$
- Distance  $OG_{m1} = OG_{m2} = r = 0.04$  m
- Longueur du contact,  $L = 0.05$  m
- Diamètre intérieur de la cloche,  $D = 0.110$  m
- Largeur du contact,  $e = 0.015$  m

15. Etablir la relation entre la pression de contact au niveau des garnitures et la vitesse de rotation de la poulie réceptrice.
16. En déduire l'expression du couple transmissible par l'embrayage en fonction de la vitesse de rotation de la poulie réceptrice. Calculer le couple transmissible lorsque la poulie réceptrice tourne à 5000 tour/min. Commenter.

**Partie 6 : Conception.**

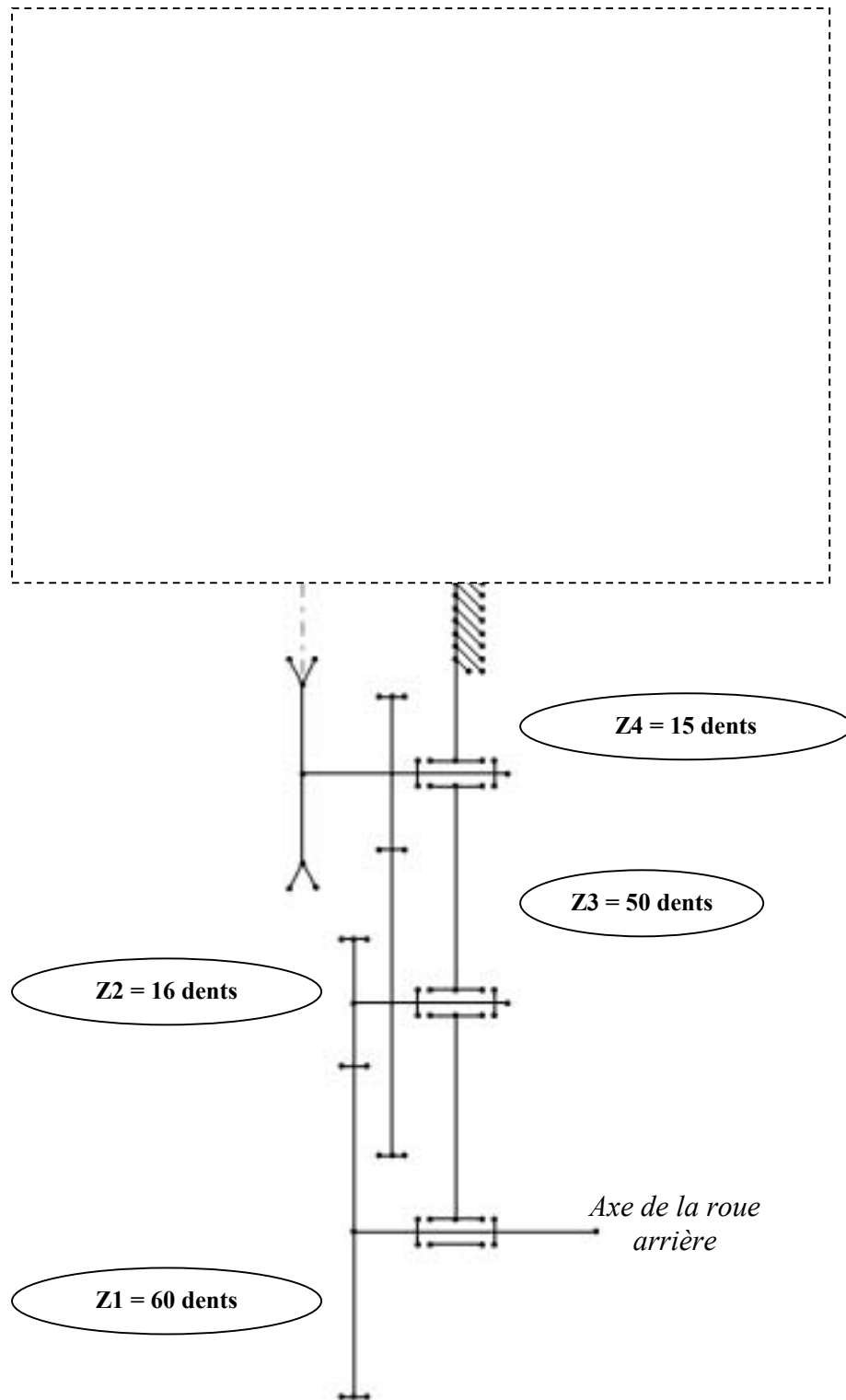
Entre le variateur à courroie et la roue, le système mécanique étudié est équipé d'une réduction à double étage non définie sur les dessins d'ensemble. Le schéma cinématique minimal est fourni sur le document réponse **DR1**.

Sachant que l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie du réducteur à double étage sont guidés par des roulements à billes à contact radial :

17. Sur le document réponse **DR3**, proposer un schéma architectural pour réaliser les guidages en rotation de l'arbre d'entrée et de l'arbre de sortie.
18. Sur le document réponse **DR3**, calculer le degré d'hyperstatisme des architectures que vous avez proposé pour les guidages de l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie du réducteur, commenter.
19. Sur le document réponse **DR3**, définir (en dessinant à main levée) les guidages des arbres d'entrée et de sortie en respectant les formes générales des arbres, des carters, et en intégrant les contraintes liées à l'étanchéité et la protection des composants.
20. Sur le document réponse **DR3**, préciser les ajustements et conditions fonctionnelles.

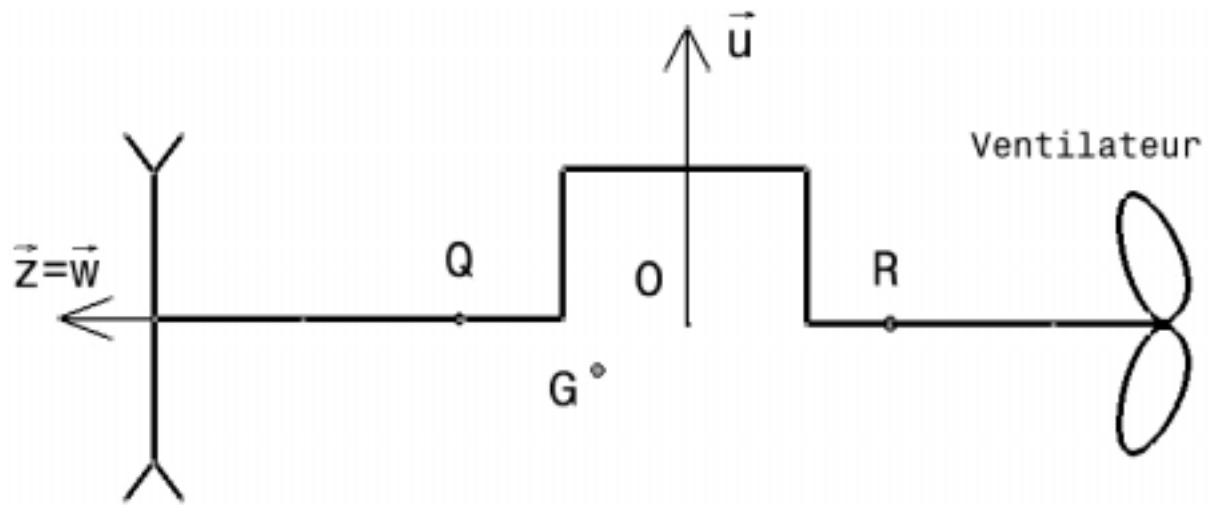


*Document réponse DR1.*  
*Partie 1, question 2.*



*Schéma cinématique minimal*  
*Mécanisme ramené dans un plan*

*Document Réponse DR2.*  
*Partie 4, question 12*



*Le schéma n'est pas à l'échelle.*

**Degré d'hyperstatisme :**

---

---

---

---

**Commentaires :**

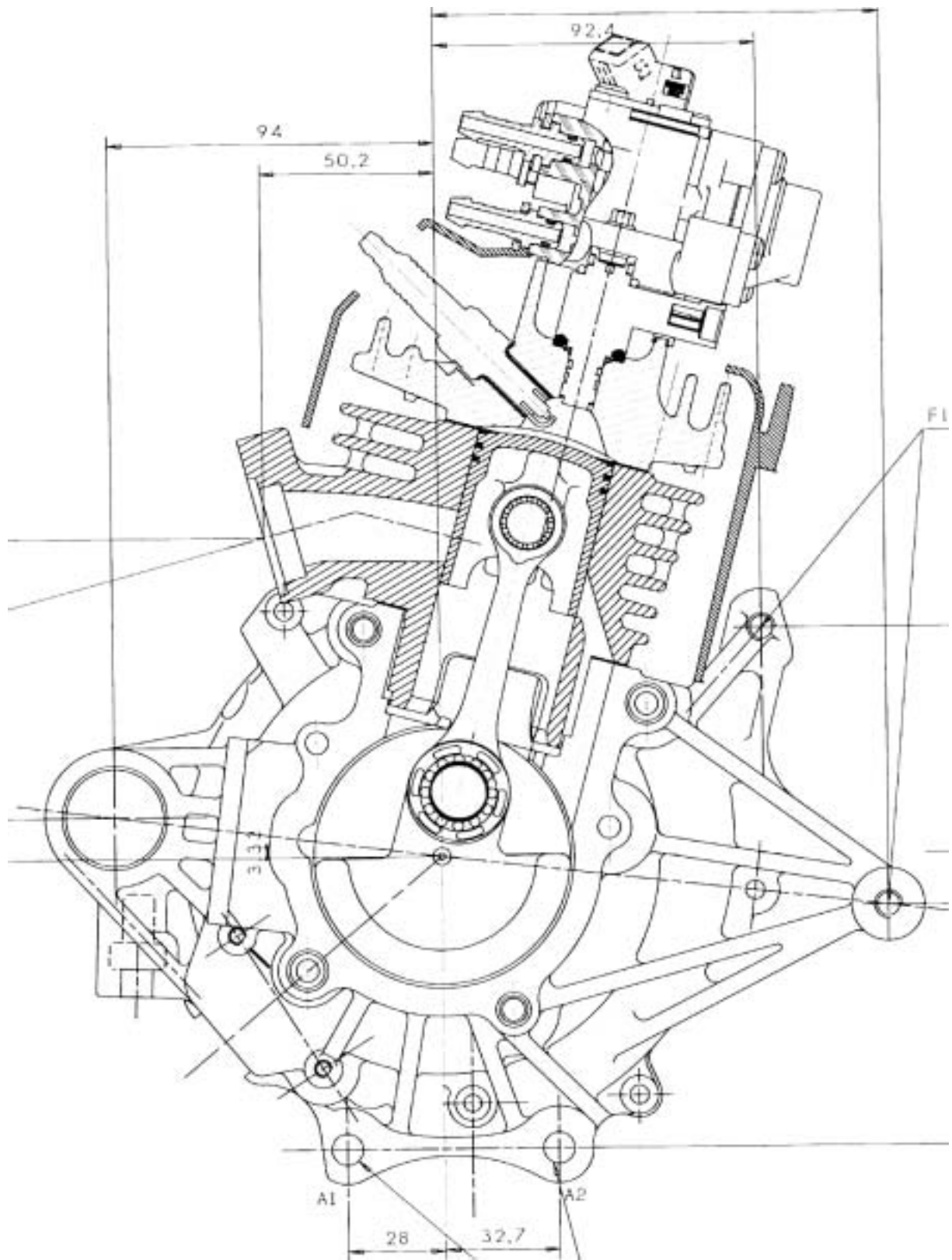
---

---

---

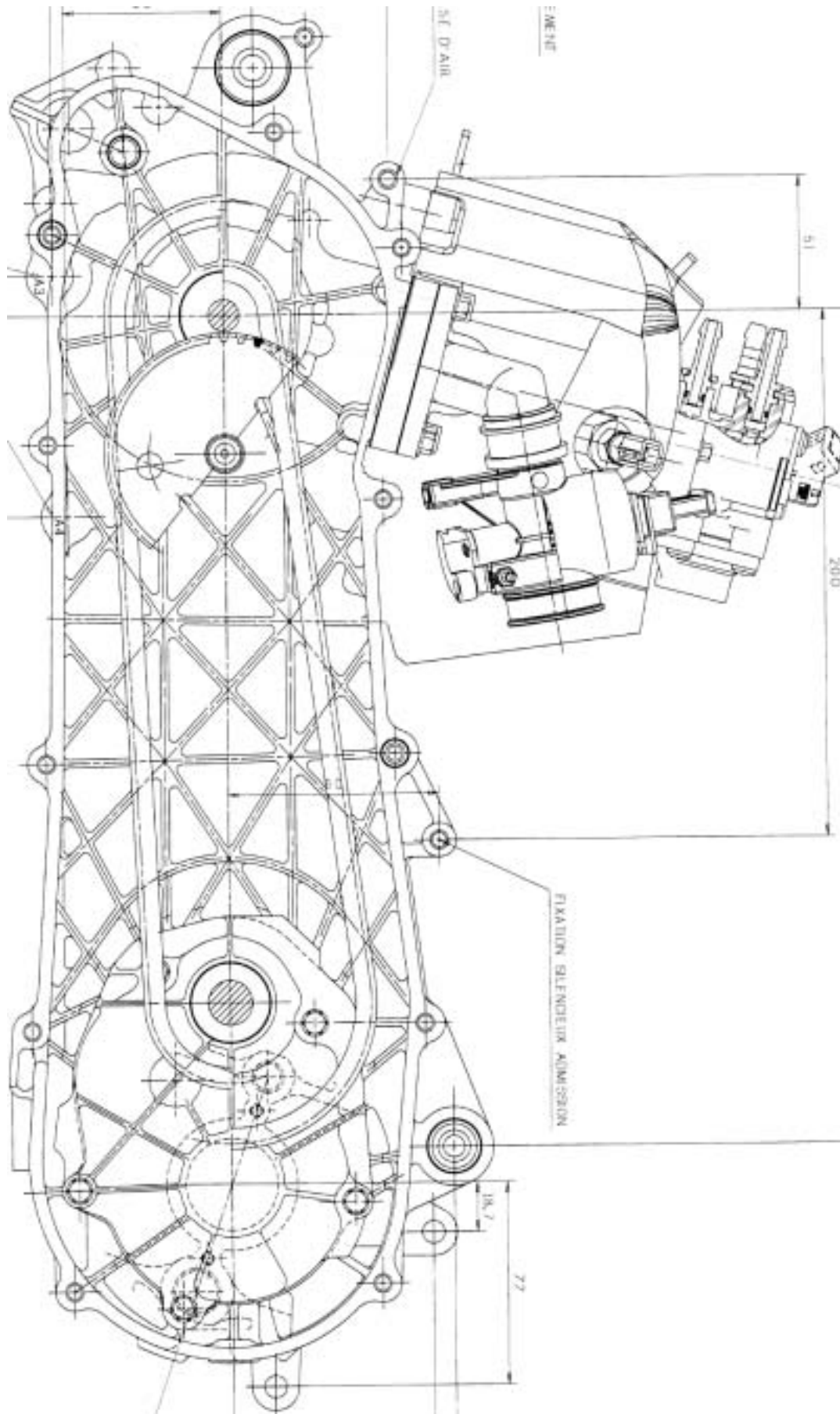


*Document DT2 : Vue en coupe moteur (coupe D-D)*



*Echelle non définie.*

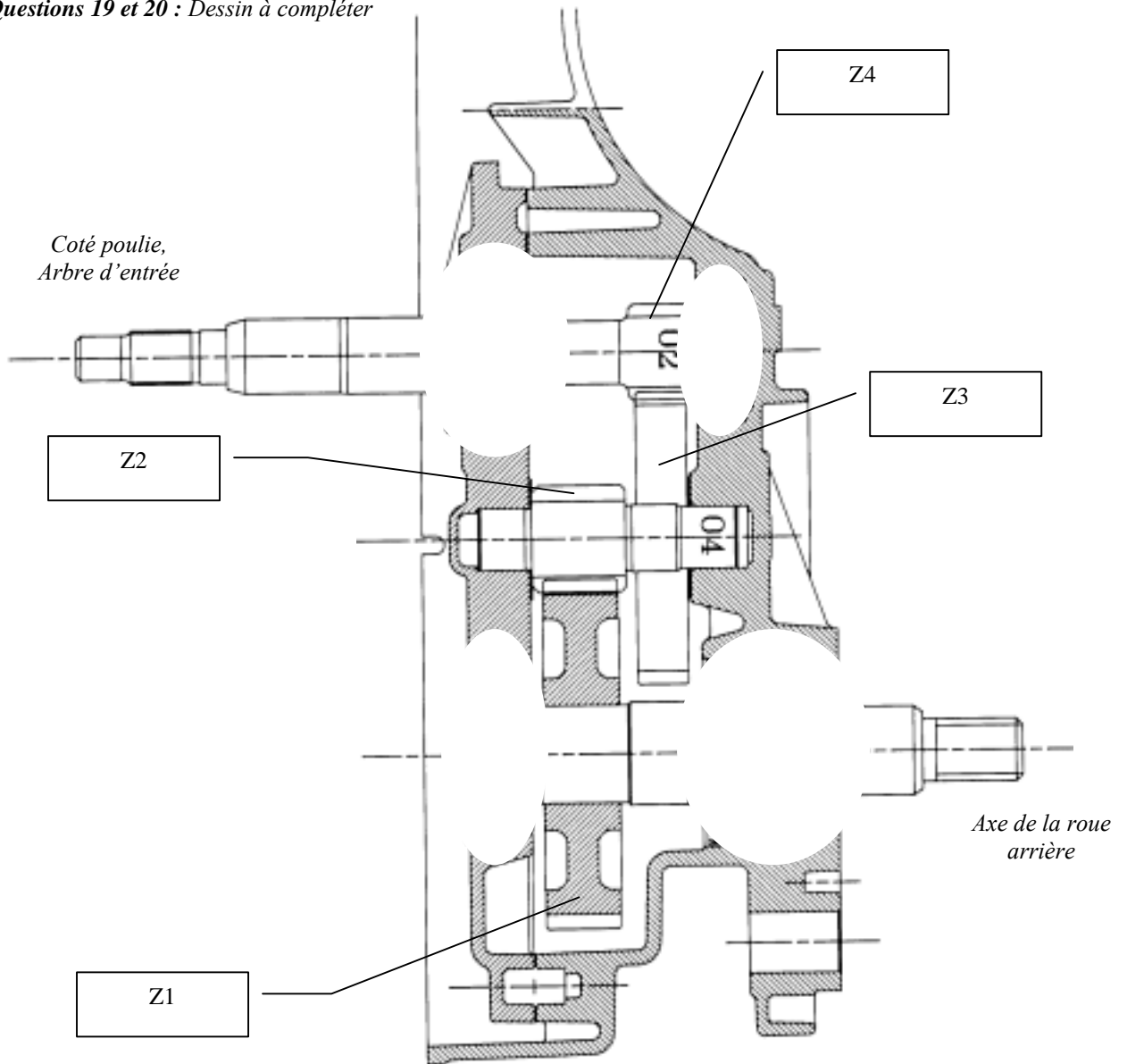
*Document DT3 : Vue suivant F, sans carter avant.*



*Echelle non définie.*

**Document DR3.**  
**Partie 6, questions 17, 18, 19, 20.**

Questions 19 et 20 : Dessin à compléter



*Coupe ramenée dans le plan.*  
*Echelle non définie.*

**Question 17 : Schéma architectural**

**Question 18 : Degré d'hyperstatisme**

---



---



---



---



---