



**LIÈGE université**  
**Sciences Appliquées**

---

MATH0001-2 : Communication graphique

## **Le moteur en étoile**

Projet-Examen - Cahier des charges

Professeur : Eric BÉCHET

Assistants : Alex BOLYN - Benjamin MORENO

---

ANNÉE ACADÉMIQUE 2024-2025

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Objectifs du projet</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Réalisation de pièces</b>	<b>3</b>
3.1	Pièces totalement définies . . . . .	3
3.2	Pièces à réaliser vous-même . . . . .	3
3.3	Pièces paramétriques . . . . .	4
3.3.1	Bouchon d'axe de piston et tige de liaison . . . . .	4
3.3.2	Modification de la longueur de l'entre-axe du vilebrequin . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Plans à réaliser</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Réalisation de l'assemblage</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Simulation cinématique</b>	<b>5</b>
<b>7</b>	<b>Informations pratiques</b>	<b>5</b>
7.1	Délivrables . . . . .	5
7.2	Consignes pour le rapport . . . . .	6
7.3	Questions sur le projet . . . . .	6
7.4	Conseils généraux . . . . .	6

# 1 Introduction

Parmi les nombreuses configurations de moteurs à pistons, la plus couramment rencontrée est celle dite « en ligne », où les cylindres sont généralement disposés en une ou deux rangées longitudinales. Cependant, une autre configuration, moins répandue, est celle dite « en étoile ». Dans ce type d'architecture, les cylindres sont disposés dans un même plan autour du vilebrequin, alignés sur l'axe de sortie du moteur. Ce type de moteur utilise généralement une bielle « maîtresse », reliée directement au vilebrequin, à laquelle sont fixées des bielles secondaires. C'est cette dernière configuration qui sera considérée pour ce projet.

La configuration « en étoile » a surtout trouvé son utilité dans l'aviation jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale, avant l'invention du turbopropulseur, qui a rendu presque obsolète l'utilisation des moteurs à pistons. La figure 1.1 illustre un moteur à cinq cylindres monté sur un tel appareil, tandis que la figure 1.2 présente les spécifications d'un moteur à cinq cylindres de ce type.



FIGURE 1.1 – Moteur à 5 cylindres en étoile : Verner Scarlett 5S.

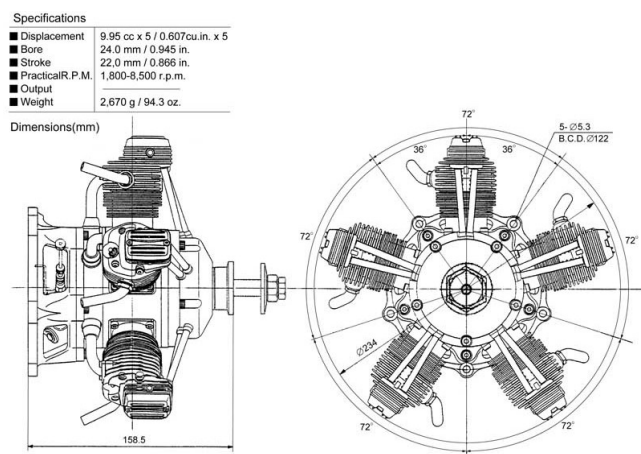


FIGURE 1.2 – Spécifications du moteur FR5-300 Sirius 5.

L'avantage de la configuration « en étoile » réside dans un gain de poids, de coût et de compacité par rapport à un moteur « en ligne » de puissance équivalente. Des atouts appréciables à une époque où les moteurs avaient à peine assez de puissance pour propulser les avions. Par la suite, ces avantages furent également valorisés pour des raisons militaires. Par exemple, le chasseur Hawker Sea Fury, équipé d'un moteur « en étoile » modifié, était légèrement plus rapide (37 km/h de plus) que le légendaire P-51 Mustang.

Toutefois, l'alimentation en carburant et la distribution dans les cylindres sont plus complexes à gérer que pour un moteur « en ligne ». De plus, l'équilibrage du moteur est plus délicat à ajuster. Tout d'abord, un nombre impair de cylindres (généralement 3, 5, 7 ou 9) est nécessaire pour assurer une répartition régulière des explosions – et donc des poussées des bielles – au cours d'une rotation du vilebrequin. Ensuite, dans la configuration « bielle maîtresse – bielles secondaires », les bielles secondaires ne suivent pas un mouvement circulaire autour de l'axe central du vilebrequin, mais plutôt un mouvement elliptique. En conséquence, un moteur « en étoile » ne peut être équilibré qu'en « moyenne ». Cela engendre des « vibrations linéaires de second ordre », difficiles à compenser.

Afin de comprendre le mouvement d'un moteur en étoile, vous pouvez regarder cette vidéo : [https://www.youtube.com/watch?v=HGKXdyCksAQ&list=RDQMViFo3uRKRM&start\\_radio=1](https://www.youtube.com/watch?v=HGKXdyCksAQ&list=RDQMViFo3uRKRM&start_radio=1)

## 2 Objectifs du projet

L'objectif de ce projet est de modéliser un moteur en étoile (simplifié) à 5 pistons en configuration bielle maîtresse - bielles secondaires.

Le projet est divisé en 5 grandes étapes :

1. Réalisation de modèles CAO.
2. Mise en plan de certaines pièces.
3. Réalisation de l'assemblage du moteur (à partir des pièces réalisées) suivant le plan d'assemblage.
4. Réalisation d'une simulation cinématique du mécanisme du moteur.
5. Rédaction d'un rapport présentant les résultats du projet.

Sont fournis avec ce cahier des charges deux pièces au format *STEP214* : carter.stp et helice.stp.

## 3 Réalisation de pièces

À la fin de ce document se trouvent tous les plans nécessaires pour ce projet.

### 3.1 Pièces totalement définies

À partir des plans complets fournis, réalisez les modèles CAO des pièces suivantes :

- Bielle maîtresse.
- Piston.
- Cylindre.
- Segment de piston.

Il est attendu que vous respectiez les règles et consignes indiquées durant l'année. Vous devez également assigner aux pièces les matériaux indiqués dans les plans.

Pour cette partie, ce sont la lecture de plans et la création de modèles qui sont évaluées. Les méthodes de construction employées pour réaliser vos pièces ne sont pas prises en compte, à la condition que celles-ci ne soient pas superflues ou illogiques.

### 3.2 Pièces à réaliser vous-même

Réalisez le modèle CAO des deux pièces suivantes, pour lesquelles nous ne vous donnons pas de plans :

- **Axe de piston** : Pour cette pièce, il n'y a pas de plan. Il s'agit d'un cylindre creux de 22 mm de diamètre extérieur, 11 mm de diamètre intérieur et 80 mm de hauteur.
- Il n'y a pas de plan pour la **bielle secondaire**. Construisez cette pièce de manière logique, afin d'optimiser la résistance mécanique et la masse. La bielle est en acier et sa masse totale ne doit pas dépasser 620 g. Assurez-vous qu'elle puisse être réalisée (autrement dit que cette pièce puisse être fabriquée) et intégrée à l'assemblage du moteur. Il est recommandé de s'inspirer de la bielle maîtresse.

En plus du fichier *.prt*, réalisez l'épure de la bielle secondaire et notez sa masse dans le cartouche.

### 3.3 Pièces paramétriques

Sur les plans, vous trouverez des cotes avec des astérisques. Ce sont les paramètres de conception principaux du modèle CAO. Il vous est demandé de réaliser certaines pièces de manière paramétrique, en prenant en compte que les valeurs indiquées par ces cotes sont susceptibles de changer. Pour ces modèles, l'évaluation portera sur l'adaptation de votre modèle en plus de la réalisation. Pour que nous puissions plus facilement comprendre votre modèle, nous vous demandons de nommer les paramètres de la même manière que sur les plans.

#### 3.3.1 Bouchon d'axe de piston et tige de liaison

Le bouchon d'axe de piston et la tige de liaison ont la même topologie. Construisez le bouchon d'axe de piston depuis le plan fourni de manière totalement paramétrique. Ensuite, modifiez les paramètres afin d'obtenir la tige de liaison avec les paramètres donnés dans la table 1. Sauvegardez le bouchon d'axe de piston et la tige de liaison dans deux fichiers *.prt* différents.

$D =$	15	$e =$	7
$d =$	10	$R =$	3
$h =$	43		

TABLE 1 – Paramètres de la tige de liaison (en mm)

#### 3.3.2 Modification de la longueur de l'entre-axe du vilebrequin

Les concepteurs du moteur doivent encore étudier la longueur optimale de l'entre-axe du vilebrequin. Pour cela, définissez cette longueur ( $d_{axes}$ ) comme le paramètre de conception de votre modèle CAO.

Le changement de la longueur de l'entre-axe du vilebrequin a des effets sur la répartition du poids du moteur. Afin de balancer le moteur, il faut changer la taille du contrepoids en fonction de l'entre-axe. L'équipe en charge du contrepoids a déterminé qu'autour d'un entre-axe de 56 mm, le rayon du contrepoids doit suivre la relation suivante pour équilibrer le moteur :

$$R_c = 0.6 d_{axes} + 45 \text{ mm.} \quad (3.1)$$

Créez votre modèle paramétrique de sorte que cette relation soit prise en compte. Notez bien que toute la pièce doit pouvoir être mise à jour automatiquement en modifiant l'unique paramètre  $d_{axes}$ .

## 4 Plans à réaliser

Il vous est demandé de réaliser deux plans :

- Le plan de la bielle secondaire (voir section 3.2).
- Le demi carter : Cette pièce vous est donné au format *step214* et est réalisée en acier.

Ces plans doivent suivre les règles de cotation vues au cours. Vous êtes libres d'utiliser l'échelle qui vous semble la plus adéquate, ainsi que de présenter, ou non, une vue de coupe. La convention européenne doit être respectée et le plan doit être complet. Pour cette partie, l'évaluation portera sur le cartouche, le respect des normes et les cotes du plan.

## 5 Réalisation de l'assemblage

Après avoir réalisé les fichiers *.prt* de toutes vos pièces, assemblez le moteur en étoile comme indiqué dans les plans d'assemblage (vues éclatées). L'assemblage doit être fonctionnel, cela signifie que vous devez pouvoir voir le mouvement du moteur en tournant l'hélice (vous trouverez l'hélice au format *.stp* avec l'énoncé du projet). N'hésitez pas à faire un (ou plusieurs) assemblage(s) intermédiaires pour vous faciliter la vie lors de la réalisation de l'assemblage complet (par exemple, comme présenté dans le plan d'assemblage).

Pour visualiser le mouvement des pistons<sup>1</sup>, coupez les cylindres en deux et ajoutez les demi-cylindres à l'assemblage.

Attention, veuillez générer deux pièces *.prt*. Parmi les fichiers soumis, il doit y avoir un cylindre entier et un demi-cylindre.

## 6 Simulation cinématique

Sur base de votre assemblage, simulez le démarrage du moteur en faisant tourner l'hélice (sens horloger en regardant l'hélice de face) avec une accélération constante de  $100^\circ/\text{s}^2$  pendant 8 secondes (il est recommandé d'avoir un pas de temps plus petit ou égal 0.01 s afin d'avoir une bonne précision). Ensuite, répondez aux questions suivantes dans le rapport :

1. Démontrez, à l'aide d'un graphique, que les bielles secondaires suivent une trajectoire elliptique.
2. Quelle est la cylindrée du moteur pour un entre-axe du vilebrequin de 56 mm ? Indiquez et expliquez votre calcul dans le rapport.
3. Comment la cylindrée du moteur évolue-t-elle lorsque l'entre-axe du vilebrequin varie entre 50 et 65 mm ? Illustrez à l'aide d'un graphique montrant la cylindrée en fonction de la distance entre les axes.

Note : La cylindrée d'un moteur est le volume total balayé par les pistons dans les cylindres.

## 7 Informations pratiques

### 7.1 Délivrables

Le projet est individuel. Tous les projets seront passés au logiciel anti-copie afin de vérifier l'absence de plagiat. Cependant, rien ne vous empêche de vous entraider, à condition que votre travail reste personnel.

Un seul fichier peut être déposé sur la page de dépôt (dont le lien est indiqué sur la page web du cours dans la section concernant le projet). Vous devez donc fournir tous les fichiers de votre projet compressés dans un seul fichier *.zip*.

Le **nom de ce fichier zip** sera votre matricule (exemple : "s123456.zip"). Vous devez organiser le fichier zip en deux dossiers :

- **Pieces** : Ce dossier doit contenir toutes les pièces, les assemblages et simulations que vous avez créés avec NX (les fichiers *.prt*, *.sim* et fichiers de résultats de simulation). Veillez à ne stocker que les versions finales de vos pièces, et assurez-vous que leurs noms soient explicites et ne comportent pas de caractères spéciaux. Gardez à l'esprit que **dès qu'une pièce est ajoutée à un assemblage, son nom et son emplacement ne peuvent plus être modifiés**.

---

1. Notez que dans l'assemblage, les segments de pistons interfèrent avec les cylindres. En réalité, les segments sont comprimés dans les rainures du piston et assurent l'étanchéité. Nous ne modélisons pas la compression des segments dans ce projet.

- **Documents** : Ce dossier doit inclure tous les plans que vous avez créés et le rapport, tous au format PDF uniquement (pas de fichier *drawing* pour les plans). Nous ne pouvons accepter que des fichiers au format PDF, veuillez donc effectuer l'exportation correctement.

Votre projet (le fichier zip) est à rendre avant le **21 décembre 2024 à 23h59**. Tout retard engendrera un retrait de points proportionnel au retard en question. Le non-respect des consignes engendrera également des pénalités.

## 7.2 Consignes pour le rapport

Le rapport doit être soumis en PDF, mais peut être rédigé à l'aide de l'éditeur de votre choix (Word, LaTeX...) et les résultats/figures peuvent être générés avec un logiciel de votre choix (Excel, Matlab, Python...).

Utilisez une mise en page claire. La première page doit contenir, au minimum, votre nom, votre matricule et un titre. Vous pouvez vous inspirer de la page de garde de ce document, ou de celles des devoirs et des exercices du cours.

Lorsque vous répondez aux questions de la section 6, indiquez le numéro et le titre de la question. Il est possible d'indiquer vos commentaires concernant votre travail dans une section spécifique en fin de rapport (par exemple, spécifier une particularité de votre travail pour faciliter la compréhension de celui-ci).

Enfin, assurez-vous que tout est lisible dans le rapport (graphiques...), que la mise en page est soignée, et relisez l'orthographe. Veillez à la clarté de vos propos et faites des références précises aux éléments de vos graphiques.

## 7.3 Questions sur le projet

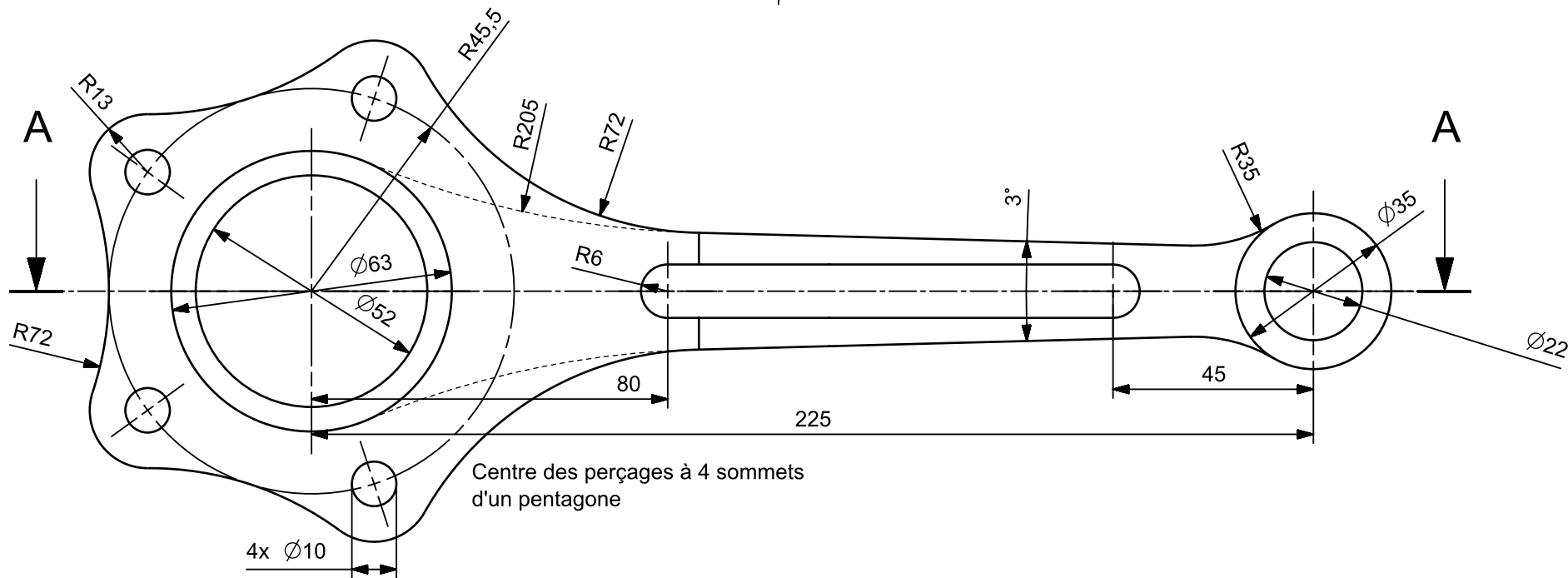
- N'hésitez pas à poser des questions lors des **séances d'exercices**, que ce soit avant ou après la séance, de manière à ne pas perturber son bon déroulement.
- Le **forum** disponible sur eCampus dans la section "Forum de discussion" (ou la page "Discussions"). Si vous avez des questions, le forum est votre premier ami. Les questions envoyées par courriel n'obtiendront pas de réponse car nous préférons qu'elles soient sur le forum afin que tous les étudiants puissent profiter des conseils et astuces proposées par les encadrants du cours. Nous sommes également susceptibles de publier des conseils pour la réalisation du projet sur la page eCampus.

## 7.4 Conseils généraux


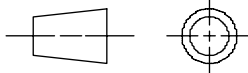
- Profitez de toutes les ressources disponibles : énoncés des séances d'exercices, retours sur les devoirs, cours théorique... Elles vous aideront à mener à bien le projet et spécifient tous les critères pour lesquels vous serez évalués.
- Vous disposez de deux mois pour accomplir ce projet, et cela n'est pas sans raison. Attendre jusqu'à la dernière minute comporte le risque de réaliser un travail incomplet ou incorrect, en plus de sacrifier votre sommeil à l'approche de la période de blocus et du réveillon. Commencez le travail assez tôt, afin de pouvoir poser toutes vos questions.
- Vérifiez une dernière fois que tout est en ordre avant de soumettre votre travail. Extrayez le fichier zip et vérifiez que vous trouvez directement les dossiers mentionnés plus haut avec tous les fichiers qui peuvent être ouverts sur NX directement. Nous n'allons pas refaire votre travail ou le modifier si nous ne pouvons pas ouvrir une pièce, l'assemblage ou la simulation !

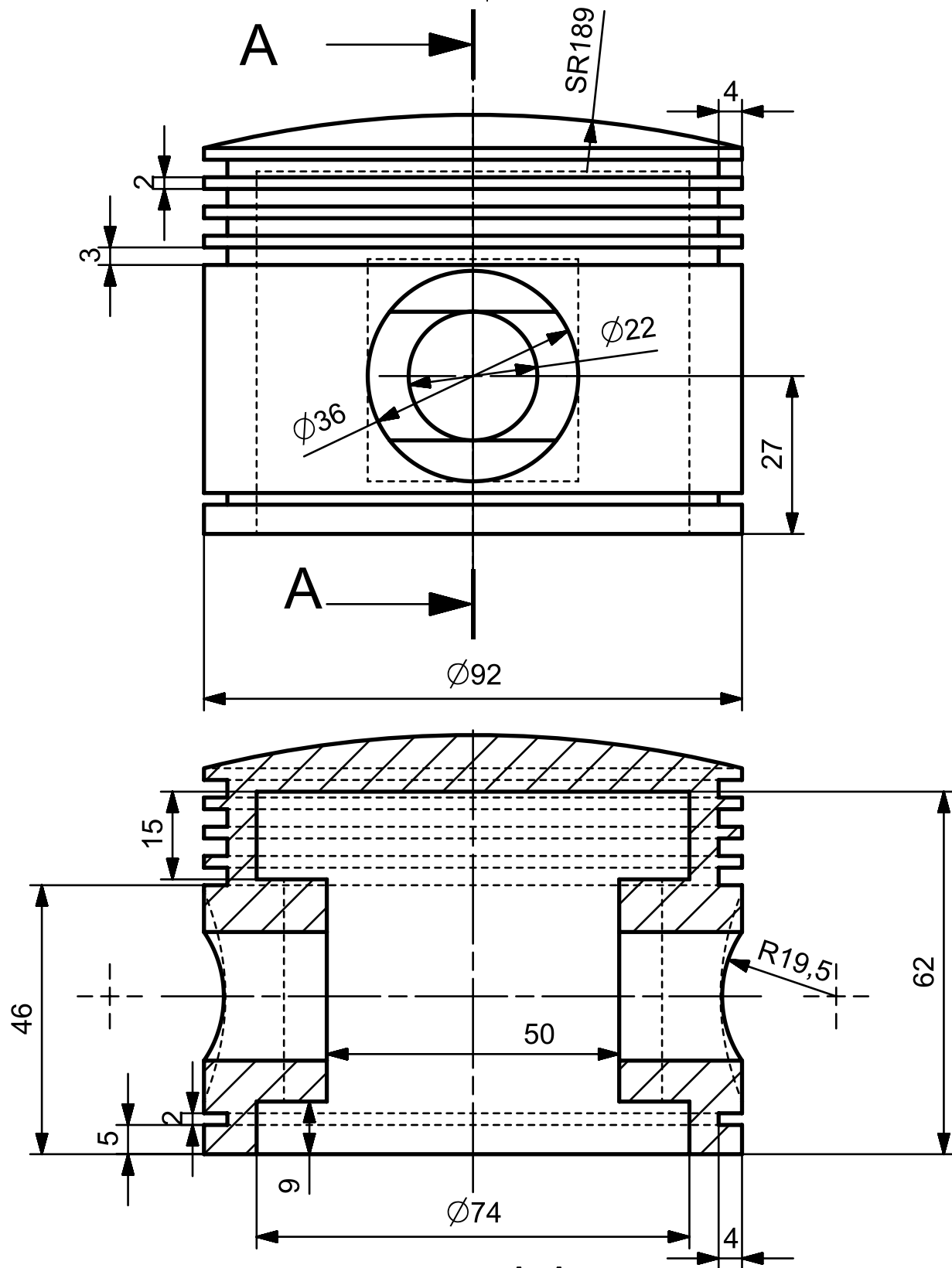
**Bon travail !**





COUPE A-A

		EPURE REALISEE DANS LE CADRE DU COURS DE COMMUNICATION GRAPHIQUE (UNIVERSITE DE LIEGE - FACULTEE DES SCIENCES APPLIQUEES)	
DATE		19/09/2024	
AUTEUR		B. Moreno	
		TITRE	
		Bielle maîtresse	
FORMAT	MATERIAU	VERSION	
A3	Acier	A	
ECHELLE 1:1		PAGE 1 DE 1	

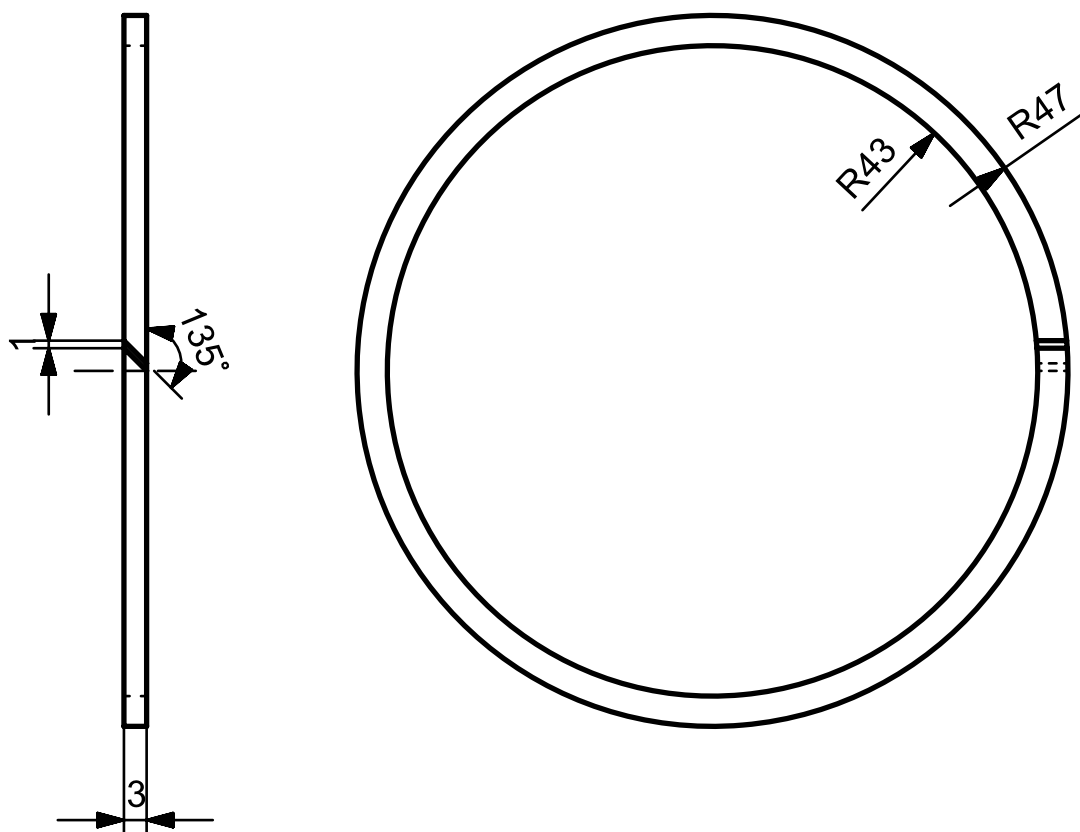


COUPE A-A

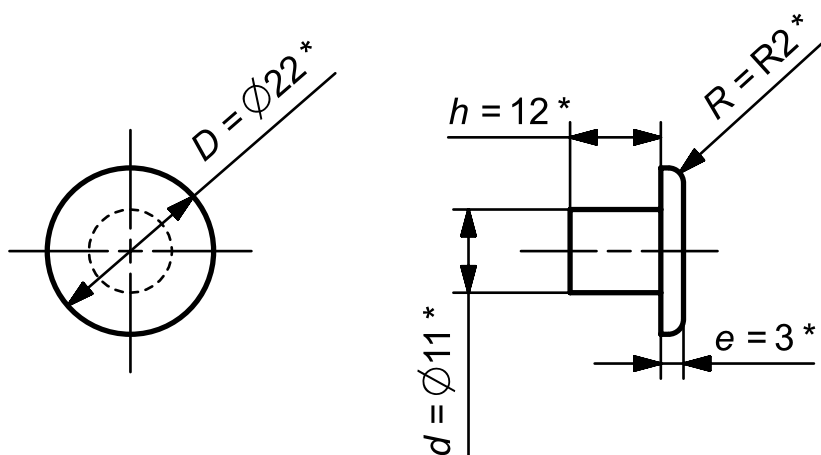
		EPURE REALISEE DANS LE CADRE DU COURS DE COMMUNICATION GRAPHIQUE (UNIVERSITE DE LIEGE - FACULTEE DES SCIENCES APPLIQUEES)		
DATE		19/09/2024		
AUTEUR		B. Moreno		
		FORMAT	MATERIAU	VERSION
		A4	Acier	A
		ECHELLE 1:1		PAGE 1 DE 1


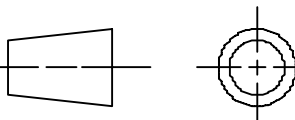


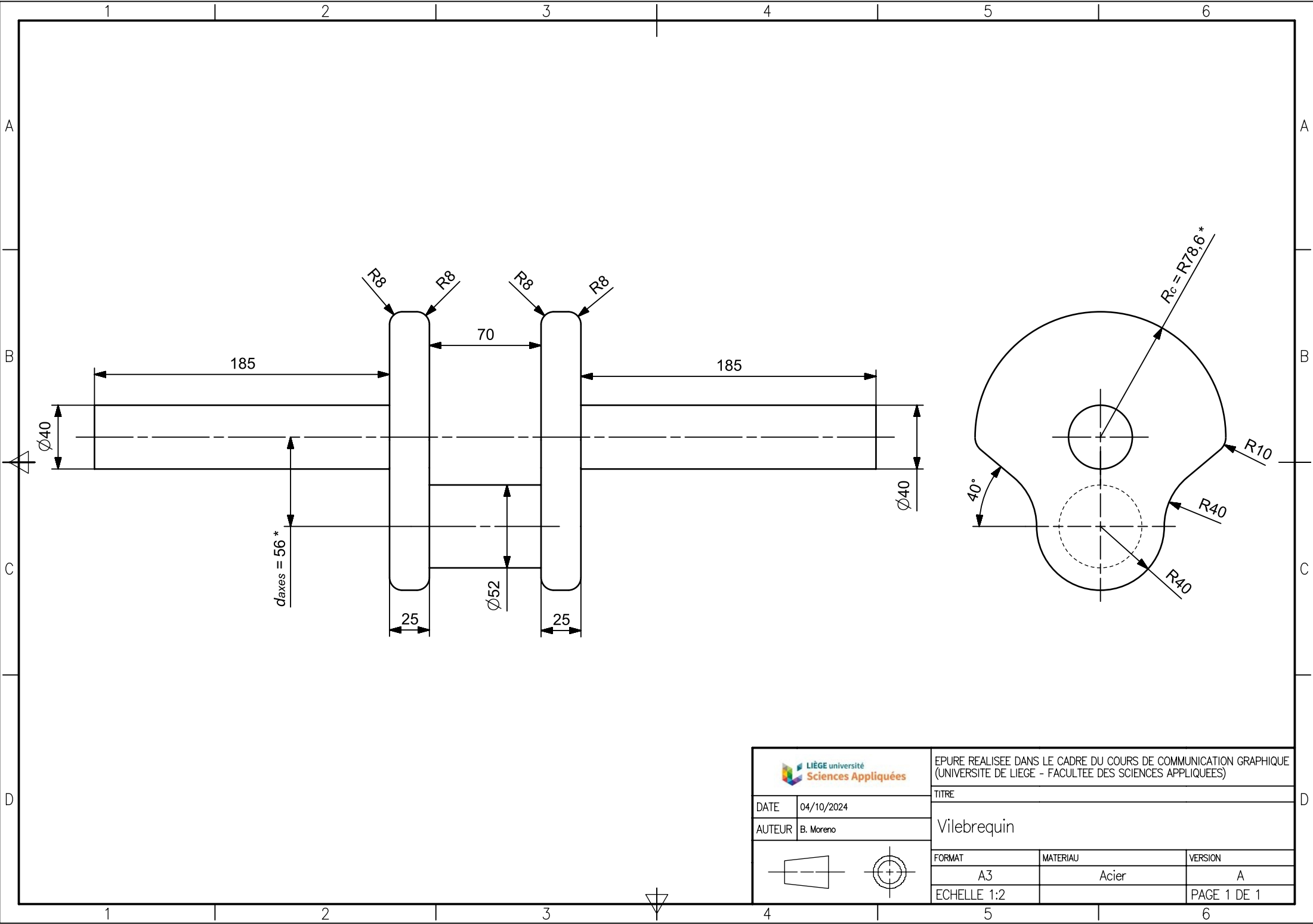
## Segment de piston



## Bouchon d'axe de piston



		EPURE REALISEE DANS LE CADRE DU COURS DE COMMUNICATION GRAPHIQUE (UNIVERSITE DE LIEGE - FACULTEE DES SCIENCES APPLIQUEES)		
DATE		19/09/2024		
AUTEUR		B. Moreno		
		FORMAT	MATERIAU	VERSION
		A4	Acier	A
		ECHELLE 1:1		PAGE 1 DE 1

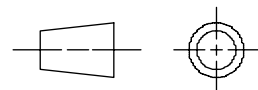


DATE 04/10/2024

AUTEUR B. Moreno

TITRE

Vilebrequin



FORMAT

A3

MATERIAU

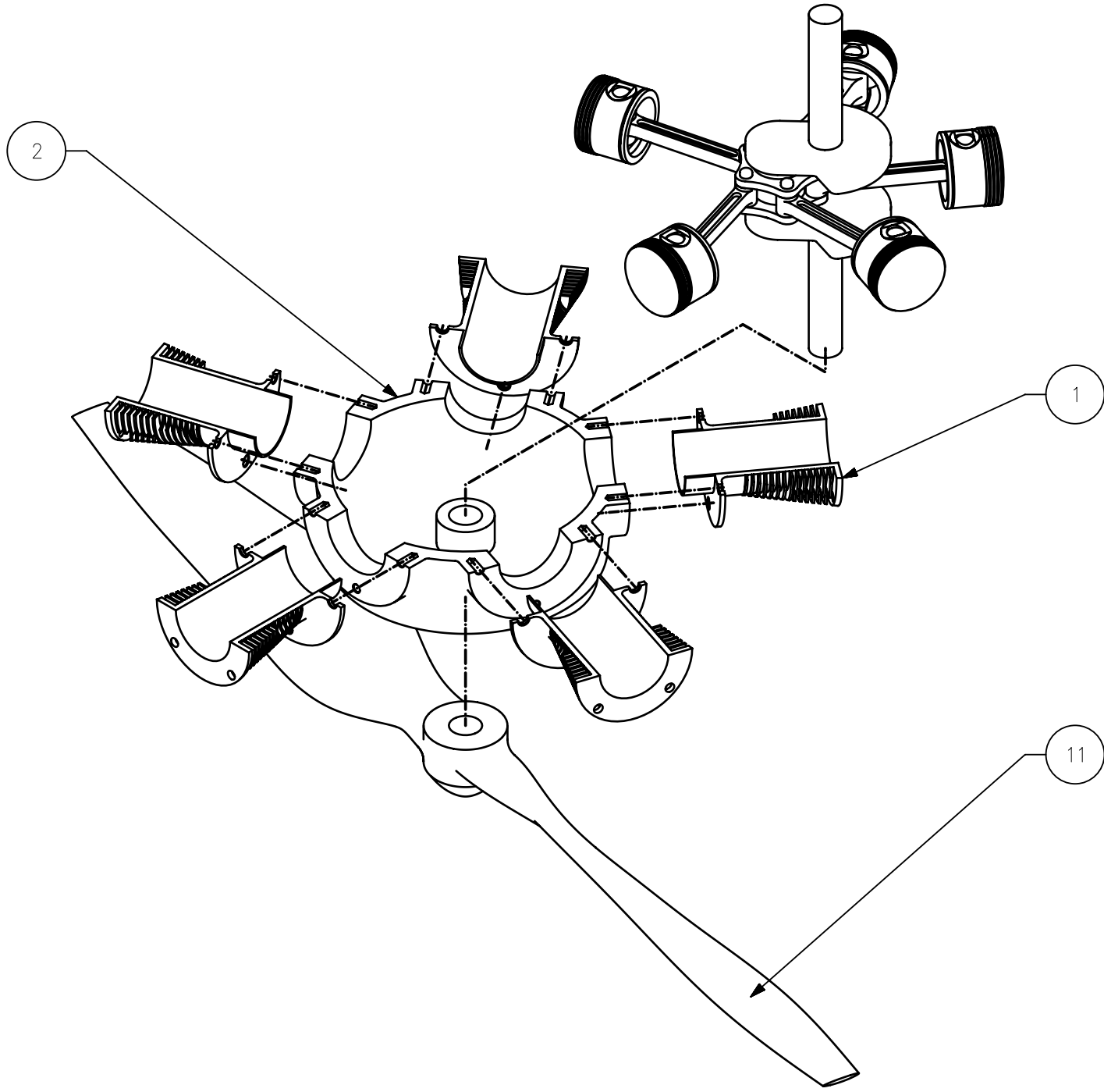
Acier

VERSION


A

ECHELLE 1:2

PAGE 1 DE 1



1	CYLINDRE	5
2	CARTER	1
3	SEGMENT DE PISTON	20
4	BOUCHON AXE PISTON	10
5	AXE PISTON	5
6	PISTON	5
7	VILEBREQUIN	1
8	BIELLE MAITRESSE	1
9	BIELLE SECONDAIRE	4
10	TIGE DE LIAISON	4
11	HELICE	1
N°	NOM PIECE	QTE



DATE03/10/2024

AUTEURB. MORENO

EPURE REALISEE DANS LE CADRE DU COURS DE COMMUNICATION GRAPHIQUE (FACULTEE DES SCIENCES APPLIQUEES)

TITRE

Moteur en étoile (vue éclatée)

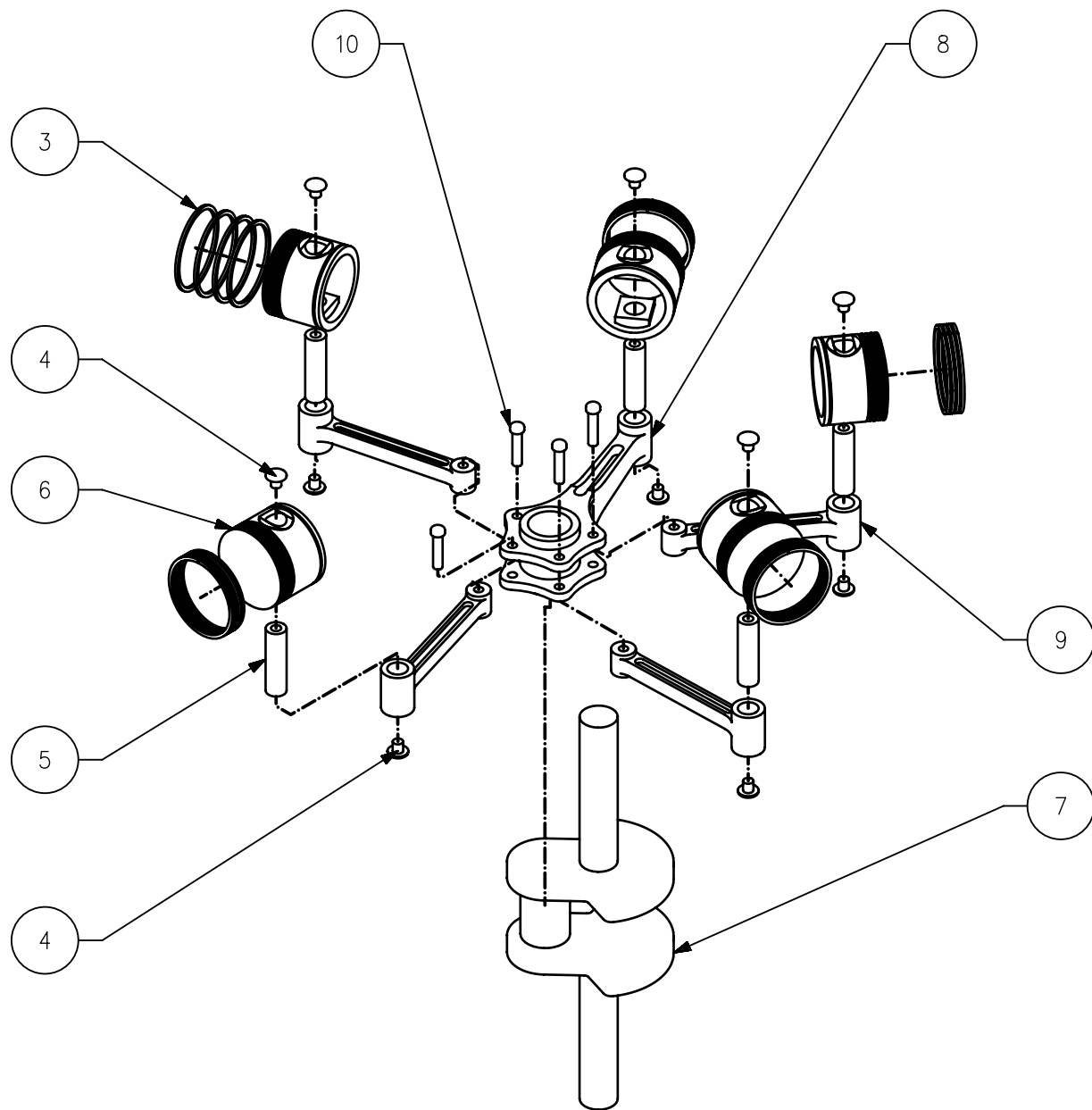
FORMATA3


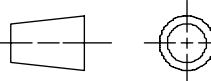
MATERIAU-

VERSIONA

ECHELLE 1:5

PAGE 1 DE 2



		ÉPURE RÉALISÉE DANS LE CADRE DU COURS DE COMMUNICATION GRAPHIQUE (FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES)	
DATE 03/10/2024 AUTEUR B. MORENO		TITRE Moteur en étoile (vue éclatée)	
		FORMAT A3	MATERIAU -
ECHELLE 1:5		VERSION A	
		PAGE 2 DE 2	