

# **BACCALAURÉAT GÉNÉRAL**

## **SESSION 2009**

Série S - Sciences de l'Ingénieur

Composition écrite de Sciences de l'Ingénieur

Durée 4 heures, coefficient 4

### **ÉTUDE D'UN SYSTEME PLURITECHNIQUE**

**Sont autorisés les calculatrices électroniques et le matériel nécessaire  
à la représentation graphique.  
Aucun document n'est autorisé.**



## **Actionneur de commande du plan horizontal arrière réglable de l'Airbus A380**

### **SOMMAIRE :**

**Présentation :**

**pages 3 / 35 à 11 / 35**

**Travail demandé :**

**pages 12 / 35 à 22 / 35**

**Documents techniques :**

**DT1, DT2, DT3, DT4, DT5, DT6, DT7**

**Documents réponses :**

**DR1, DR2, DR3, DR4, DR5, DR6**



Le sujet est composé de 4 parties indépendantes pouvant être traitées dans l'ordre souhaité.

Le dossier « questions » comporte 11 pages numérotées de la page 12/35 à 22/35.

Il est conseillé de consacrer à chacune des parties les durées suivantes :

**Lecture des documents**

40 minutes

---

**Partie I** : Identification des principes de transformation de mouvement et des efforts mis en jeu

45 minutes

---

**Partie II** : Détermination de caractéristiques techniques du système à travers l'étude de fonctions

60 minutes

---

**Partie III** : Vérification des caractéristiques et des performances de l'actionneur

60 minutes

---

**Partie IV** : Étude de la solution constructive : Fixation du **THSA** au fuselage

35 minutes

---

## Problématique générale

L'évolution croissante du trafic aérien impose de disposer d'avions d'une part de gabarit important, et d'autre part à coûts d'achat, d'entretien et d'exploitation réduits. Désormais, un des défis des constructeurs d'avions commerciaux est de parvenir à réduire dans le respect des limites de sécurité, les exigences énergétiques, le poids et le coût des systèmes d'équipement. C'est dans ces conditions qu'ils pourront correspondre aux attentes du marché de demain.

L'Airbus A380 répond à ces différents besoins (voir document technique **DT1**).

## Commandes de vol

En vol, un avion évolue autour de trois axes de référence (figure n° 1) :

- l'axe de tangage, suivant lequel il se lève ou pique du nez, rotation autour de l'axe  $(G, \vec{X})$  ;
- l'axe de roulis suivant lequel il s'incline sur une ou sur l'autre de ses ailes, rotation autour de l'axe  $(G, \vec{Y})$  ;
- l'axe de lacet suivant lequel il dirige son nez vers la gauche ou vers la droite, rotation autour de l'axe  $(G, \vec{Z})$ .

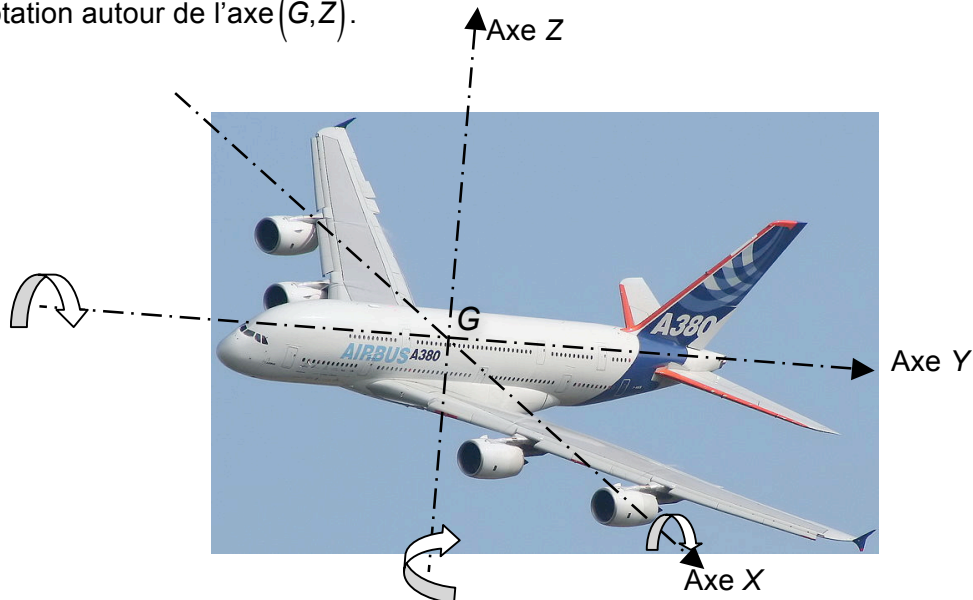


Figure n° 1

En pratique, on distingue deux types de commandes de vol :

- les commandes de vol primaires qui permettent de contrôler l'évolution de l'avion autour de ces axes de référence : les ailerons et les spoilers pour le roulis, la gouverne de direction pour le lacet, les gouvernes de profondeur pour le tangage (exemple : **plan horizontal arrière**) ;
- Les commandes de vol secondaires qui permettent de modifier la configuration aérodynamique de l'avion : hypersustentateurs (volets et becs) pour la portance ; les spoilers pour la traînée.

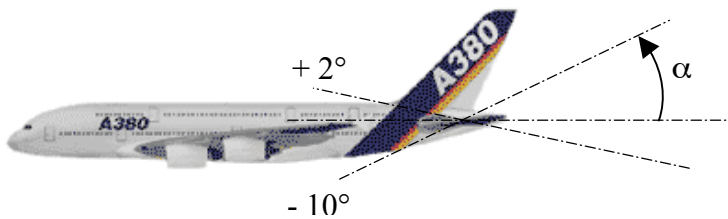
Différents actionneurs réalisent la fonction de positionnement des gouvernes, à sources de puissance électrique ou hydraulique et à transmission de signaux électriques ou mécaniques.

## Plan horizontal arrière réglable

Le plan horizontal arrière assure l'équilibre en tangage de l'appareil. Il se situe à l'extrémité arrière du fuselage (figure n° 2). Il est en liaison pivot avec le fuselage arrière.

En vol l'équilibre longitudinal de l'appareil change continûment (vitesse, masse, chargement), le plan horizontal arrière doit alors pouvoir prendre une incidence variable, comprise entre  $+2^\circ$  et  $-10^\circ$  sur l'airbus A380.

Le plan horizontal arrière réglable est appelé **THS** (Trimmable Horizontal Stabilizer).



Plan horizontal arrière réglable

Figure n° 2

## Actionneur du plan horizontal arrière réglable

Cet actionneur est appelé **THSA** (Trimmable Horizontal Stabilizer Actuator) (figure n° 3).

Le **THSA** a pour fonction d'assurer le positionnement angulaire du plan horizontal arrière en fonction des ordres venant soit du pilote (levier de commande), soit du calculateur de l'appareil (vol automatique). Il doit en outre maintenir le plan horizontal arrière en position en cas de défaillance. Il réalise une fonction de vérin linéaire. L'une de ses attaches est reliée à la structure avion et l'autre au plan horizontal arrière.

Le **THSA** reçoit de l'appareil de la puissance et des ordres de commande et lui retourne les informations nécessaires à l'asservissement du plan horizontal arrière et à la surveillance du **THSA**.

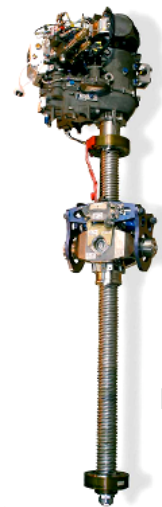


Figure n° 3

## Présentation du THSA

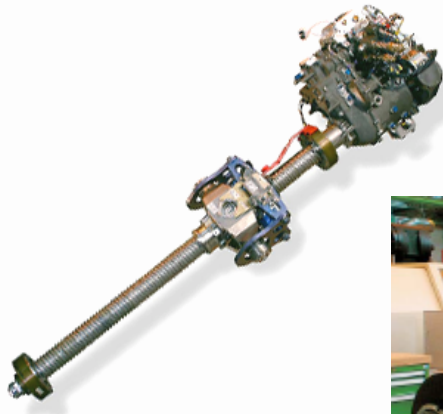
Le **THSA** possède trois fonctions principales :

- attache structurale au fuselage ;
- irréversibilité ;
- réglage angulaire du plan horizontal commandé par les calculateurs de vol.

Il comporte une fonction structurale assurée par un ensemble de vis à billes muni de son dispositif d'irréversibilité à friction, une transmission de puissance réalisée au moyen d'une boîte à pignons, deux modules hydrauliques fonctionnant à une pression de 350 bar et un canal électrique en redondance (en cas de double panne hydraulique) constitué d'un moteur avec son électronique de puissance.

Conçu sous forme de modules pouvant être remplacés directement sur l'A380 sans dépose du système, le **THSA** est le plus gros actionneur de plan horizontal réglable jamais construit pour une application civile.





### Quelques chiffres sur le THSA :

Masse : 400 kg  
 Longueur totale : 3 m  
 Diamètre de la vis à billes : 110 mm

Cadence livraisons :

**THSA A380** : 7 en 2007 – 17 en 2008 – en 2009 (voir carnet de commande A380)

### Positionnement du THSA sur l'A380

Le **THSA** se situe au niveau de l'empennage arrière (queue de l'appareil). La figure n° 4 montre sa localisation sur l'appareil.



Localisation du THSA  
 sur l'A380

Figure n° 4

## Implantation du THSA dans le fuselage de l'appareil

La figure n° 5 représente l'implantation du système étudié dans le fuselage arrière (empennage) de l'appareil.

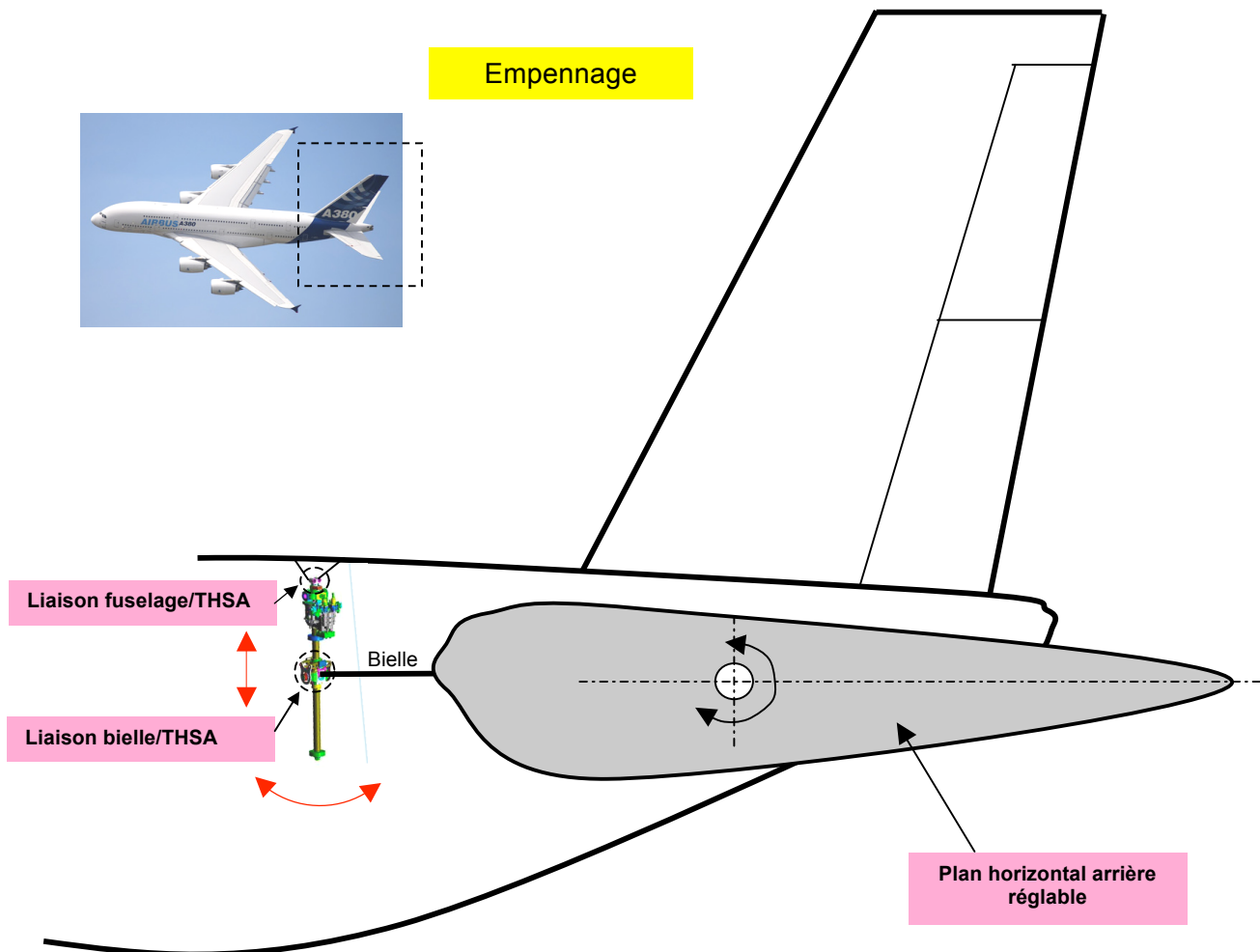


Figure n° 5

## Principe de fonctionnement du THSA

Le principe de fonctionnement du **THSA** est représenté sur le schéma technologique simplifié (figure n° 6 et figure n° 7).

L'ensemble de motorisation du **THSA** (moteurs hydrauliques et/ou électrique) transmet un mouvement de rotation à la vis à billes par l'intermédiaire d'un réducteur à engrenages. L'écrou en translation actionne alors le plan horizontal arrière par l'intermédiaire d'une bielle. La bielle fixée sur le plan horizontal arrière (liaison complète) actionne le plan horizontal. Le plan horizontal arrière, en liaison pivot par rapport au fuselage, possède un débattement angulaire de  $12^\circ$  ( $-10^\circ \leq \alpha \leq +2^\circ$ ).

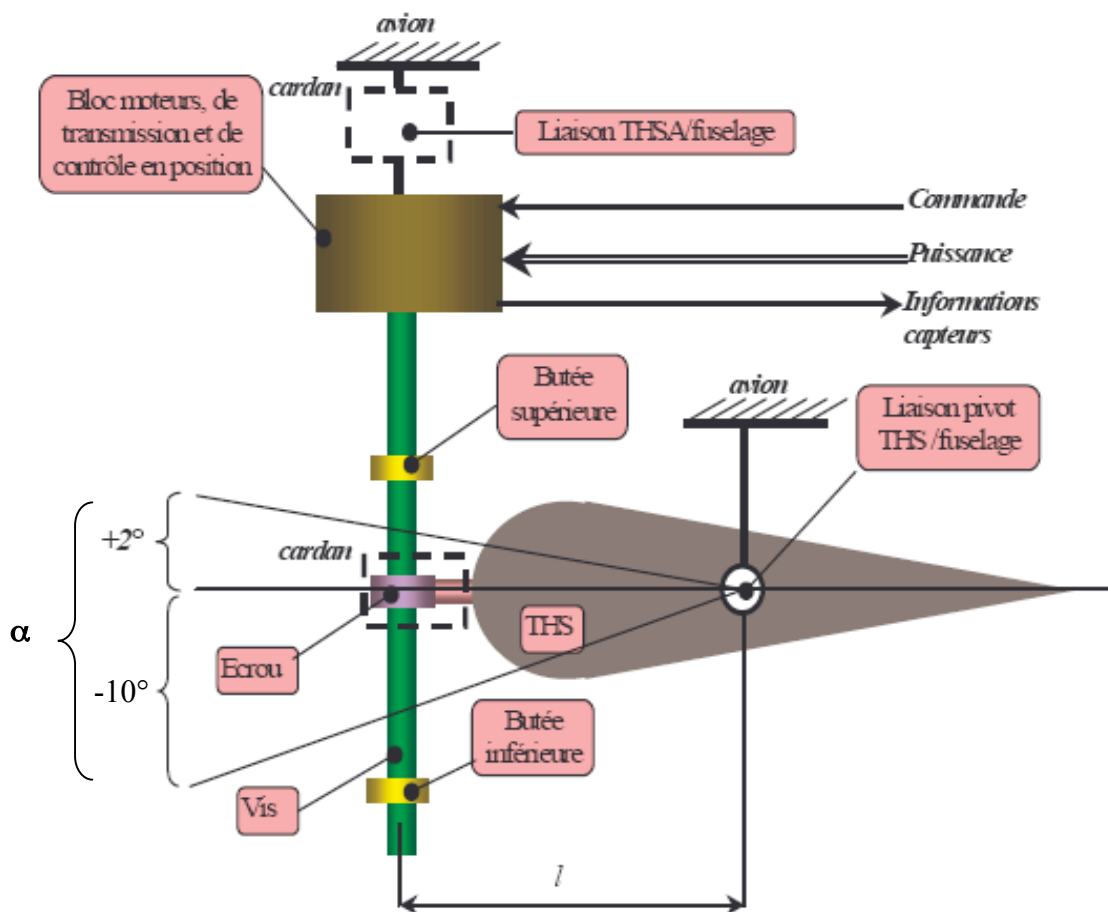


Figure n° 6



Figure n° 7

## Structure du THSA

Le **THSA** est constitué : (figure n° 8 page 9/35)

- d'un système de transformation et de transmission de mouvement vis écrou à billes ;
- de deux moteurs hydrauliques et d'un moteur électrique ;
- de deux butées de fin de course mécanique (supérieure et inférieure) ;
- d'une double attache au plan horizontal arrière et au fuselage ;
- d'une boîte de transmission de puissance comportant :
  - un système d'irréversibilité qui permet au **THSA** de maintenir le plan horizontal arrière en position : le NoBACK,
  - un circuit hydraulique ou électrique dédié à la commande et au contrôle de la puissance,
  - un réducteur à engrenages ;
- d'un boîtier électronique servant d'interface entre l'avion et le **THSA** ;
- de deux capteurs pour le contrôle de la boucle d'asservissement en position du **THSA**.

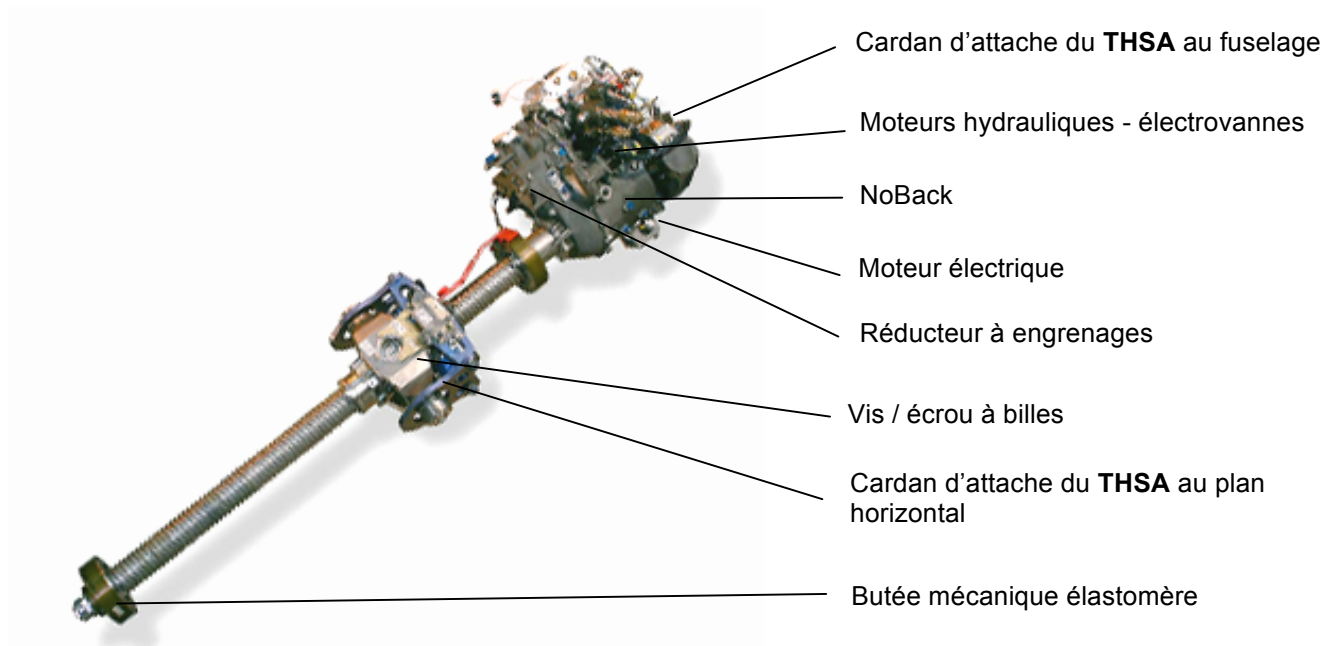


Figure n° 8

### Structure de la commande de vol

La figure n° 9 montre la structure globale de la commande de vol agissant sur le **THSA**.

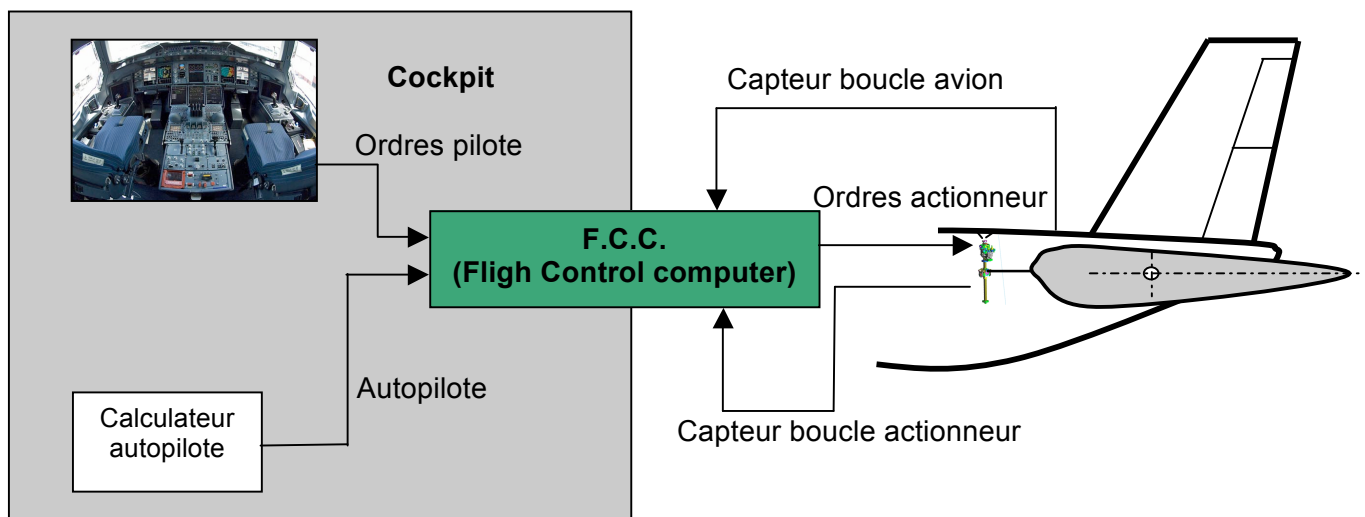


Figure n° 9

L'Airbus A380 utilise de plus en plus des systèmes électriques et les progrès en électronique de puissance permettent la mise en œuvre de conversions d'énergie performantes et fiables. Cette utilisation croissante de l'électricité dans ce domaine d'application est motivée notamment par une réduction de masse de l'appareil et une simplification des réseaux hydrauliques lourds et contraignants en terme de maintenance.

L'architecture type d'un avion de cette catégorie fait intervenir 2 circuits hydrauliques (H1 et H2) et deux réseaux électriques (E1 et E2) complètement indépendants.

### Circuits hydrauliques

La génération hydraulique est obtenue par des pompes entraînées par les réacteurs. Par souci de sécurité, les deux circuits sont totalement indépendants et les pompes d'un même circuit sont placées du même côté de l'avion.

### Circuits électriques

La génération du réseau alternatif triphasé à fréquence variable est assurée par 4 VFG (Variable Frequency Generator) directement accouplés sur l'étage haute pression de chaque réacteur. L'excitation de l'alternateur est commandée de façon à obtenir une tension efficace de sortie  $V_a$  réglée de **115/200 V** alternative.

La fréquence du réseau est de 400 Hz et peut varier entre **390 Hz et 800 Hz** environ.

### Schéma architectural du THSA

Le schéma architectural (figure n° 10) reprend les différents modules constituant le **THSA** (seule la voie électrique est représentée).

Les efforts longitudinaux appliqués sur l'écrou notés  $F_e$ , dus aux efforts aérodynamiques notés  $F_{ae}$ , sont repris par le système Noback. Ils ne transitent pas par le réducteur à engrenages.

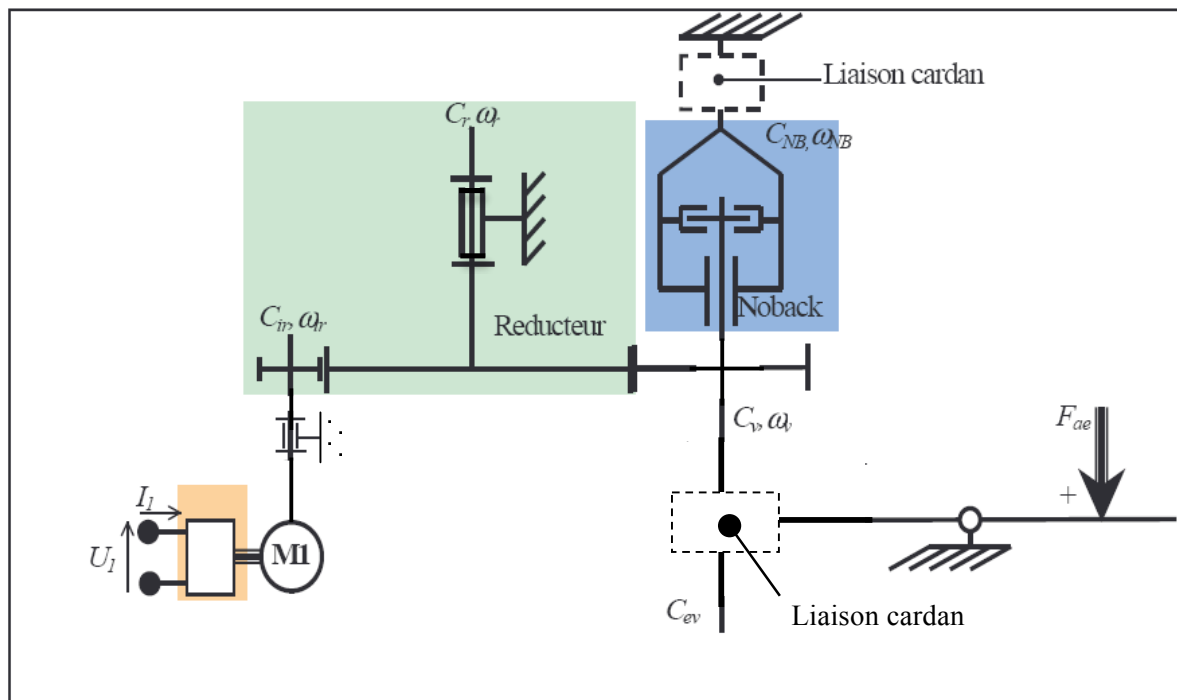


Figure n° 10 : schéma cinématique THSA

### NoBack

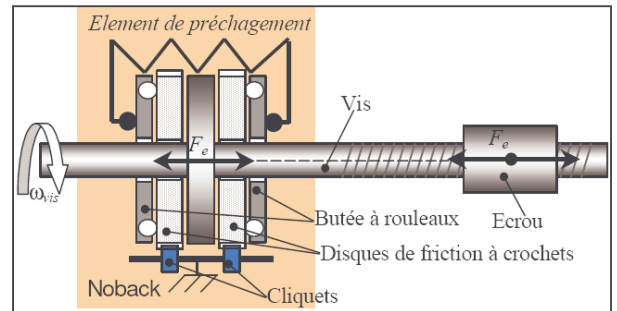
De par sa conception, la vis à billes confère un caractère réversible à la chaîne d'énergie du **THSA**. Le **Noback** (figure n° 11 page 11/35) supprime cette réversibilité et rend donc le système **THSA** globalement **irréversible**.

Les efforts (aérodynamiques, poids du plan horizontal,...) appliqués sur le plan horizontal arrière ne doivent à aucun moment induire un changement angulaire de ce dernier ; le **THSA** bloque la rotation de la vis à billes si l'ordre de changer la position du plan horizontal arrière n'est pas donnée (soit par le pilote, soit par le calculateur de vol).

Le NoBack reprend tous les efforts longitudinaux appliqués sur l'axe de la vis à billes. En aucun cas ces efforts ne transitent par le réducteur à engrenages.

Le NoBack intègre deux fonctions, celle de butée axiale et celle d'irréversibilité de la vis à billes. Il est constitué de :

- deux butées à rouleaux assurant la fonction de butée axiale ;
- deux roues à rochets ;
- six cliquets ;
- deux disques de carbone ;
- une paire de rondelles Belleville de précharge de la vis.



**Figure n° 11 : NoBack**



## Travail demandé

### Hypothèse générale d'étude

Nous allons étudier et vérifier le comportement du système **THSA** dans le cas de défaillance totale du système hydraulique (panne générale hydraulique).

**Seule la voie électrique sera alors étudiée et prise en compte.** La partie hydraulique ne fera pas partie de notre étude.

## PARTIE I

### Identification des principes de transformation de mouvement et des efforts mis en jeu

\*

Les objectifs de cette partie sont :

- d'identifier les principaux constituants du **THSA** et de définir leurs principales caractéristiques ;
- de déterminer la course réelle de l'écrou du **THSA** ;
- de déterminer l'effort axial exercé sur le système **NoBack**.

\*

**Question n° 1-A :** (répondre sur le document réponse **DR1**)

✍ À partir de la description du **THSA**, compléter le tableau document **DR1**.

**Question n° 1-B :** (répondre sur le document réponse **DR2**)

✍ Compléter les blocs de l'architecture de la chaîne fonctionnelle (énergie et information) du **THSA** sur le document **DR2**.

### Identification du principe de transformation de mouvement permettant l'inclinaison du plan horizontal arrière.

Le pilote et/ou le calculateur de vol modifie l'inclinaison du plan horizontal arrière durant les différentes phases de vol.

**Question n° 1-C :** (répondre sur la copie)

✍ À partir de l'épure du document **DR3** et de la description du **THSA**, indiquer le nom de la liaison entre le plan horizontal arrière et le fuselage de l'avion. Nommer le degré de liberté autorisé et indiquer l'amplitude de ce mouvement.

**Question n° 1-D :** (répondre sur la copie)

✍ Définir la nature de la trajectoire du point *M* appartenant à la bielle par rapport au fuselage :  $T_{M \in \text{Bielle} / \text{Fuselage}}$ .

L'avionneur AIRBUS impose un débattement angulaire total du plan horizontal arrière de  $12^\circ$ .

La plage angulaire, pour un fonctionnement normal (hors sur course), varie entre  $-10^\circ$  et  $+2^\circ$  ; cet angle est appelé  $\alpha$  :  $-10^\circ \leq \alpha \leq +2^\circ$

L'épure du document **DR3** montre le positionnement de l'ensemble sur l'A380. Les positions angulaires extrêmes du plan horizontal arrière sont tracées sur le schéma **DR3**. Elles correspondent à un angle de  $+2^\circ$  et  $-10^\circ$  par rapport à l'axe horizontal passant par le centre de la liaison entre le plan horizontal et le fuselage.

Lorsque le plan horizontal arrière est à  $0^\circ$ , le **THSA** est vertical.

**Question n° 1-E :** (répondre sur le document **DR3**)

✍ Tracer sur l'épure du document **DR3**, les positions extrêmes de l'écrou **M**.

M1 correspond à la position de l'écrou lorsque  $\alpha = +2^\circ$

M2 correspond à la position de l'écrou lorsque  $\alpha = -10^\circ$

Vous laisserez apparaître votre tracé.

**Question n° 1-F :** (répondre sur la copie)

✍ Donner l'expression littérale de la course totale de l'écrou sur la vis lorsque  $\alpha$  varie entre  $-10^\circ$  et  $+2^\circ$ . Calculer la valeur numérique de cette course de l'écrou sur la vis du **THSA**.

**Question n° 1-G :** (répondre sur la copie)

Le constructeur donne une course totale de l'écrou (avant impact sur les butées mécaniques en élastomère) égale à  $C_{écrou} = 1130$  mm.

✍ Vos résultats sont-ils compatibles avec la course donnée par le constructeur ?

**Identification des efforts mis en jeu.**

Les efforts aérodynamiques sur la voilure du plan horizontal arrière peuvent atteindre des valeurs très importantes au cours des différentes phases du vol.

Ces efforts varient en fonction de plusieurs paramètres.

La figure n° 17 du document **DT5** montre une modélisation simplifiée des efforts aérodynamiques s'exerçant sur la voilure du plan horizontal arrière. La résultante de ces efforts notée  $\vec{F}$  peut être décomposée en deux actions mécaniques :

- Force de portance  $\vec{F}_Z$  ;
- Force de trainée  $\vec{F}_T$ .

Seule la force de portance  $\vec{F}_Z$  sera prise en compte dans la suite de notre étude.

Le tableau et la courbe du document **DT2** montrent la variation de l'effort de portance  $F_z$  (en daN) en fonction de l'angle d'inclinaison du plan horizontal arrière ( $\alpha$  varie entre  $-10^\circ$  et  $+2^\circ$ ).

**Question n° 1-H :** (répondre sur la copie)

✍ À partir des données du document **DT2**, donner la valeur maximale de l'effort de portance  $F_z$ .

Une modélisation (logiciel de simulation mécanique) nous a permis de déterminer l'effort exercé sur l'écrou du **THSA** en fonction de l'effort de portance  $F_z$  (donc de l'angle d'inclinaison du plan horizontal arrière).

Hypothèses d'étude et modélisation :

- le plan  $(G, \vec{Y}, \vec{Z})$  est plan de symétrie géométrique ;
- les résultantes des efforts appartiennent au plan d'étude  $(G, \vec{Y}, \vec{Z})$  ;
- les poids des pièces sont négligés devant les efforts mis en jeu ;
- les liaisons sont supposées parfaites ;
- le point d'application de la résultante  $\vec{F}_Z$  est considéré comme fixe et se situe à  $d = 1,75$  m de l'axe de rotation du plan horizontal arrière (voir modélisation **DT5**).

**Question n° 1-I :** (répondre sur la copie)

Le système NoBack assurant l'irréversibilité du **THSA** reprend en totalité les efforts longitudinaux appliqués sur le **THSA**.

✍ À l'aide du document **DT2**, déterminer l'effort maximum exercé sur le système NoBack.

---

## PARTIE II

### Détermination de caractéristiques techniques du système à travers l'étude de fonctions

\*

Les objectifs de cette partie sont :

- de déterminer le temps  $t_{total}$  nécessaire pour un débattement angulaire total ( $12^\circ$ ) du plan horizontal arrière ;
- d'identifier les solutions constructives utilisées ;
- de définir leurs principales caractéristiques.

\*

### Étude de la fonction « Transmettre le mouvement »

#### Vérification des performances cinématiques du THSA

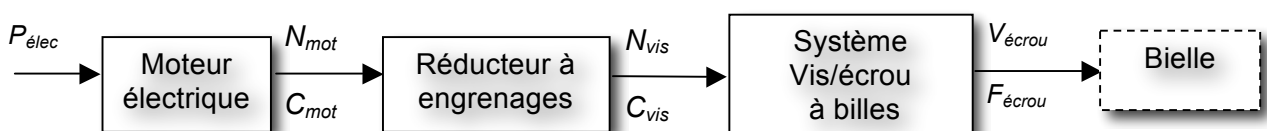
On souhaite déterminer la vitesse de déplacement de l'écrou.

Le document **DT3** présente les différentes caractéristiques des constituants de la chaîne d'énergie du **THSA**.

**Question n° 2-A :** (répondre sur votre copie)

✍ À partir du document **DT3** et de la description ci-dessous, déterminer la vitesse de rotation de la vis à billes du **THSA**.

Vous écrirez la formule littérale et vous préciserez vos calculs.



**Question n° 2-B :** (répondre sur la copie)

✍ À partir des données du document **DT3**, déterminer la vitesse de translation de l'écrou du **THSA**.

La course totale de l'écrou du **THSA**, pour débattement angulaire du plan horizontal arrière de  $12^\circ$  ( $\alpha$  varie entre  $-10^\circ$  et  $+2^\circ$ ) est égale à  $C_{écrou} = 1130$  mm.

**Question n° 2-C :** (répondre sur la copie)

✍ Calculer le temps  $t_{total}$  nécessaire pour un débattement angulaire total ( $12^\circ$ ) du plan horizontal arrière.

Le temps imposé par l'avionneur AIRBUS doit être compris entre 35 s et 40 s

**Question n° 2-D :** (répondre sur la copie)

✍ Le **THSA** répond-t-il au cahier des charges fixé par l'avionneur ?

L'actionneur électrique qui entraîne le système engrenage + vis à billes, est un moteur à courant continu sans balai.

Nous considérerons alors, pour la fonction distribuer (la commande de l'actionneur électrique du **THSA**), le schéma fonctionnel suivant (figure n° 12) :

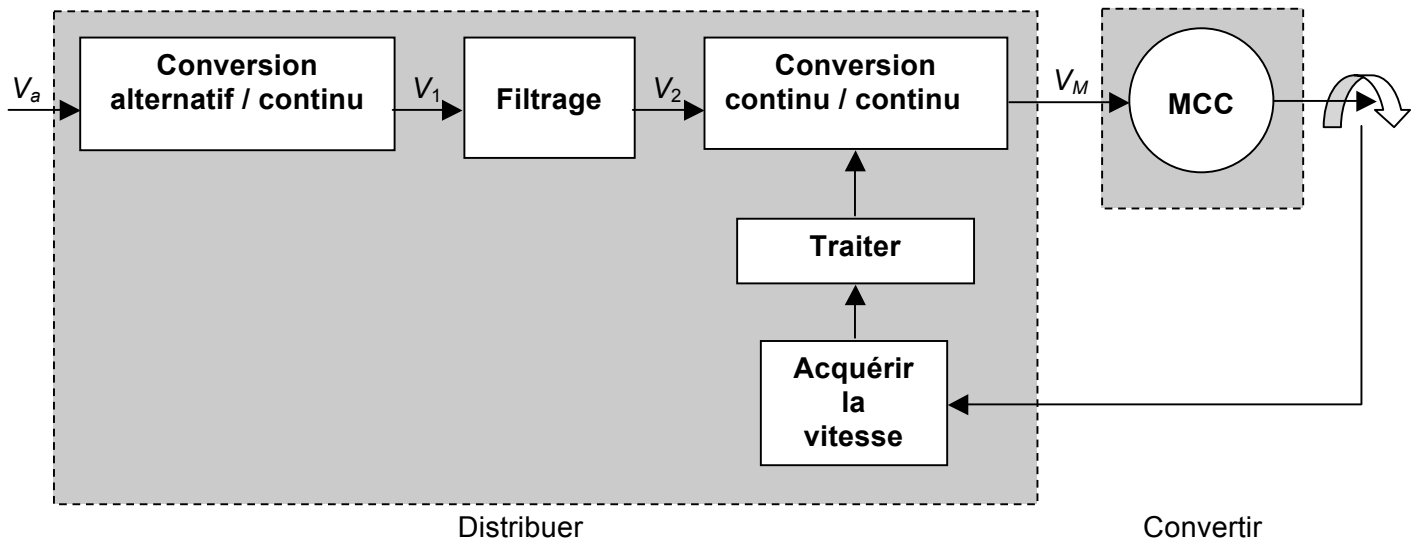


Figure n° 12

### Étude de la fonction « distribuer »

#### Étude de la fonction conversion alternatif / continu.

Cette fonction est réalisée par un redresseur triphasé à diodes.

Le document **DT6** présente la structure et les différentes caractéristiques du redresseur triphasé à diodes.

**Question n° 2-E :** (répondre sur la copie)

✍ Dans le cas d'un fonctionnement nominal (voir document **DT3**) et à partir du document **DT6** (figure n° 19), donner les valeurs minimale et maximale de  $V_1$ . Calculer la valeur moyenne  $V_{1\text{moy}}$ , et le facteur d'ondulation  $K_{V1}$  qui caractérise l'ondulation de la tension  $V_1$  autour de sa valeur moyenne.

**Question n° 2-F :** (répondre sur la copie)

✍ À partir des courbes du document **DT6** (figure n° 19), préciser combien de diodes sont passantes simultanément pour une période de  $V_1$ .

Donner la relation qui lie la fréquence de la tension  $V_1$ , à la fréquence de la tension  $V_a$ , et mettre la relation sous la forme  $f_{V1} = K \cdot f_{Va}$ .

Calculer alors la fréquence de la tension  $V_1$  dans le cas nominal de fonctionnement.

#### Étude de la fonction « filtrage »

Cette fonction, réalisée à l'aide d'une cellule L-C, est un filtre de lissage. Elle permet d'extraire la valeur moyenne de la tension  $V_1$  pour fournir une tension **continue** à la fonction conversion continu / continu.

**Question n° 2-G :** (répondre sur la copie)

✍ Quel doit être le type de filtre utilisé pour extraire la valeur moyenne de  $V_1$ , justifier votre réponse. Remplir le tableau  $V_2 = V_{1\text{moy}}$ , figure n° 22 du document réponse **DR4**.

### **Étude de la fonction conversion continu / continu.**

Cette fonction est réalisée à l'aide d'un hacheur en pont avec quatre transistors IGBT.  
La figure n° 23 du document réponse **DR4** représente le schéma électrique du pont en H.

**Question n° 2-H :** (répondre sur le document réponse **DR4**)

✍ Compléter le tableau de la figure n° 23 en indiquant l'état (bloqué ou saturé) de chaque transistor IGBT, pour les deux sens de rotation du moteur. Tracer en couleur sur la figure n° 23 les sens de circulation du courant  $I_M$ . Le moteur tourne dans le sens 1 quand  $V_M$  est positif.

Les chronogrammes du document réponse **DR4** nous donnent un exemple de stratégie de commande des transistors IGBT.

**Question n° 2-I :** (répondre sur le document réponse **DR4**)

✍ À partir des chronogrammes de la figure n° 24 du document réponse **DR4**, tracer l'évolution de la tension  $V_M$  aux bornes du moteur électrique.

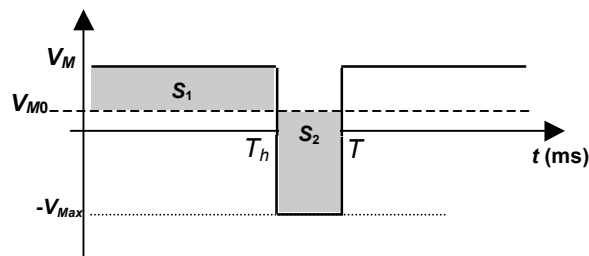
**Question n° 2-J :** (répondre sur la copie)

✍ Sachant que la valeur moyenne  $V_{M0}$  de la tension  $V_M$  contrôle la vitesse de rotation du moteur électrique, exprimer  $V_{M0}$  en fonction de  $V_2$  et du rapport cyclique  $\delta$ . Mettre l'expression sous la forme  $V_{M0} = K \cdot V_2$  avec  $K = f(\delta)$ .

Rappel :

Rapport cyclique  $\delta = T_h / T$

Calcul de  $V_{M0}$  par la méthode des aires :  $S_1 = S_2$



---

## **PARTIE III**

### **Vérification des caractéristiques et des performances de l'actionneur**

\*

Les objectifs de cette partie sont :

- de déterminer le couple moteur et le rendement du moteur au point de fonctionnement ;
- de vérifier la stabilité de la vitesse de rotation du moteur électrique, quelles que soient les variations de la tension  $V_a$  du réseau électrique alternatif triphasé ;
- de comparer le rendement de la chaîne d'énergie du circuit électrique à celui du circuit hydraulique.

\*

Une simulation informatique nous a permis de déterminer la puissance mécanique à fournir à la vis à billes afin d'obtenir le couple maximal. Ce couple dépend de l'effort maximal appliqué sur l'écrou à billes du **THSA**, du système Noback et de la configuration du **THSA** au cours du vol.

La puissance à fournir à la vis à billes est égale à  $P_{vis} = 4298 \text{ W}$ .

**Question n° 3-A :** (répondre sur la copie)

✍ À partir des données techniques de la chaîne d'énergie du document **DT3**, déterminer la puissance mécanique fournie par le moteur électrique pour obtenir  $P_{vis}$ .

**Question n° 3-B :** (répondre sur la copie)

✍ Déterminer le couple fourni par le moteur  $C_{moteur}$ .

**Question n° 3-C :** (répondre sur la copie)

✍ À partir de la courbe du document **DT4**, déterminer le point de fonctionnement pour  $N_0 = 12000 \text{ tr/min}$ .

Vous préciserez le rendement du moteur.

### Vérification des performances de la commande de vitesse du moteur électrique

L'asservissement de vitesse du moteur électrique impose, par l'électronique de commande du pont en H, une vitesse de rotation constante  $N_0 = 12000 \text{ tr/min}$ .

**Question n° 3-D :** (répondre sur la copie)

✍ À partir de la figure n° 20 et des caractéristiques du moteur, document **DT7**, calculer la valeur de la tension  $V_{M0}$  aux bornes du moteur assurant une vitesse de rotation de  $N_0 = 12000 \text{ tr/min}$ .

La fonction conversion continu / continu doit permettre l'obtention de la tension  $V_{M0}$  quelque soit la tension  $V_a$ .

### Conclusion

**Question n° 3-E :** (répondre sur la copie)

✍ En vous aidant des questions **2-I** et **2-J** et des chronogrammes de la figure n° 24 du document réponse **DR4**, comment fait-on varier le rapport cyclique  $\delta$  si la valeur de la tension  $V_a$  diminue ou augmente ?

Vérifier par le calcul des rapports cyclique  $\delta_{min}$  et  $\delta_{max}$ , pour les valeurs extrêmes de  $V_a$ , que la fonction conversion continu / continu permet bien l'obtention d'une tension  $V_{M0}$  constante.

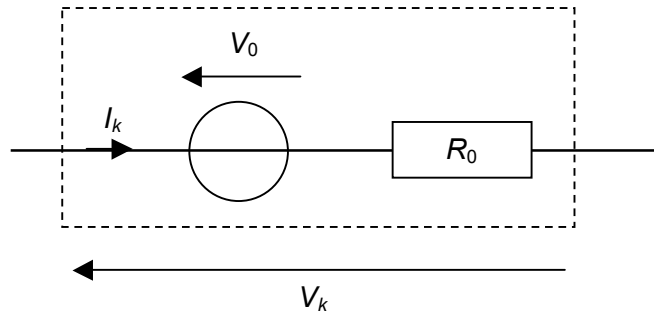
### Étude du rendement de la chaîne d'énergie

#### Étude du rendement de la fonction distribuer

La fonction distribuer est réalisée par des éléments de commutation de type transistor IGBT. La commutation et la conduction de ces composants engendrent des pertes que nous allons tenter de modéliser et de quantifier.

La représentation d'un transistor IGBT en mode passant est illustrée par la figure n° 13 (page 18/35).





**Figure n° 13 : Modèle simplifié d'un transistor IGBT en mode passant**

avec  $V_0$  la chute de tension en conduction (V)  
 $I_k$  le courant traversant le transistor IGBT (A)  
 $R_0$  la résistance interne du transistor IGBT ( $\Omega$ )  
 $V_k$  la tension aux bornes du transistor IGBT ( $V_{ce}$ )

et  $V_k = V_0 + R_0 \cdot I_k$

Sur la base du modèle ci-dessus on donne :

- l'expression des pertes par conduction correspondant à la puissance dissipée en mode passant :

$$P_{cond} = V_0 \cdot I_k + R_0 \cdot I_k^2$$

- l'expression estimée des pertes par commutation correspondant à la puissance dissipée lors de la commutation des transistors IGBT :

$$P_{com} = 0,5 \cdot V_k \cdot I_k \cdot f \cdot (t_{on} + t_{off})$$

avec  $f$  la fréquence de découpage (Hz)  
 $t_{on}$  le temps de fermeture du transistor IGBT (s)  
 $t_{off}$  le temps d'ouverture du transistor IGBT (s)

**Question n° 3-F :** (répondre sur la copie)

✍ À partir du tableau n° 1 du document **DT3** et des définitions précédentes et sachant que la fréquence de découpage est de  $f = 2$  kHz, calculer la puissance dissipée par un transistor IGBT. En déduire les pertes totales estimées  $P_{cc}$  du pont en H.

**Question n° 3-G :** (répondre sur la copie)

✍ À l'aide du document **DT7** (figure n° 21), donner la puissance  $P_{ac}$  dissipée par le redresseur triphasé à diodes.

**Question n° 3-H :** (répondre sur la copie)

✍ Sachant que la puissance perdue par le filtre est de  $P_f = 73$  W, déduire des questions **3-F** et **3-G** le rendement de la fonction « Distribuer ».

## Conclusion

**Question n° 3-I :** (répondre sur la copie)

✍ À l'aide de la figure n° 16 du document **DT3** qui donne les pertes du circuit hydraulique, donner le rendement du moteur hydraulique et le comparer au rendement du moteur électrique (voir question 3-C).

**Question n° 3-J :** (répondre sur la copie)

✍ À l'aide du document **DT3** et des réponses aux questions **3-H** et **3-I**, donner le rendement global de la chaîne d'énergie pour le circuit hydraulique, et le comparer au rendement global de la chaîne d'énergie pour le circuit électrique.

Conclure quant à l'utilisation croissante des systèmes électriques dans ce domaine d'application.

---

## PARTIE IV

\*

### Étude de la solution constructive « fixation du THSA au fuselage »

Les objectifs de cette 4<sup>e</sup> partie sont :

- d'analyser les éléments permettant de positionner le berceau primaire du **THSA** sur le bâti lié au fuselage ;
- de définir une solution assurant le guidage en rotation entre le berceau primaire du **THSA** et le fuselage.

\*

Voir documents réponses **DR5** et **DR6**.

Le **THSA** est fixé au fuselage au niveau de sa partie supérieure. Cette fixation comporte deux berceaux permettant la rotation suivant les deux axes X et Y (figure n° 15, page 22/35), seule la rotation autour de l'axe Z est supprimée. Cette fixation est appelée système de cardan.

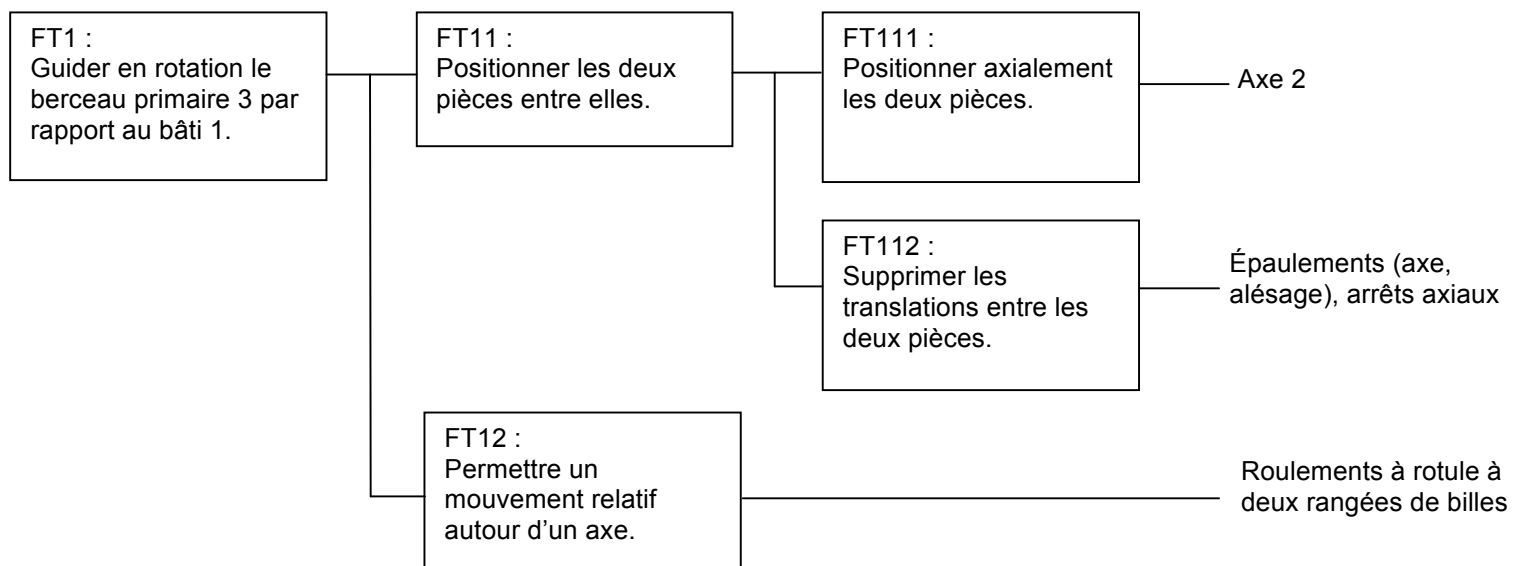
La figure n° 15, page 22/35, représente le schéma cinématique du système d'attache du **THSA** au fuselage.

La figure n° 14, page 20/35, montre le schéma de principe des deux berceaux.

On s'intéresse ici à la rotation autour de l'axe X du berceau primaire.

### Présentation de la fonction FT1 : Guider en rotation le berceau primaire du THSA par rapport au fuselage.

La réalisation de la fonction FT1 peut être décrite à l'aide du diagramme ci-dessous.



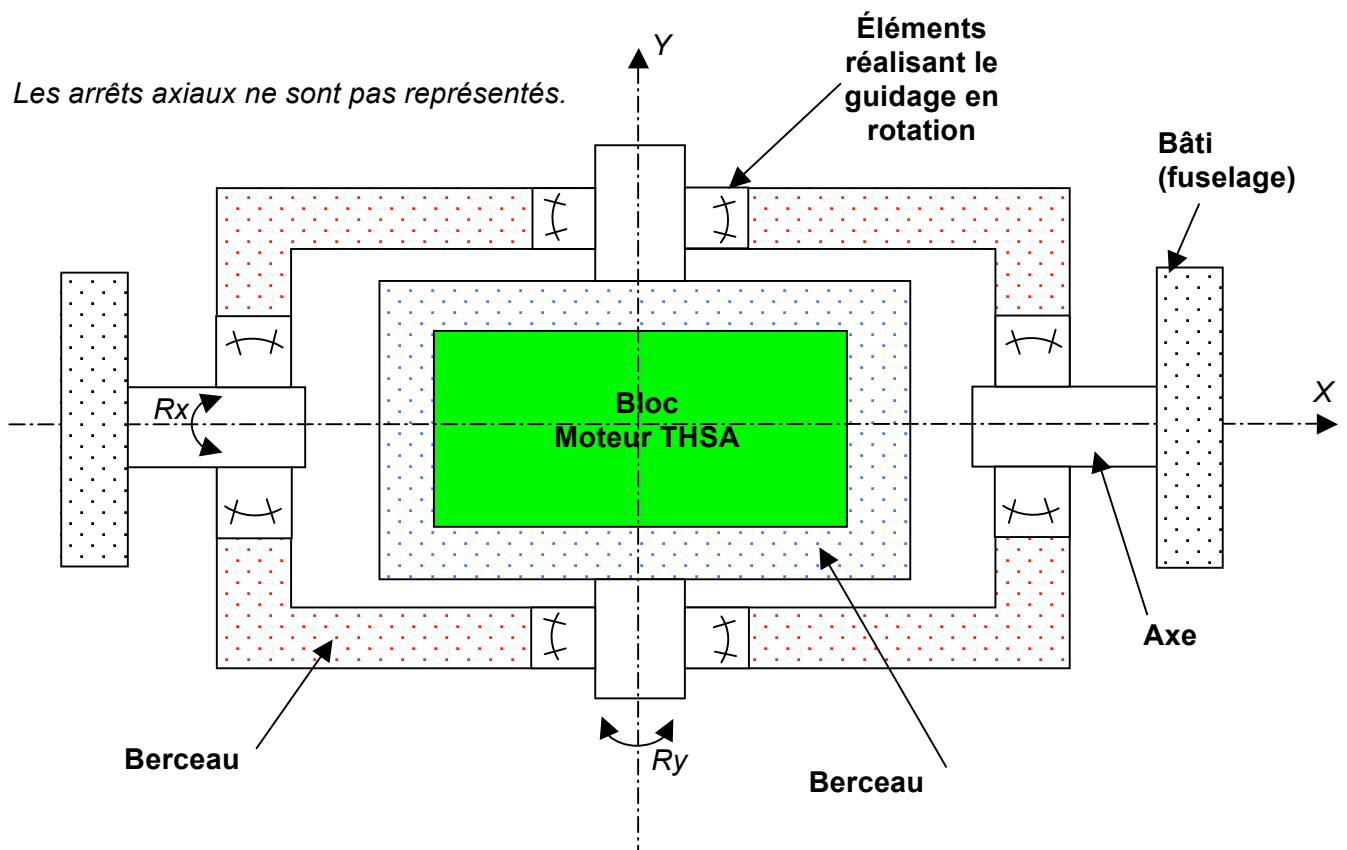


Figure n° 14 : coupe transversale vue de dessus

**Question n° 4-A :** (répondre sur le document réponse **DR5**)

✍ Colorier les surfaces fonctionnelles sur la vue éclatée du document réponse **DR5** suivant le code de couleur défini dans le tableau ci-dessous (en l'absence des couleurs citées, il est possible d'utiliser un autre codage qui sera alors précisé) :

Remarque : seules les surfaces visibles seront coloriées.

Type de surfaces fonctionnelles	Fonction	Couleur
Cylindrique	Positionnement des roulements à rotule dans le berceau primaire du <b>THSA</b>	Vert
Cylindrique	Positionnement des axes 2 dans les roulements à rotule	Rouge
Cylindrique	Positionnement de l'axe 2 dans le bâti 1 lié au fuselage	Jaune
Plane	Arrêt axial des roulements dans le bâti1	Bleu
Plane	Arrêt axial de l'axe 2 dans le bâti 1	Violet

**Question n° 4-B :** (répondre sur la copie)

Toutes les surfaces fonctionnelles coloriées précédemment sont considérées en contact (berceau primaire assemblé sur le bâti 1 du fuselage).

✍ À l'aide du repère donné document **DR5**, préciser les degrés de liberté supprimés.

### **Recherche de solution pour la réalisation de la fonction FT112 :**

Lors du montage des éléments à positionner (axe, roulements, berceau primaire) par rapport au bâti, il est nécessaire de réaliser la fonction **FT112** afin de maintenir les surfaces fonctionnelles axiales en contact.

**Question n°4-C :** (répondre sur le document **DR6**)

✍ Définir, **à main levée** sur le document réponse **DR6**, une solution pour assurer la fonction FT112 en **respectant les contraintes suivantes** :

- pour des raisons de maintenance (démontage du **THSA**), les opérations de montage/démontage devront être simplifiées au maximum et pourront être réalisées avec un outillage classique ;
- le principe de solution sera identique de chaque côté de berceau primaire. Nous nous limiterons donc à la représentation de la solution d'un seul côté ;
- utilisation le plus possible de composants standard ;
- le berceau secondaire (monté sur le berceau primaire) doit pouvoir pivoter de  $\pm 4^\circ$ . La solution définie ne doit pas dépasser la zone définie (**trait mixte sur le document DR6**) afin de ne pas interférer à ce mouvement.

Remarque :

*Ne pas hésiter à préciser votre solution en ajoutant sur le document DR6 toutes les annotations nécessaires à une bonne compréhension.*

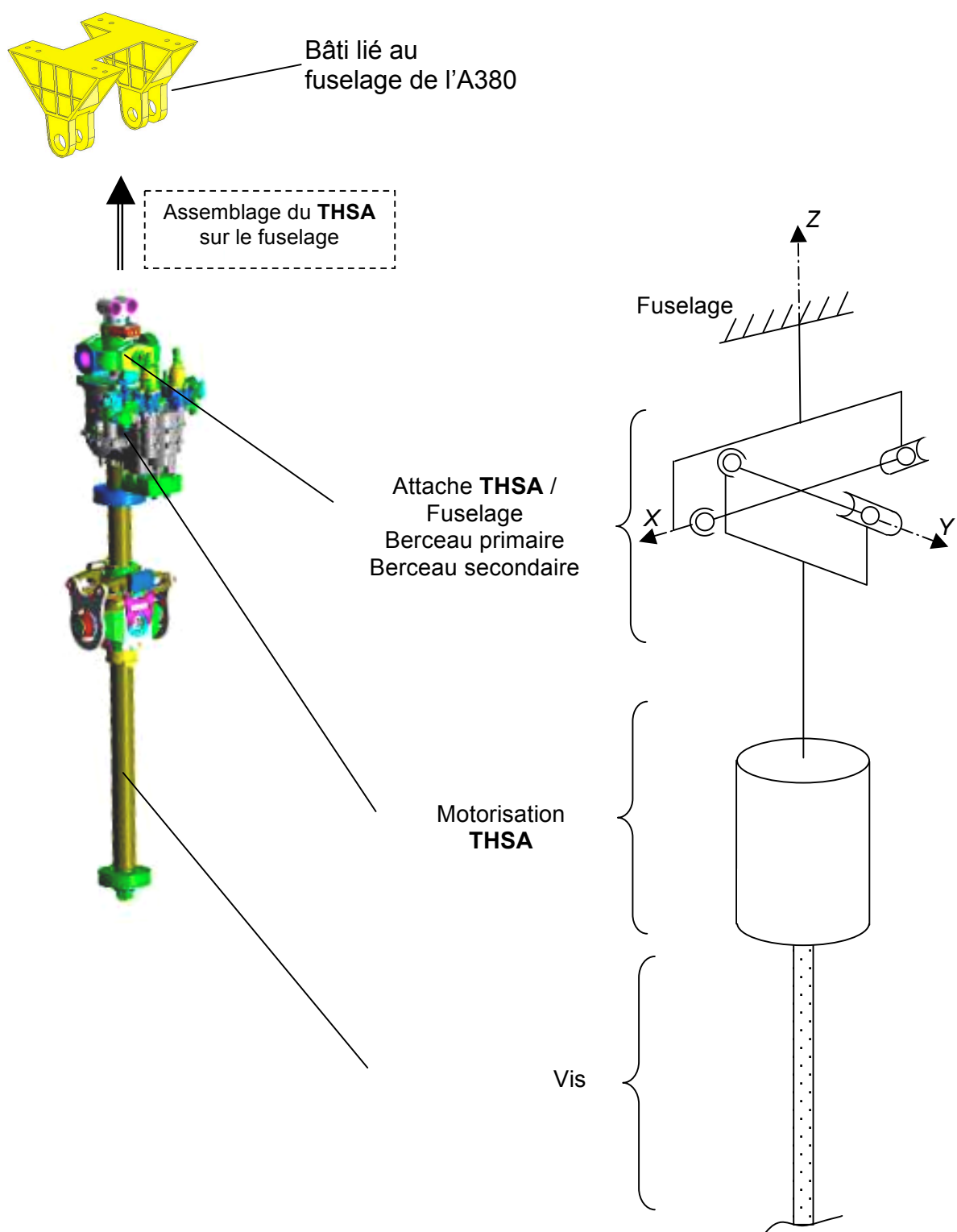


Figure n° 15 : schématisation cinématique fixation THSA / fuselage

Fin du dossier « Travail demandé »

## **Présentation AIRBUS A380**

L'airbus A380 est un avion de ligne gros porteur long-courrier produit par Airbus filiale d'EADS. Il possède quatre moteurs et un double pont. Projet européen, il est construit principalement en Allemagne, Espagne, France et Royaume-Uni. Il est assemblé en France à Toulouse.

L'A380-800, la version passager, peut transporter de 555 à 853 passagers suivant la configuration (3 classes standards ou classe économique unique). L'A380-800F, la version cargo, peut emporter jusqu'à 150 tonnes de fret.

L'A380-800 a une autonomie de 15 200 kilomètres, ce qui lui permet de voler de New York jusqu'à Hong Kong sans escale, à la vitesse de 900 km/h (Mach 0,85).

### **Données techniques**

Équipage : 2  
Capacité : 555 à 853 personnes  
Longueur : 73 m  
Envergure : 79,8 m  
Hauteur : 24 m  
Surface totale des ailes : 845 m<sup>2</sup>  
Masse maxi au décollage : 560 000 kg  
Vitesse de croisière : Mach 0,85  
Autonomie : 15 200 km  
Altitude de croisière : 13 115 m  
Kérosène : 310 000 L



Cockpit de l'A380

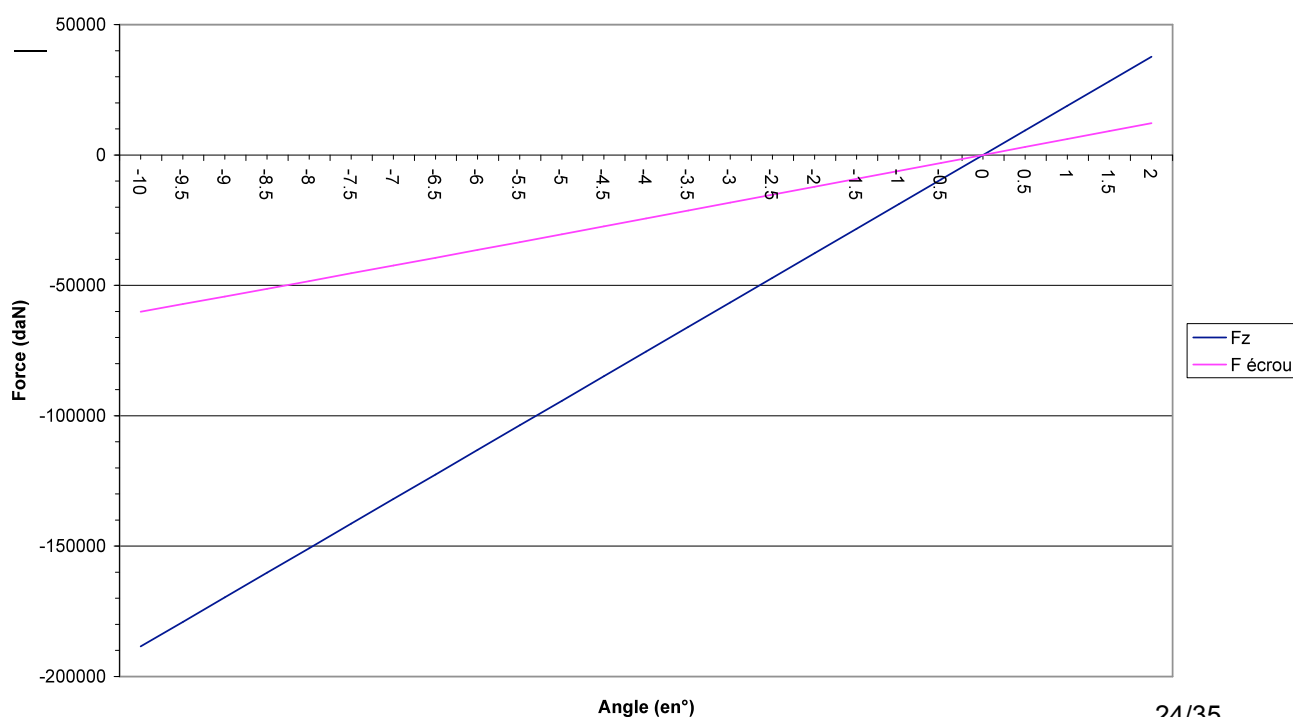




**$F_z$  et  $F_{\text{écrou}}$  en fonction de l'angle  $\alpha$** 

$\alpha$	S	$\rho$	V	Cz	Fz	d	F écrou
Angle (°)	Surface (m²)	densité air	Vitesse (m/s)	Cz	Fz (daN)	d (m)	F écrou (daN)
-10	220	0,25	250	-1,0966229	-188482,061	1,75	-60098,5272
-9,5	220	0,25	250	-1,04179175	-179057,957	1,75	-57179,2782
-9	220	0,25	250	-0,98696061	-169633,854	1,75	-54246,8852
-8,5	220	0,25	250	-0,93212946	-160209,751	1,75	-51302,0304
-8	220	0,25	250	-0,87729832	-150785,648	1,75	-48345,3972
-7,5	220	0,25	250	-0,82246717	-141361,545	1,75	-45377,6708
-7	220	0,25	250	-0,76763603	-131937,442	1,75	-42399,5376
-6,5	220	0,25	250	-0,71280488	-122513,339	1,75	-39411,6855
-6	220	0,25	250	-0,65797374	-113089,236	1,75	-36414,8035
-5,5	220	0,25	250	-0,60314259	-103665,133	1,75	-33409,5817
-5	220	0,25	250	-0,54831145	-94241,0303	1,75	-30396,7115
-4,5	220	0,25	250	-0,4934803	-84816,9272	1,75	-27376,885
-4	220	0,25	250	-0,43864916	-75392,8242	1,75	-24350,7954
-3,5	220	0,25	250	-0,38381801	-65968,7212	1,75	-21319,1366
-3	220	0,25	250	-0,32898687	-56544,6182	1,75	-18282,6031
-2,5	220	0,25	250	-0,27415572	-47120,5151	1,75	-15241,8903
-2	220	0,25	250	-0,21932458	-37696,4121	1,75	-12197,6938
-1,5	220	0,25	250	-0,16449343	-28272,3091	1,75	-9150,70981
-1	220	0,25	250	-0,10966229	-18848,2061	1,75	-6101,63495
-0,5	220	0,25	250	-0,05483114	-9424,10303	1,75	-3051,16602
0	220	0,25	250	0	0	1,75	0
0,5	220	0,25	250	0,05483114	9424,10303	1,75	3051,16602
1	220	0,25	250	0,10966229	18848,2061	1,75	6101,63495
1,5	220	0,25	250	0,16449343	28272,3091	1,75	9150,70981
2	220	0,25	250	0,21932458	37696,4121	1,75	12197,6938

**$F_z$  et  $F_{\text{écrou}} = f(\text{angle inclinaison plan horizontal arrière})$**



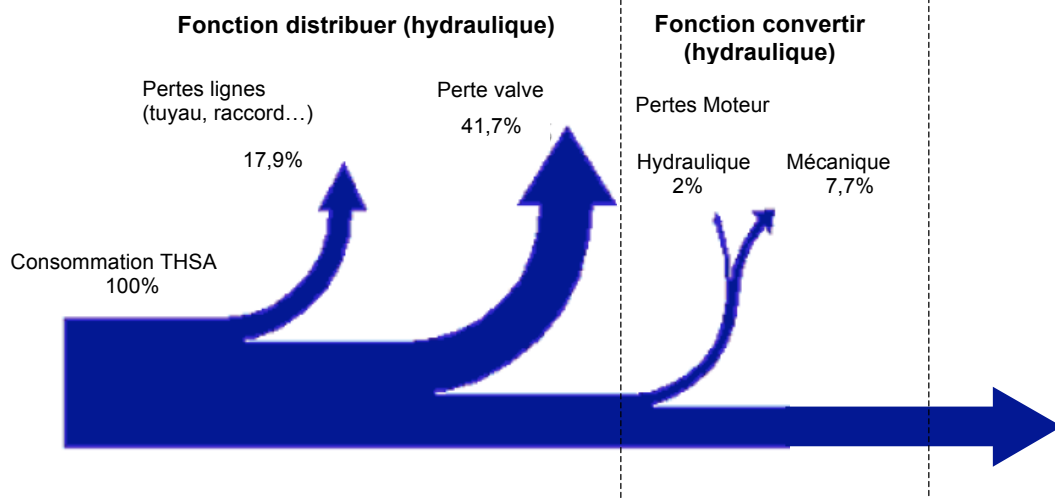
## Caractéristiques des constituants de la chaîne d'énergie

Constituant	Caractéristiques		
Moteur électrique		Valeur nominale	Valeurs extrêmes
	Tension	115 V	88 V à 130 V
	Fréquence	400 Hz	390 Hz à 800 Hz
	$N_{Moteur} = 12000 \text{ tr/min}$		
Réducteur à engrenages	$R = 1 / 240$ $\eta_{réducteur} = 0,9 \text{ (90\%)}$		
NoBack			
Vis-écrou à billes	$p = 35 \text{ mm}$ $\eta_{vis/écrou} = 0,9 \text{ (90\%)}$		

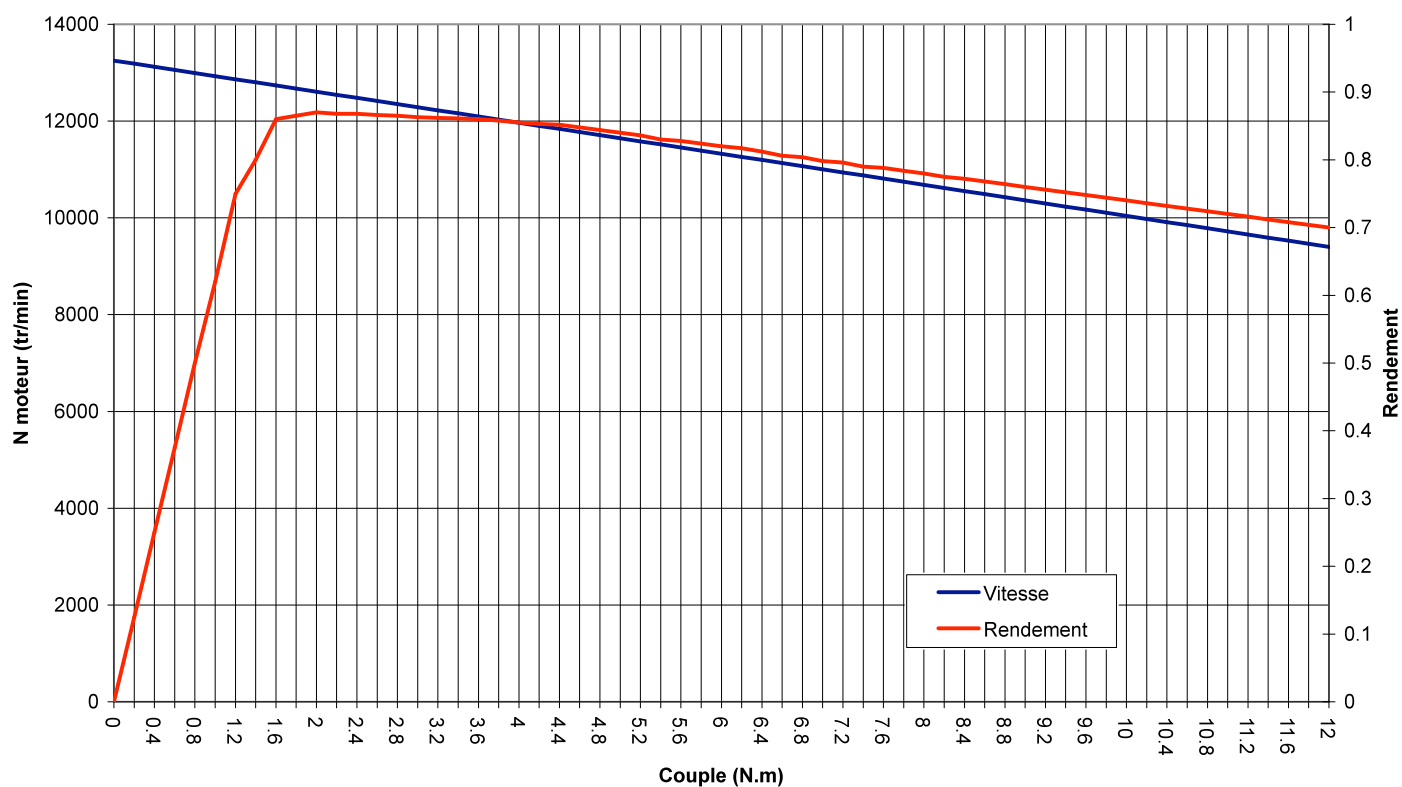
Tableau n° 1 : Caractéristiques électriques des transistors IGBT

Items	Symbol	Typ.	Unités
Tension de seuil	$V_0$	2,3	V
Résistance interne	$R_0$	0,025	$\Omega$
Turn-on time	$t_{on}$	0,35	$\mu\text{s}$
Turn-off-time	$t_{off}$	0,45	$\mu\text{s}$

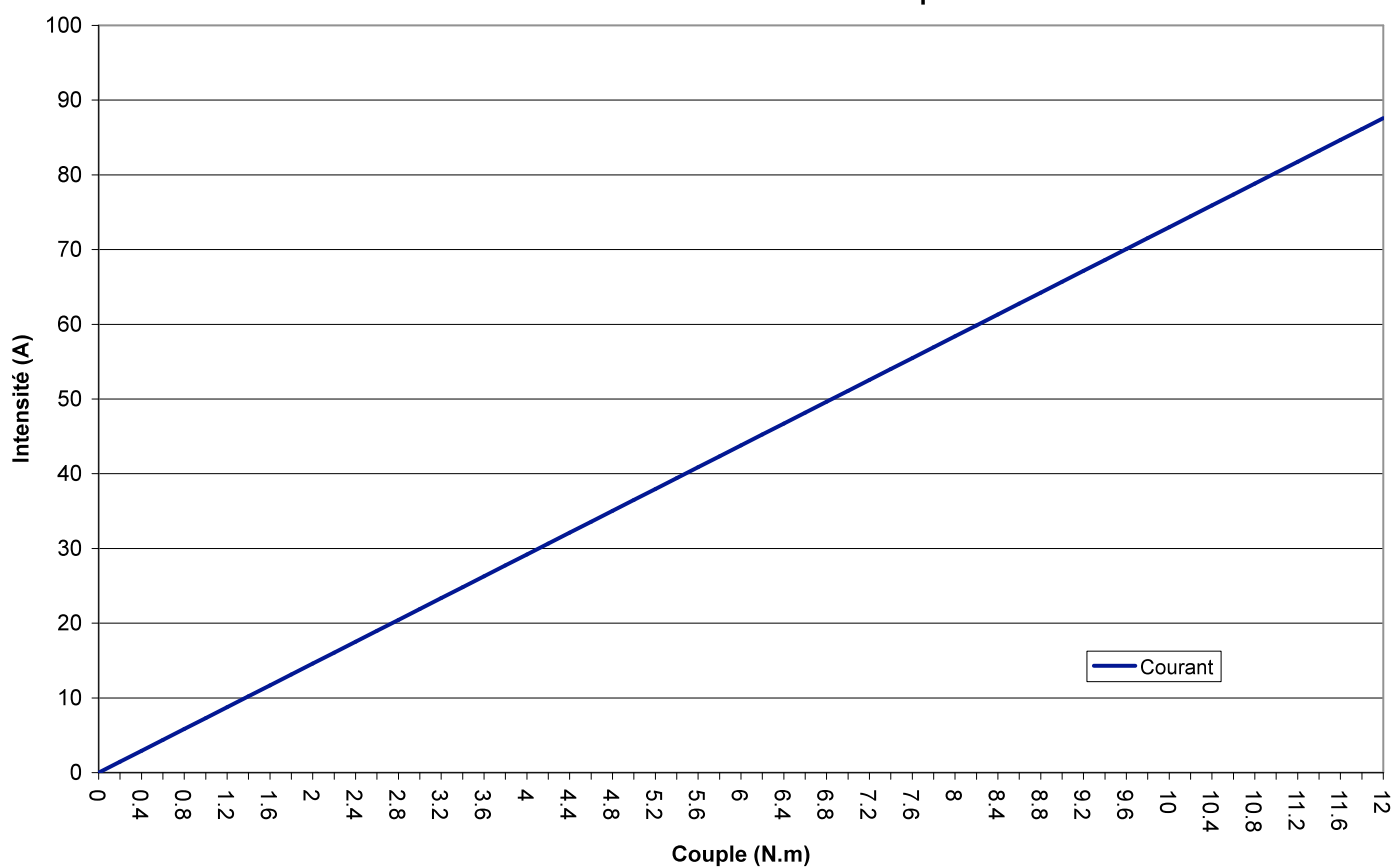
Figure n° 16



## Caractéristiques Moteur électrique



## Intensité absorbée - Moteur électrique



Effort de portance  $F_z$

Profil du plan horizontal arrière

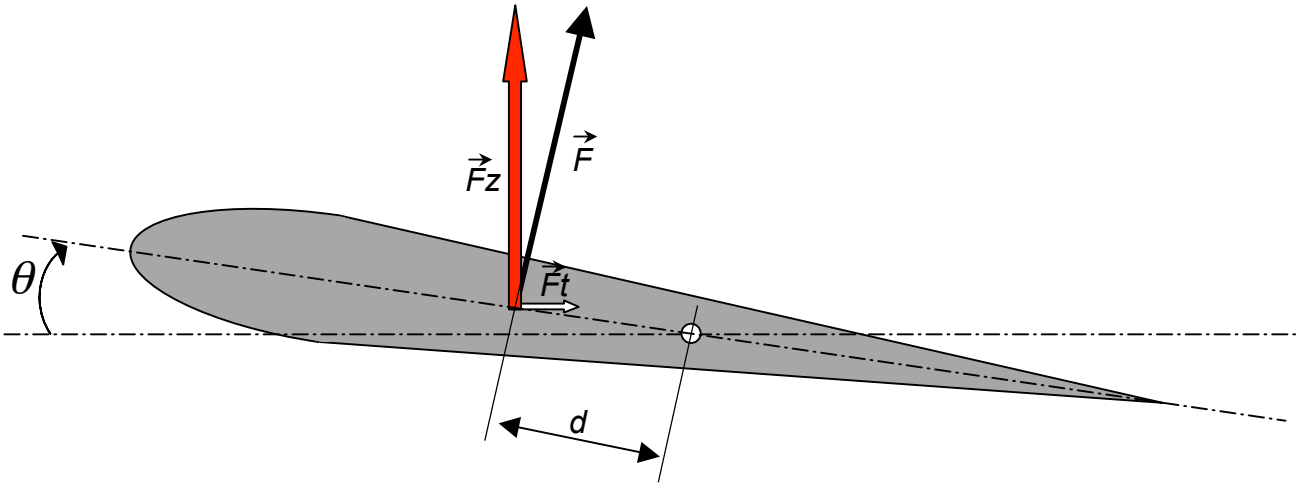


Figure n° 17

Formule générale de l'effort de portance  $F_z$

$$F_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_z$$

Données :

Désignation	Nature	Caractéristiques
$\rho$	Densité de l'air	$\rho = 0,25 \text{ kg/m}^3$ à 13000 m d'altitude
$S$	Surface totale de la voilure du plan horizontal arrière	$S = 220 \text{ m}^2$ pour l'A380
$V$	Vitesse d'avance de l'avion	$V = 250 \text{ m/s}$ (soit 900 km/h)
$C_z$	Coefficient de portance : Varie en fonction de l'angle $\theta$	$C_z = 2\pi\theta$ ( $\theta$ en radians)
$d$	Distance	$d = 1,75 \text{ m}$

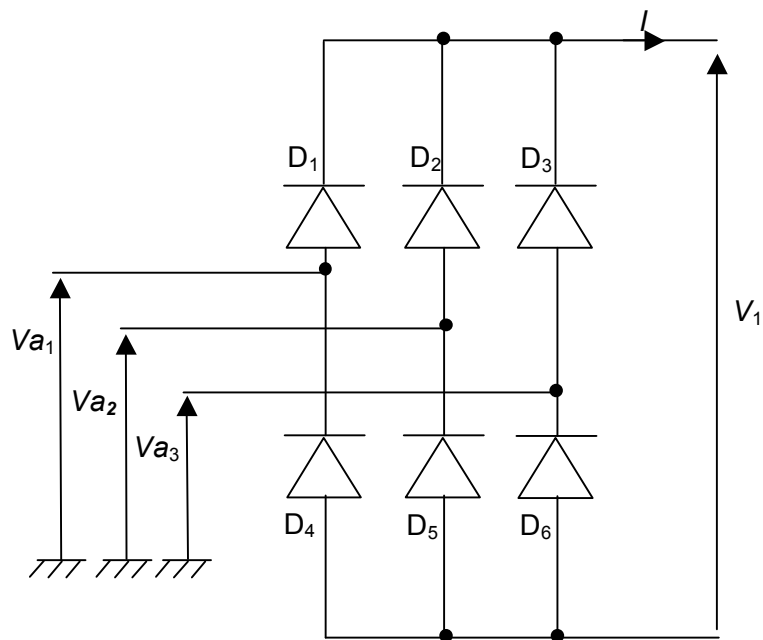


Figure n° 18 : Structure d'un redresseur triphasé à diodes

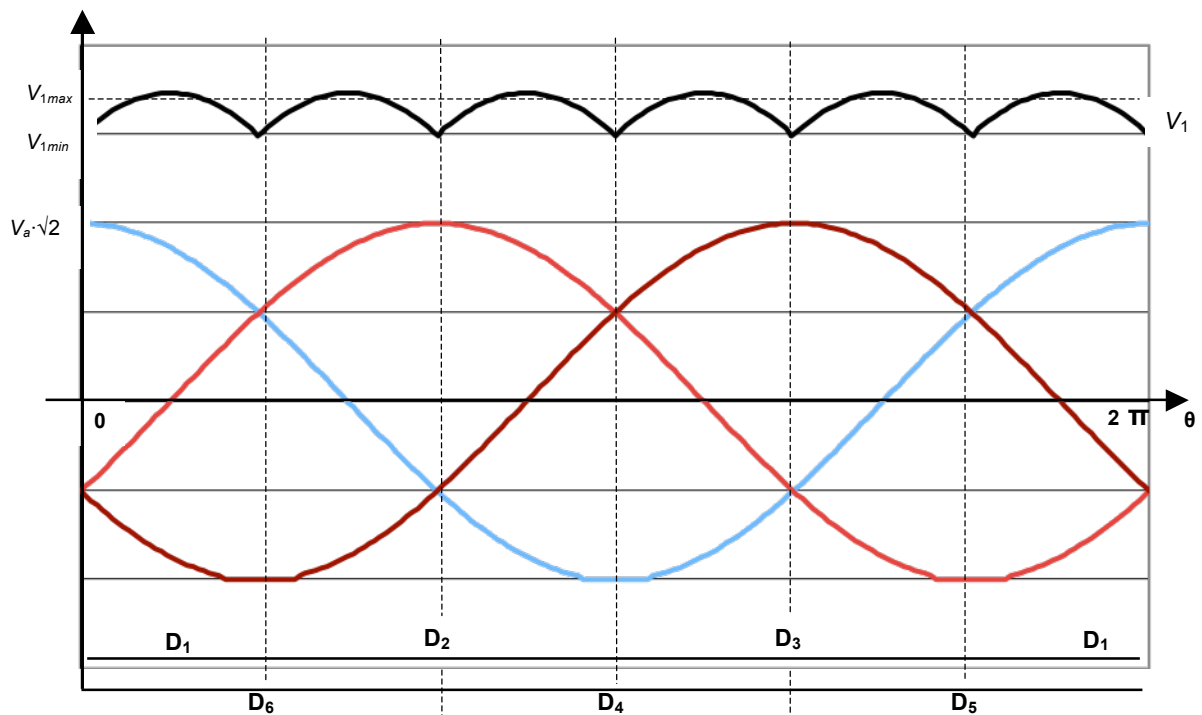


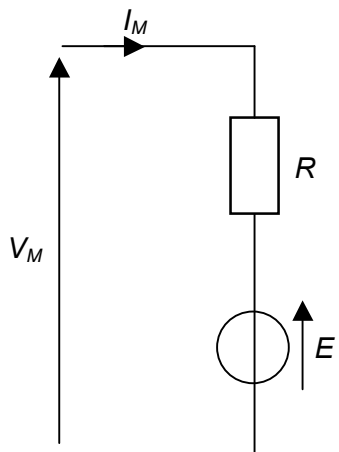
Figure n° 19 : Courbes de fonctionnement du redresseur triphasé

$$V_{1min} = \frac{3\sqrt{2}}{2} \cdot V_a$$

$$V_{1max} = \sqrt{6} \cdot V_a$$

$$V_{1moy} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot V_a$$

$$K_v = \frac{V_{1max} - V_{1min}}{2 \cdot V_{1moy}}$$



Rappel

$$E = K_e \cdot \Omega$$

$$C_M = K_c \cdot I_M$$

$$V_M = E + R \cdot I_M$$

$$K_e = 0,137 \text{ V/rad/s}$$

$$K_c = 0,137 \text{ Nm/A}$$

$$R = 0,85 \Omega$$

$\Omega$  = taux de rotation en rad/s

$V_M$  = tension aux bornes du moteur (V)

$I_M$  = courant traversant le moteur (A)

Figure n° 20 : Schéma équivalent du moteur électrique

### Redresseur triphasé à diodes

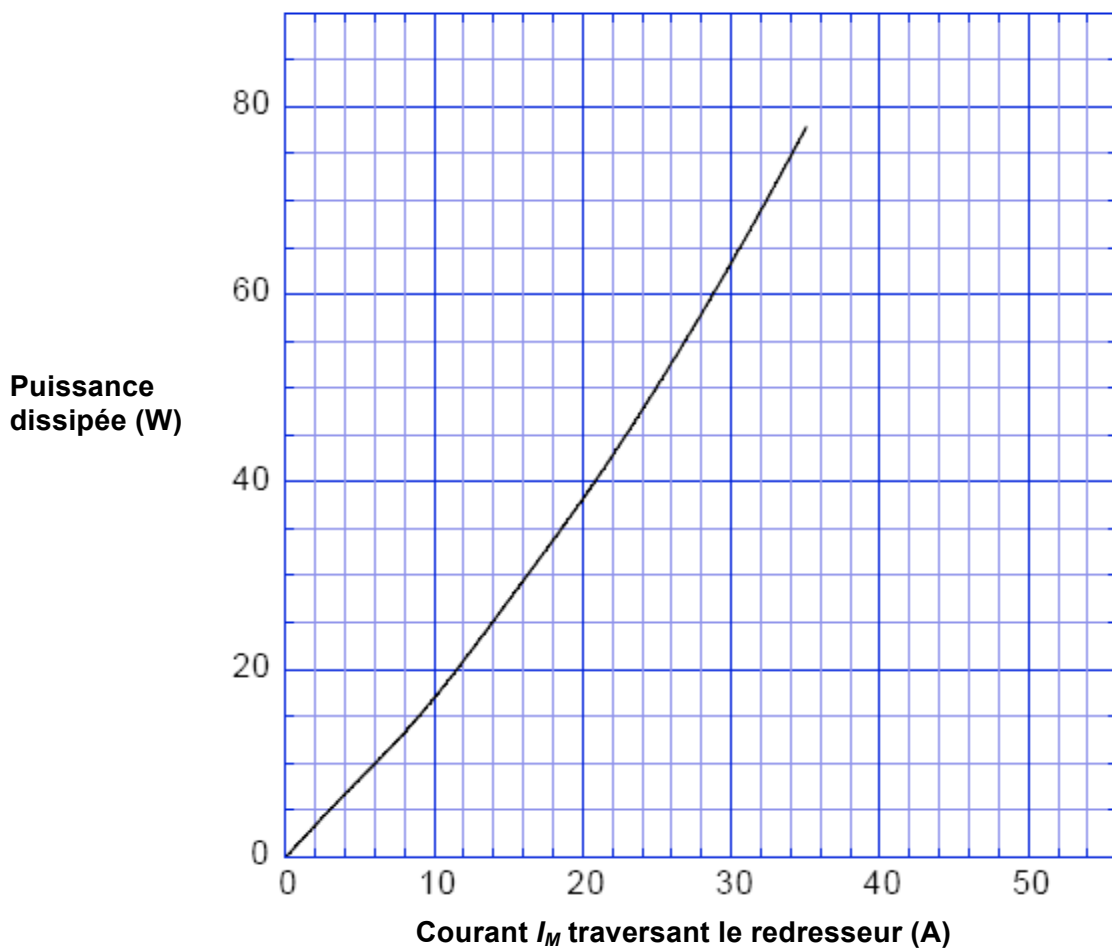
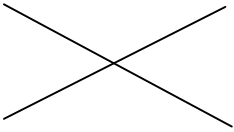


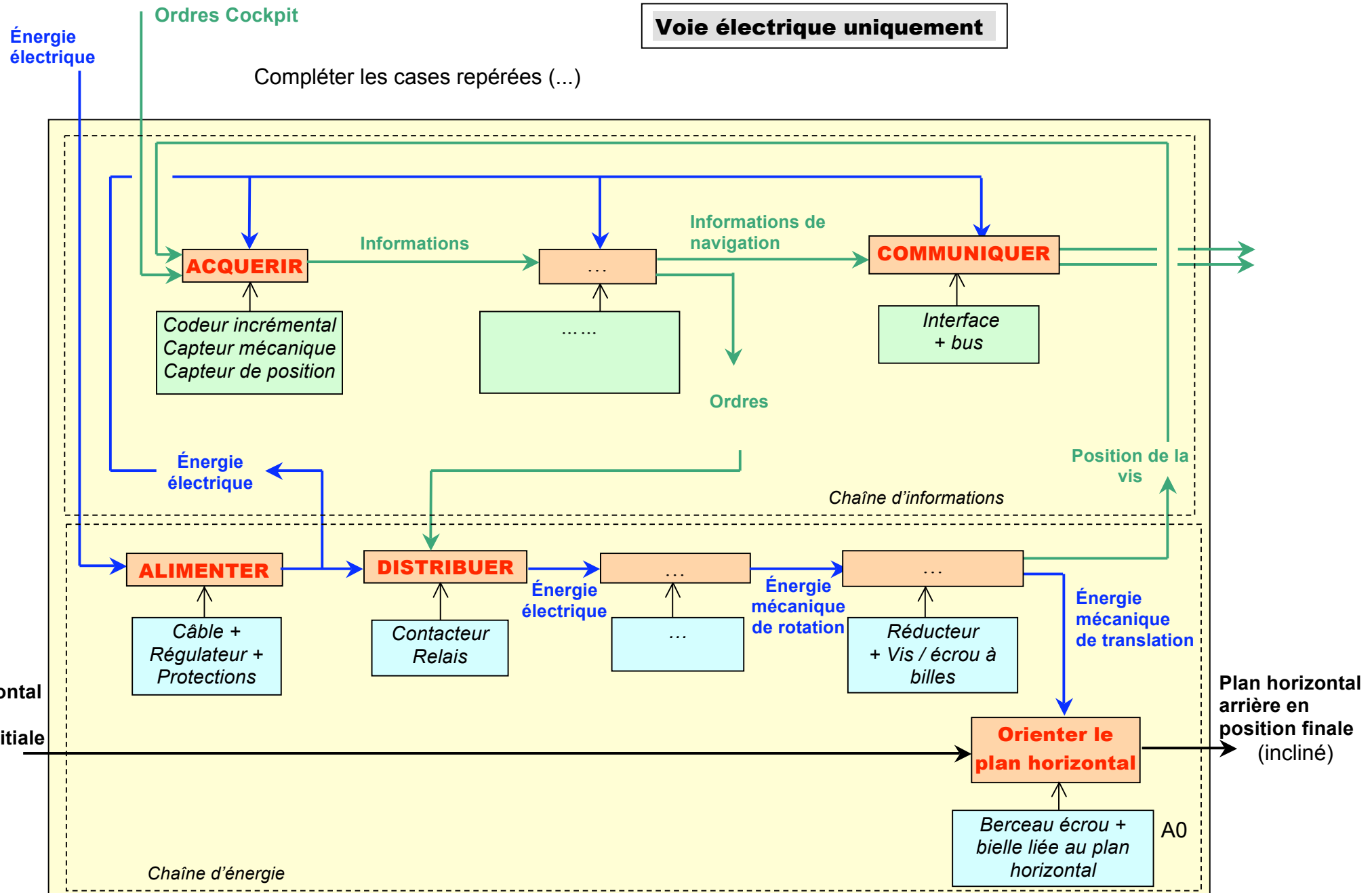
Figure n° 21 : Caractéristiques électriques du redresseur triphasé à diodes

Question n° 1-A     Seule la voie électrique est étudiée

FONCTION	Nom du constituant assurant cette fonction	Nature de la grandeur d'entrée	Nature de la grandeur de sortie
TRAITER les informations		Signal électrique	Signal électrique
CONVERTIR l'énergie électrique en énergie mécanique			
	Réducteur à engrenages		
TRANSMETTRE l'énergie mécanique de rotation	Système d'irréversibilité NoBack		
TRANSFORMER le mouvement de rotation en mouvement de translation			Énergie mécanique de translation $F$ (force), $V$ (vitesse)

## Voie électrique uniquement

Compléter les cases repérées (...)





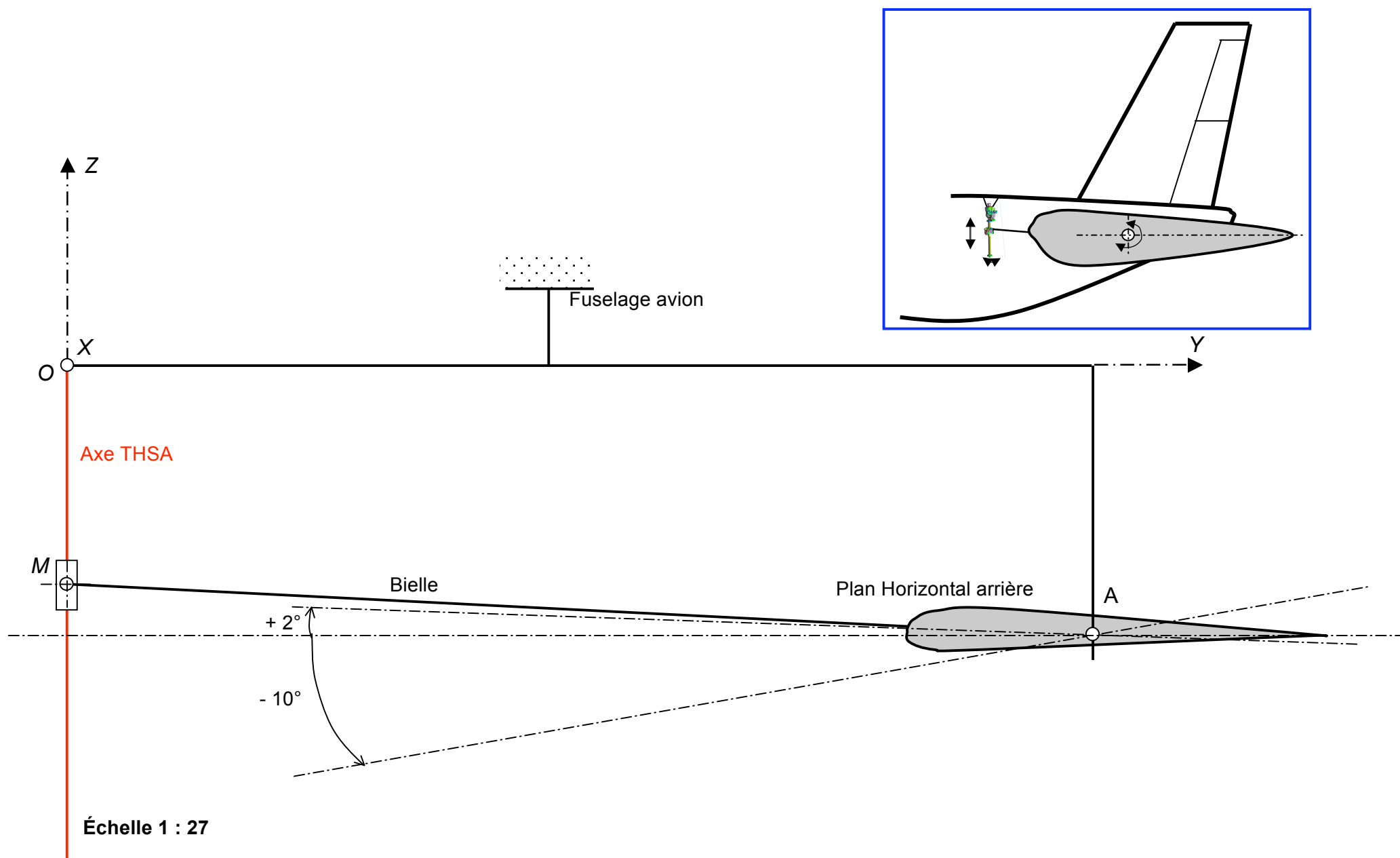
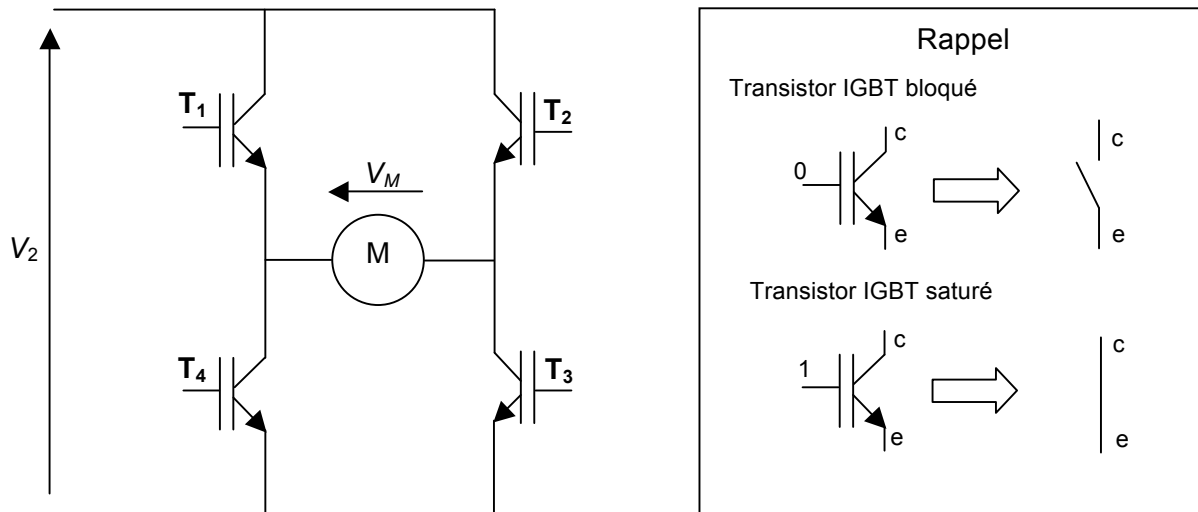


Figure n° 22

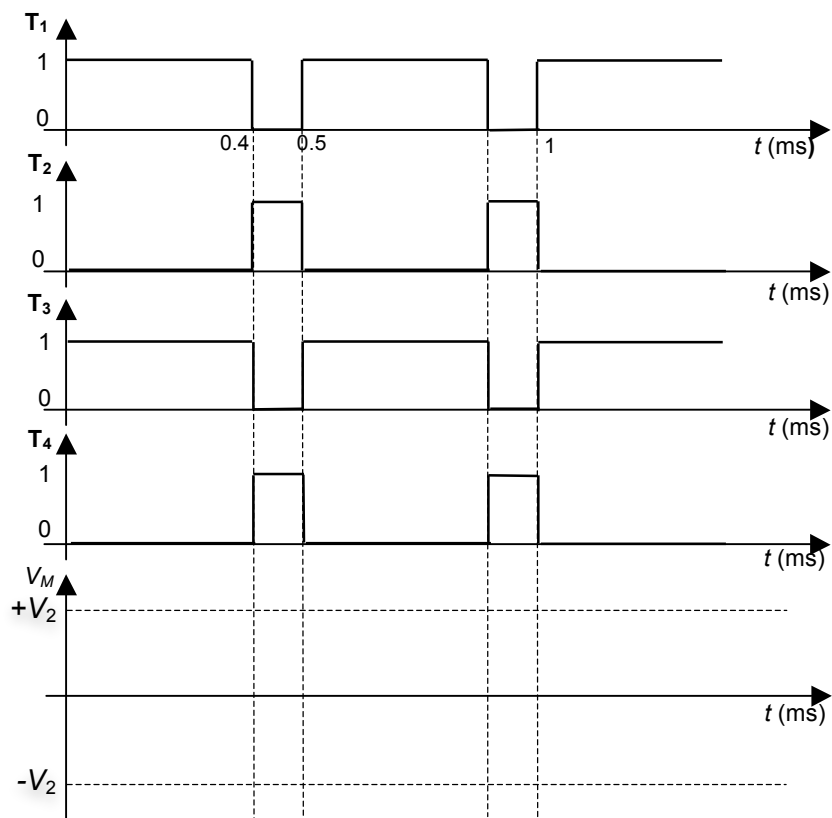
	minimale	nominale	maximale
$V_a$ (V)	88	115	130
$V_2$ (V)			

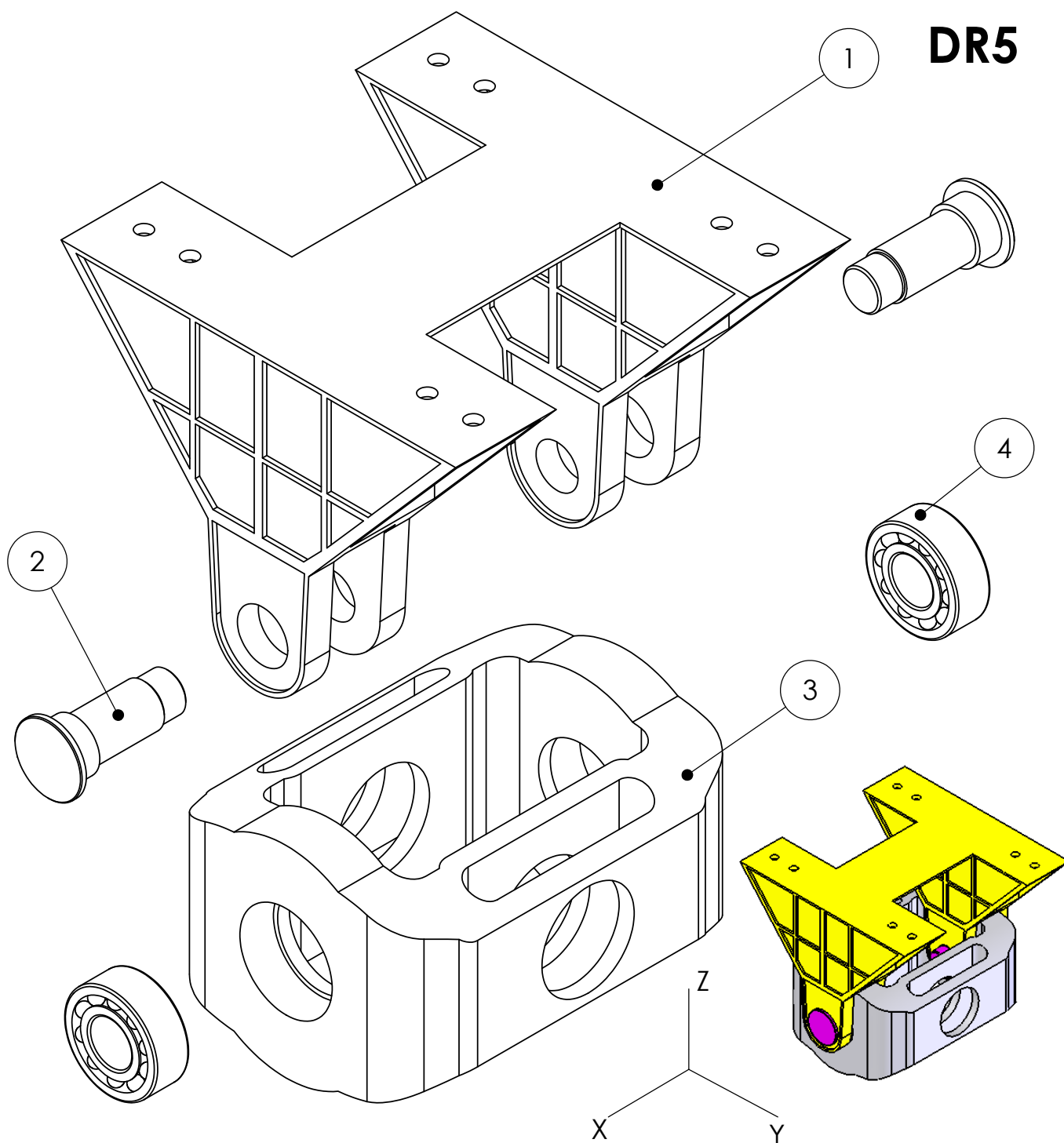
Figure n° 23 : schéma électrique du pont en H

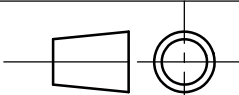


	État de $T_1$	État de $T_2$	État de $T_3$	État de $T_4$
Sens 1				
Sens 2				

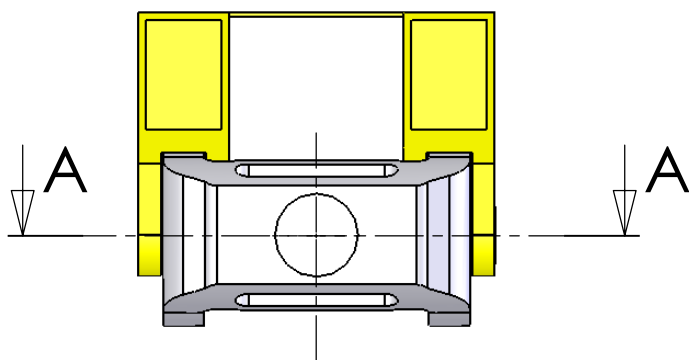
Figure n° 24 : Chronogrammes de commande des transistors IGBT



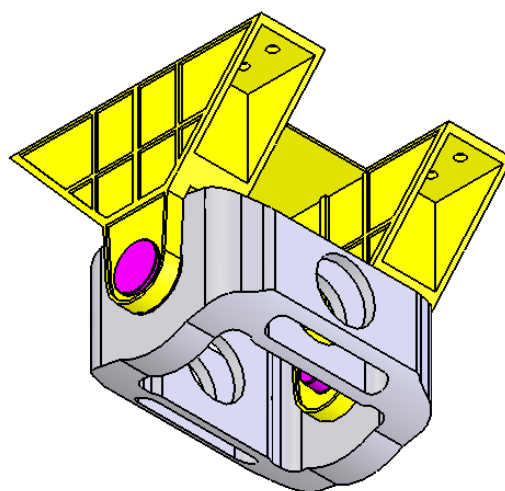
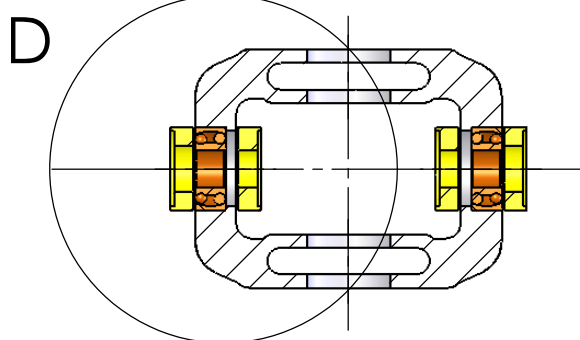
**DR5**

4	2	Roulement à rotule à billes		50-110-40
3	1	Berceau primaire		
2	2	Axe		
1	1	Bati (lié au fuselage de l'A380)		Lié au fuselage
REP.	NB.	DESIGNATION	MATIERE	OBS.
Echelle : ND		Liaison Fuselage - Berceau primaire THSA	<b>DR5</b>	Fichier :
			Session 2009	
Format : A4		Baccalauréat S Sciences de l'ingénieur		Page 34/35

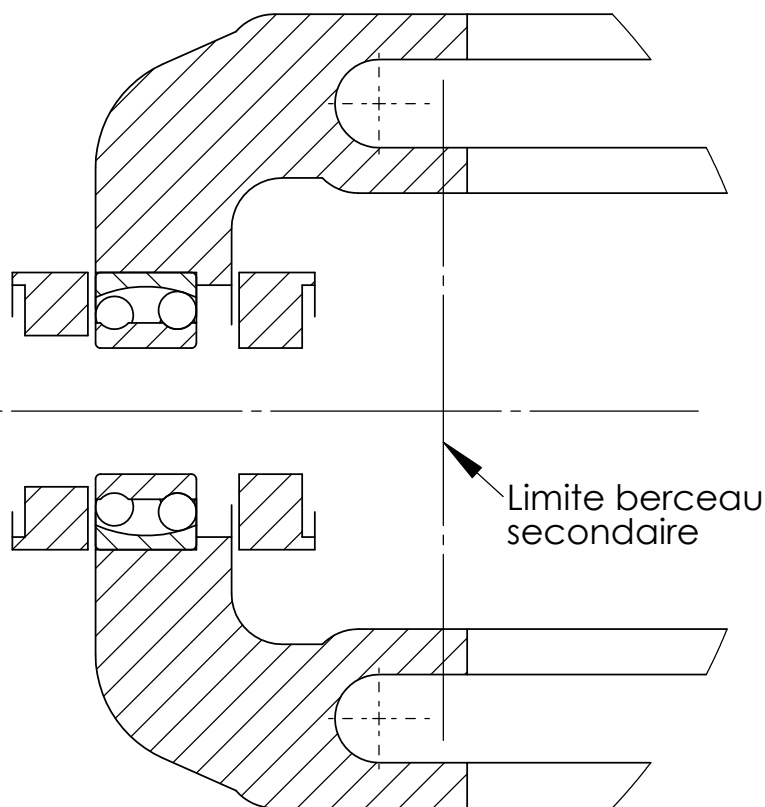
# DR6

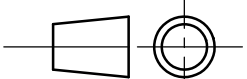


COUPE A-A



DÉTAIL D



REP.	NB.	DESIGNATION	MATIERE	OBS.
Echelle : ND		Liaison Fuselage - Berceau primaire THSA	DR6	Fichier :
			session 2009	
Format : A4			Baccalauréat S Sciences de l'Ingénieur	
				Page 35/35