

BTS

CONCEPTION ET RÉALISATION DE SYSTÈMES AUTOMATIQUES

U32 – SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES APPLIQUÉES

2020

SUJET

**Durée : 2 h 00 - Coefficient : 2
Barème sur 20 points**

**L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de calculatrice sans mémoire « type collègue » est autorisé.**

**La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront
dans l'appréciation des copies.**

IMPORTANT

**Ce sujet comporte 14 pages.
Les documents-réponses pages 13 et 14 sont à rendre avec la copie.**

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	1/14

AIRBUS A320NEO



Site Airbus : <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family/a320neo.html>

Mise en situation

Le but de ce sujet est d'étudier l'Airbus A320neo mis en service en 2016 et successeur de l'Airbus A320. L'A320neo est plus silencieux et plus économe en carburant.

Dans la première partie, l'étude portera sur le stockage et la distribution de l'énergie dans l'avion. Puis, dans la seconde partie, l'étude portera sur la surveillance des vibrations des moteurs à l'aide de capteurs de vibrations (accéléromètres piézoélectriques) installés sur les turboréacteurs de l'avion. Enfin, dans la dernière partie, l'étude portera sur la mécanique du vol et sur le guidage de la trajectoire de l'avion à l'aide de sa gouverne de profondeur.

Caractéristiques de l'avion

DIMENSIONS

- Envergure : 38,80 m
- Longueur : 37,57 m
- Hauteur : 11,76 m

MOTEURS

- Motorisation : 2 moteurs LEAP-1
- Poussée au décollage : $2 \times 143 \text{ kN}$
- Poussée continue maximale : $2 \times 141 \text{ kN}$

MASSSES

- Masse à vide : 64,3 t
- Masse maximale au décollage : 79 t
- Masse maximale à l'atterrissage : 67,4 t
- Capacité du réservoir : 26 730 L

PERFORMANCES

- Vitesse de croisière : 840 km/h
- Altitude maximale : 11 900 m
- Distance franchissable : 6 300 km
- Nombre de passagers : 30 en première classe et 150 en seconde classe

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	2/14

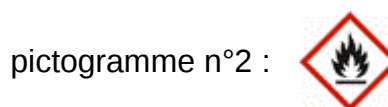
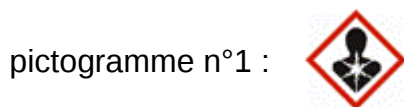
Partie 1. Stockage et distribution de l'énergie dans l'avion (7 points)

1.1. Le carburant

Un avion Airbus A320neo peut transporter jusqu'à 26 730 L de kérosène.

Le remplissage de son réservoir est assuré par un tuyau d'alimentation dont le diamètre externe vaut 10 cm et l'épaisseur vaut 0,5 cm. Durant le remplissage, le débit volumique du kérosène dans le tuyau vaut $Q_v = 0,900 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Document n°1 : fiche toxicologique du kérosène



Masse volumique du kérosène : $\rho = 800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ à 15 °C.

Viscosité dynamique du kérosène : $\eta = 1,92 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

Document n°2 : nombre de Reynolds R_e dans le cas d'un écoulement dans un tube de diamètre D

$$R_e = \frac{\rho \cdot C \cdot D}{\eta}$$

R_e : nombre de Reynolds (sans unité)

D : diamètre du tube en m

C : vitesse d'écoulement du fluide en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

η : viscosité dynamique du fluide en $\text{Pa} \cdot \text{s}$

ρ : masse volumique en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

1.1.1. Préciser la signification du pictogramme n°1 du kérosène présent dans le document n°1.

Lors d'une escale, après un premier trajet, le réservoir de l'avion n'est rempli qu'à 25 % de sa capacité totale. Il est alors nécessaire de le remplir complètement avant un nouveau trajet.

1.1.2. Dans l'hypothèse d'un écoulement turbulent du kérosène dans le tuyau, on peut montrer que la vitesse moyenne d'écoulement du kérosène vaut $C = 2,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Justifier, par le calcul du nombre de Reynolds, la validité de l'hypothèse d'un écoulement turbulent.

1.1.3. Calculer la durée Δt (en secondes puis en minutes) nécessaire pour effectuer le remplissage total du réservoir de l'avion, initialement rempli à 25 % de sa capacité totale.

1.2. Le réseau électrique embarqué

L'alimentation électrique de l'avion est assurée par un alternateur triphasé auto-excité par un électroaimant asservi en vitesse. La plaque signalétique ci-dessous en donne les caractéristiques principales.

90 kVA	400 Hz	3 000 tr·min ⁻¹
115 V / 200 V		783 A / 452 A

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	3/14

L'alternateur doit alimenter un réseau triphasé 115 V à une fréquence constante de 400 Hz. Du fait des variations importantes de la vitesse de rotation des turboréacteurs, il est impossible d'associer directement alternateur et turboréacteur. Ainsi, l'alternateur est couplé à un entraînement à vitesse constante (CSD ou constant speed drive) qui permet d'assurer une vitesse de rotation constante de l'alternateur égale à 3 000 tr·min⁻¹. L'ensemble « alternateur + CSD » constitue un générateur d'entraînement intégré (IDG ou integrated drive generator).

1.2.1. Déterminer le nombre de pôles de l'alternateur.

1.2.2. Préciser le couplage des enroulements de l'alternateur. Justifier la réponse.

1.3. Stockage de l'énergie : les batteries Ni-Cd

L'Airbus A320neo est équipé de batteries nickel-cadmium (*Ni-Cd*) qui fournissent l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de l'avion au démarrage ou en cas de panne de l'alternateur. En temps normal, elles sont rechargées en vol par l'intermédiaire des IDG.

La décharge d'une batterie peut être modélisée par la décharge d'une pile étudiée au laboratoire. Celle-ci est constituée de deux demi-piles reliées par un pont salin. Deux couples oxydant-réducteur sont mis en jeu : $\text{Ni}^{2+}_{(\text{aq})} / \text{Ni}_{(\text{s})}$ et $\text{Cd}^{2+}_{(\text{aq})} / \text{Cd}_{(\text{s})}$.

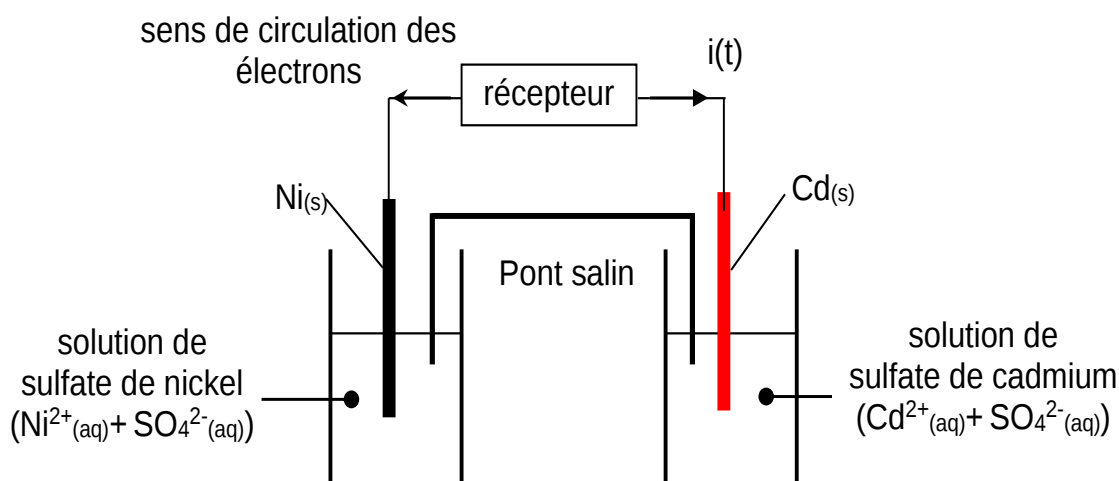
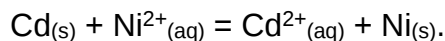


Figure n°1 : schéma de principe d'une pile Ni-Cd

L'équation de réaction globale de la transformation chimique qui se déroule dans cette pile s'écrit :



1.3.1. Sous quelle forme l'énergie est-elle stockée dans la batterie ?

1.3.2. Parmi les réactifs de la transformation chimique, identifier en argumentant l'oxydant et le réducteur.

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	4/14

Partie 2. Sécurité en vol (8 points)

Lors des vols, des vibrations anormales au niveau des turboréacteurs, imperceptibles par le pilote, peuvent endommager les turbines. Pour pouvoir les détecter, des capteurs de vibrations (accéléromètre piézoélectrique constitué d'un cristal) sont judicieusement placés sur le compresseur et sur la turbine, comme indiqué sur la figure n°2 ci-contre.

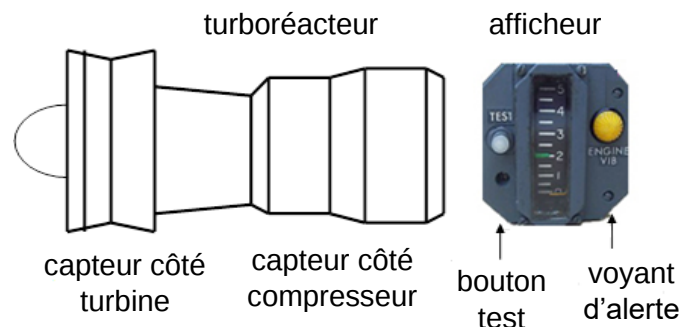


Figure n°2 : position du capteur et afficheur

Lorsque l'avion subit une accélération, les vibrations étirent ou compriment le cristal. La contrainte plus ou moins importante induit une différence de charge électrique entre deux plaques métalliques. Cette différence de charge est amplifiée, filtrée, redressée, de nouveau filtrée et enfin comparée pour alimenter un avertisseur (voyant) lumineux, comme indiqué sur la figure n°3 ci-dessous.

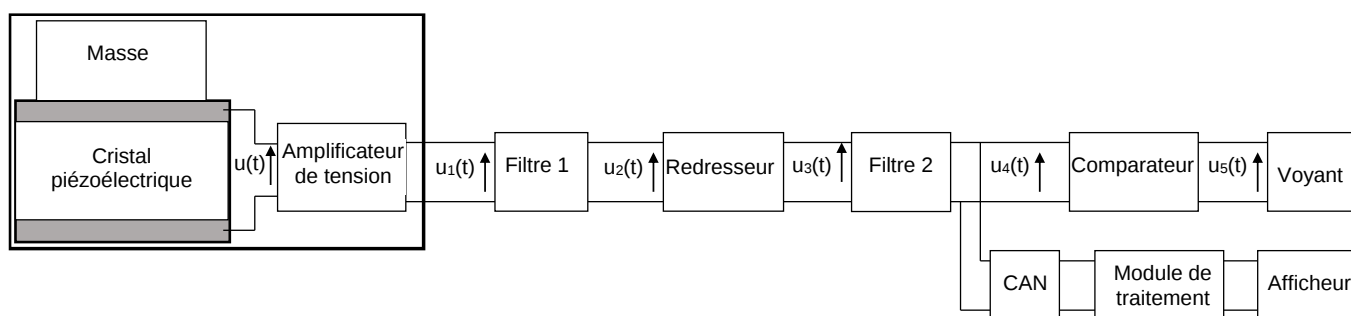


Figure n°3 : schéma de principe du capteur de vibration

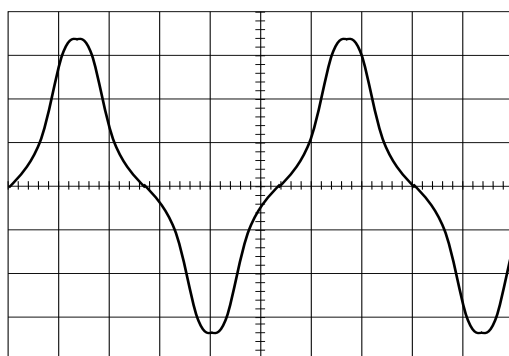
Lors de la conception des turboréacteurs, leur fréquence propre de résonance théorique a été calculée. Elle a pour valeur 185 Hz.

Dans cette partie, nous allons analyser les modifications successives de la tension de sortie de l'amplificateur au cours d'un test du capteur effectué avec une poussée constante des moteurs.

2.1. Étude du filtre 1

2.1.1. Décrire le phénomène de résonance. Expliquer la raison pour laquelle la résonance du turboréacteur est problématique.

La tension $u_1(t)$ de sortie de l'amplificateur est considérée périodique. Elle est représentée sur la figure n°4. Son spectre en amplitude est représenté sur la figure n°5.



Vitesse de balayage : 1 ms/div

Sensibilité : 2 V/div

Figure n°4 : évolution temporelle de la tension $u_1(t)$

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	5/14

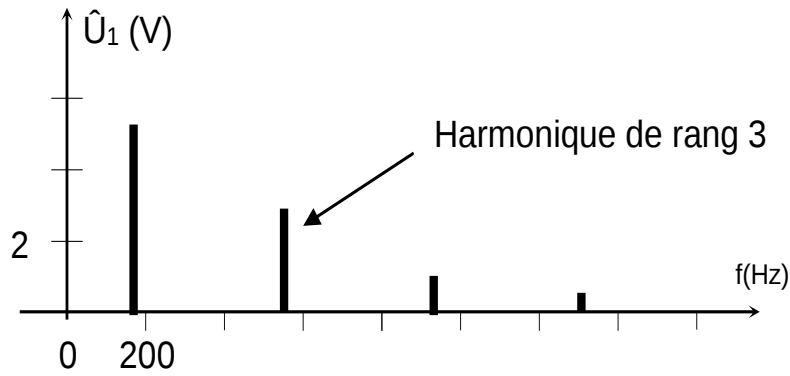


Figure n°5 : spectre en amplitude de la tension $u_1(t)$

2.1.2. Déterminer la fréquence de la tension $u_1(t)$ à partir de sa représentation temporelle (figure n°4).

2.1.3. Déterminer l'amplitude et la fréquence de l'harmonique de rang 3 de la tension $u_1(t)$ à partir de son spectre (figure n°5).

La tension $u_1(t)$ est appliquée aux bornes du filtre n°1 (figure n°3) dont la réponse en fréquence est représentée sur la figure n°6 ci-dessous.

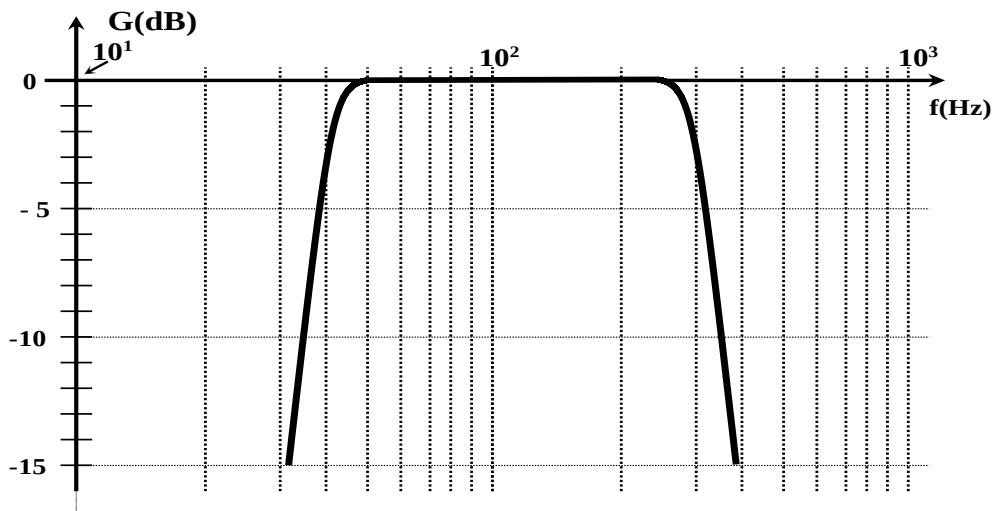


Figure n°6 : Diagramme de Bode en gain du filtre

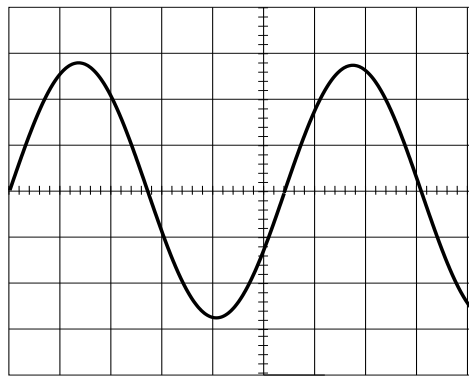
2.1.4. Nommer le type de filtre utilisé.

2.1.5. Déterminer la fréquence haute f_H de coupure à -3 dB. Justifier que le filtre n°1 convient pour obtenir en sortie, à partir de la tension d'entrée $u_1(t)$, une tension sinusoïdale de fréquence $f = 185$ Hz.

2.2. Obtention d'une tension continue $u_4(t)$

À la sortie du filtre n°1, la tension $u_2(t)$ est sinusoïdale. Elle est représentée ci-dessous sur la figure n°7.

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	6/14



Vitesse de balayage : 1 ms/div

Sensibilité : 2 V/div

Figure n°7 : représentation temporelle de la tension $u_2(t)$

La tension $u_2(t)$ est appliquée aux bornes du redresseur dont le schéma électrique est représenté sur la figure n°8 ci-dessus. Les diodes sont supposées parfaites.

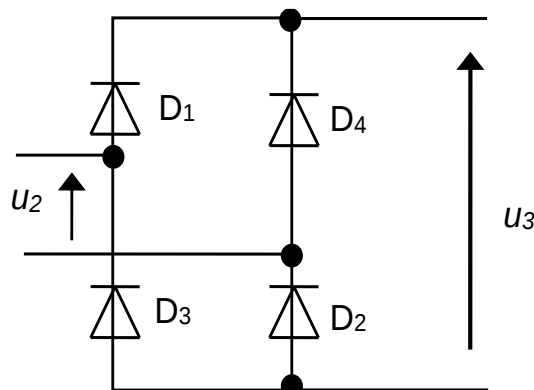


Figure n°8 : pont de Graëtz

2.2.1. Tracer la tension de sortie $u_3(t)$ du redresseur sur le document-réponse n°1 à rendre avec la copie. Les traits en pointillés servent de canevas pour le tracé.

2.2.2. Pour mesurer la valeur moyenne de la tension $u_3(t)$, on utilise un voltmètre. Indiquer le réglage du voltmètre à effectuer pour réaliser cette mesure.

La tension $u_3(t)$ obtenue est périodique de fréquence 370 Hz. Elle est appliquée en entrée du filtre n°2 (voir figure n°3) afin d'en extraire la valeur moyenne.

2.2.3. Préciser la nature du filtre n°2 et proposer une condition sur sa fréquence de coupure.

2.3. Étude du comparateur

La tension $u_4(t)$ sera considérée continue mais sa valeur varie en fonction de l'intensité des vibrations des moteurs. Plus la vibration augmente en amplitude, plus la valeur de la tension $u_4(t)$ augmente.

Elle est appliquée aux bornes d'un comparateur à deux seuils dont la fonction de transfert $u_5(t) = f(u_4(t))$ est représentée sur la figure n°9 ci-dessous.

La sortie du comparateur peut déclencher l'allumage ou l'extinction d'un voyant d'alerte selon de la figure n°10 ci-dessous.

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	7/14

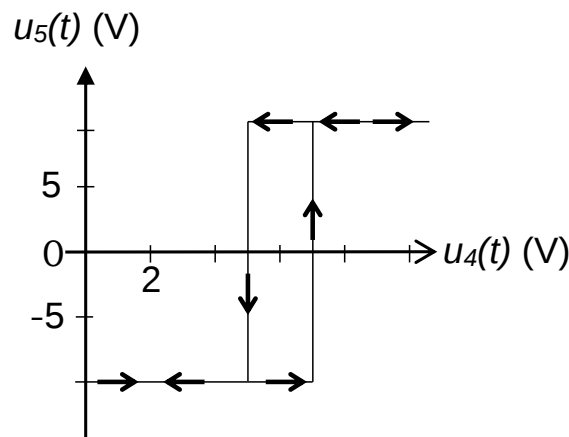


Figure n°9 : caractéristique de transfert du comparateur

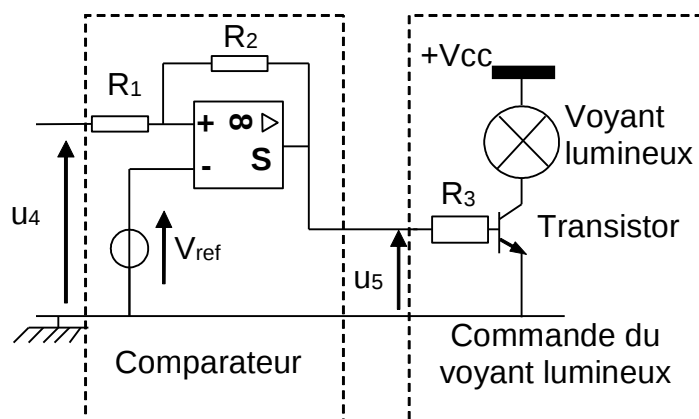


Figure n°10 : commande du voyant lumineux

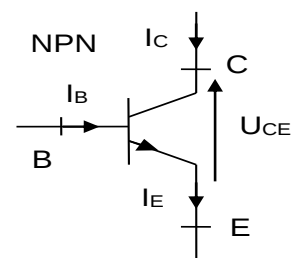
2.3.1. Déterminer les valeurs des tensions de seuil basse V_{SeuilB} et haute V_{SeuilH} du comparateur.

2.3.2. Déterminer les valeurs des tensions de saturation haute et basse du comparateur.

Document n°3 : fonctionnement du transistor en commutation

Si $u_5 < 5 \text{ V}$, alors l'état du transistor est bloqué. Il se comporte comme un interrupteur ouvert ($I_C = 0 \text{ A}$).

Si $u_5 > 5 \text{ V}$, alors l'état du transistor est passant saturé. Il se comporte comme un interrupteur fermé ($U_{CE} = 0 \text{ V}$).



L'évolution de la tension image des vibrations est représentée en fonction du temps sur la figure du document-réponse n°2. Nous considérons que le transistor fonctionne en commutation.

2.3.3. Sur le document-réponse n°2 à rendre avec la copie :

- représenter l'évolution de la tension de sortie $u_5(t)$ du comparateur en concordance des temps avec la tension $u_4(t)$;
- préciser dans l'espace prévu à cet effet l'état du voyant sur les différents intervalles : A (allumé) ou E (éteint).

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	8/14

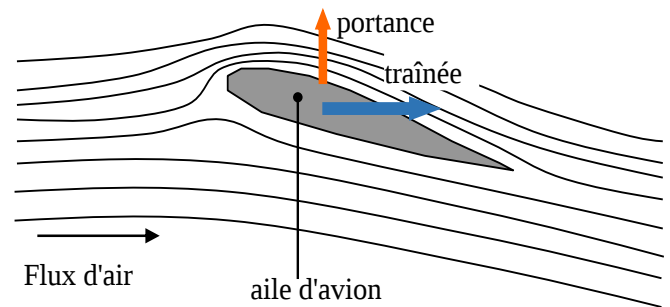
2.3.4. Expliquer pourquoi un comparateur à hystérésis est ici préférable à un comparateur simple.

Partie 3. Éléments de pilotage de l'avion (5 points)

3.1. L'avion en vol

Document n°4 : portance et traînée

Un corps placé dans l'écoulement d'un fluide (air ou eau) subit une force aérodynamique ou hydrodynamique dépendant de la vitesse d'écoulement du fluide. Pour l'analyse, on décompose cette force en une composante parallèle au vent relatif : la traînée, et une composante perpendiculaire au vent relatif : la portance.



La valeur de ces forces augmente avec la vitesse de l'écoulement.

D'après [https://fr.wikipedia.org/wiki/Portance_\(a%C3%A9rodynamique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Portance_(a%C3%A9rodynamique))

(Schéma : Michael Paetzold, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=68323103>)

3.1.1. On étudie le mouvement de l'avion dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen dans les conditions de l'étude.

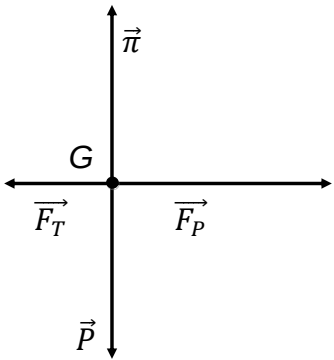
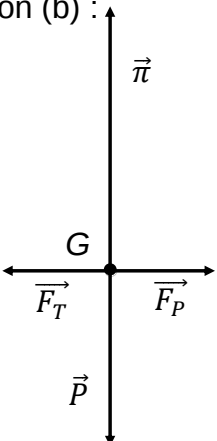
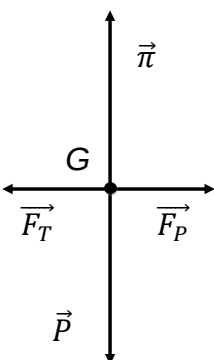
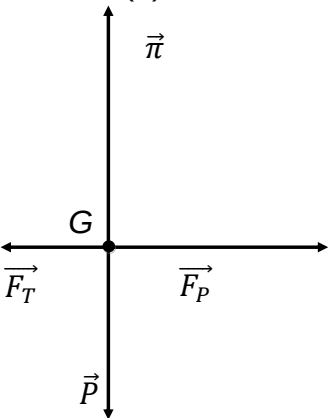
Lorsque l'avion est en vol de croisière, on considère son mouvement comme un mouvement rectiligne uniforme.

Dans le document n°5, on a modélisé les actions exercées sur l'avion dans quatre situations de vol.

Identifier la situation qui correspond au mouvement rectiligne uniforme. La réponse devra être justifiée à partir du principe fondamental de la dynamique.

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	9/14

Document n°5 : Modélisation des actions exercées sur l'avion

			
$\vec{P}$: poids de l'avion G : centre de gravité de l'avion.	$\vec{F}_P$: force de poussée	$\vec{F}_T$: traînée	$\vec{\pi}$: portance
Situation (a) : 	Situation (b) : 	Situation (c) : 	Situation (d) : 

L'avion est équipé de gouvernes de direction et de profondeur pour être dirigé et pour atterrir. Elles sont commandées par un asservissement de position.

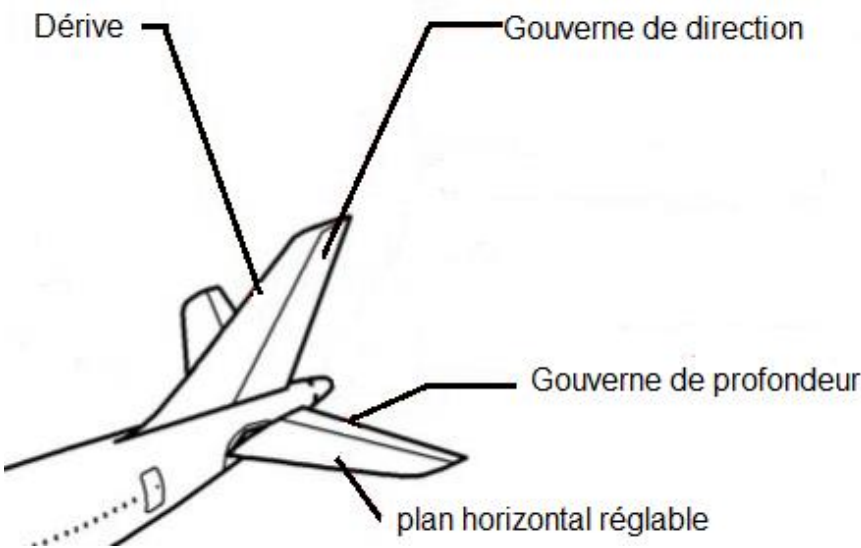


Figure n°12 : les deux gouvernes

D'après Jolipixel. CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38843362>

Le schéma fonctionnel de la chaîne synoptique simplifiée de l'asservissement de position de la gouverne est représenté sur le document-réponse n°3.

3.1.2. Sur le document-réponse n°3 à rendre avec la copie, entourer les différents éléments en précisant leur nom : chaîne directe, chaîne de retour, comparateur.

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	10/14

Afin de tester la rapidité de la réponse de la gouverne de profondeur, on applique un échelon de tension $e(t) = 5 \text{ V}$ en entrée. La représentation temporelle de la réponse $r(t)$ à cet échelon de tension est donnée sur le document-réponse n°4.

3.1.3. En faisant apparaître les constructions nécessaires sur le document-réponse n°4 à rendre avec la copie,

- déterminer le temps de réponse à 5 %, noté $t_{r\ 5\%}$ du système ;
- déterminer la valeur en pourcent du premier dépassement noté D_1 .

Rappel : le temps de réponse à 5 % est la durée après laquelle la valeur du signal diffère toujours de la valeur en régime permanent de moins de 5 % en valeurs relatives.

3.1.4. On désire ajuster les paramètres du correcteur afin d'éviter les oscillations de la gouverne. A-t-on intérêt à augmenter ou à diminuer le gain du correcteur ? Pourquoi ?

3.2. Étude de l'atterrissage

Lorsque l'avion entre en contact avec la piste, sa vitesse vaut $v = 250 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. On rappelle que sa masse vaut $m = 65 \text{ t}$.

3.2.1. Calculer l'énergie cinétique E_C de l'avion à l'instant où il entre en contact avec la piste.

3.2.2. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer le travail total W_{fr} des forces de freinage jusqu'à l'arrêt complet de l'avion.

3.2.3. On fait l'hypothèse que la résultante des forces de freinage exercées sur l'avion durant la décélération est constante, dirigée parallèlement au déplacement de l'avion, dans le sens opposé. Sa valeur est estimée égale à 110 kN.

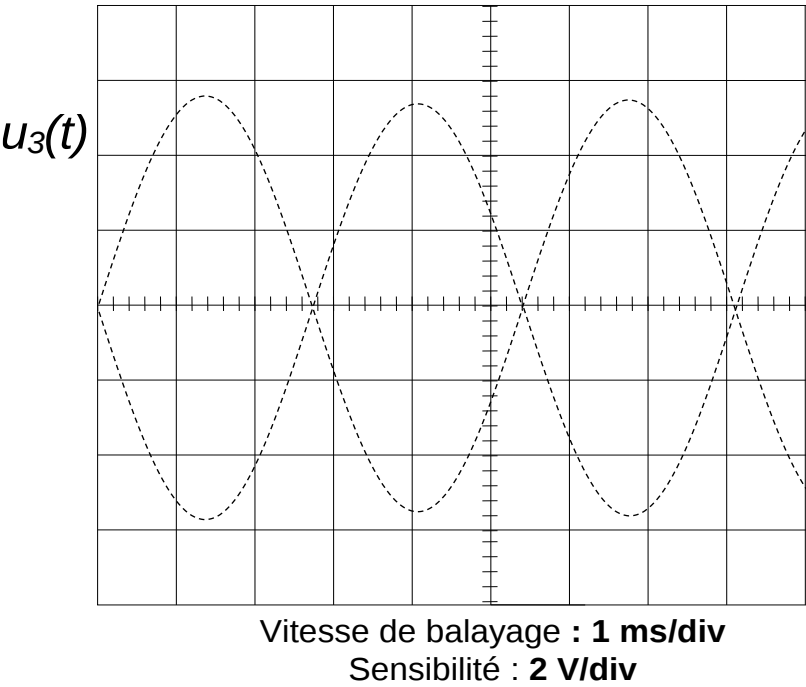
Déterminer la distance nécessaire à l'arrêt complet de l'avion.

Commenter la valeur calculée au regard des hypothèses réalisées et de la longueur d'une piste d'atterrissage d'un avion long-courrier, généralement comprise entre 1,5 km et 4 km.

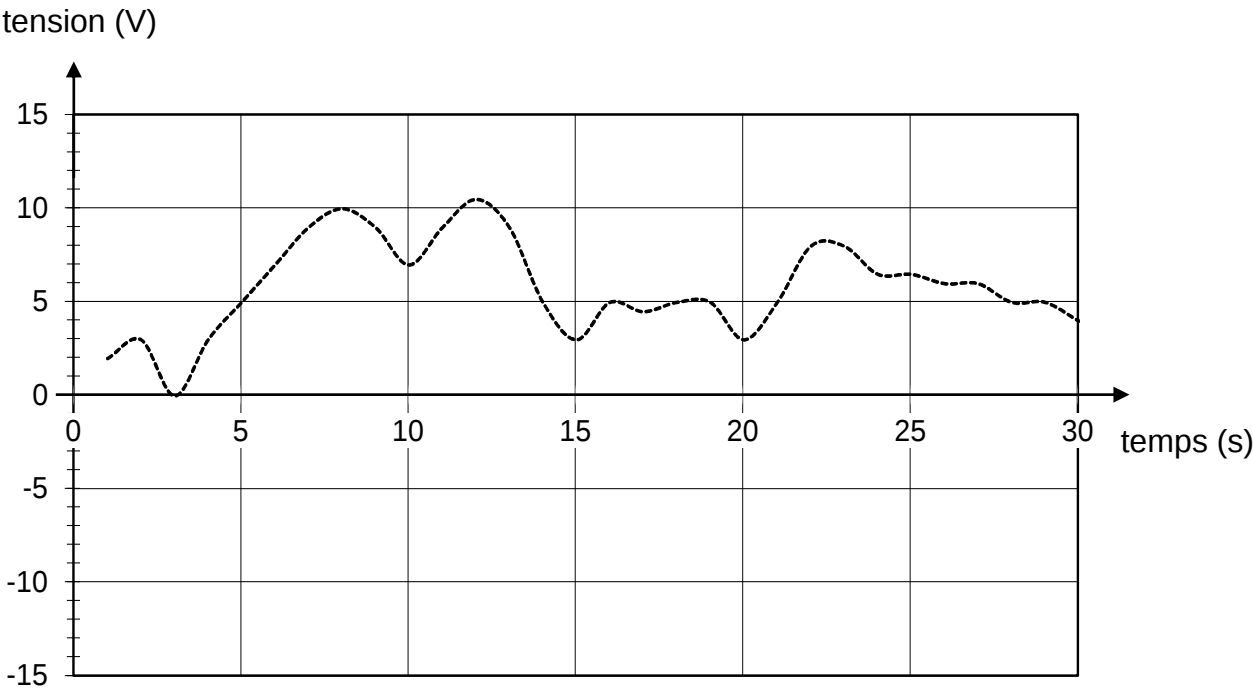
2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	11/14

2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	12/14

Document-réponse n°1

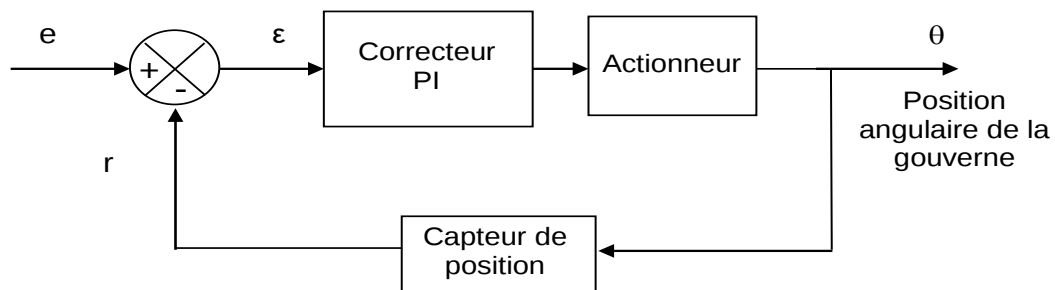


Document-réponse n°2

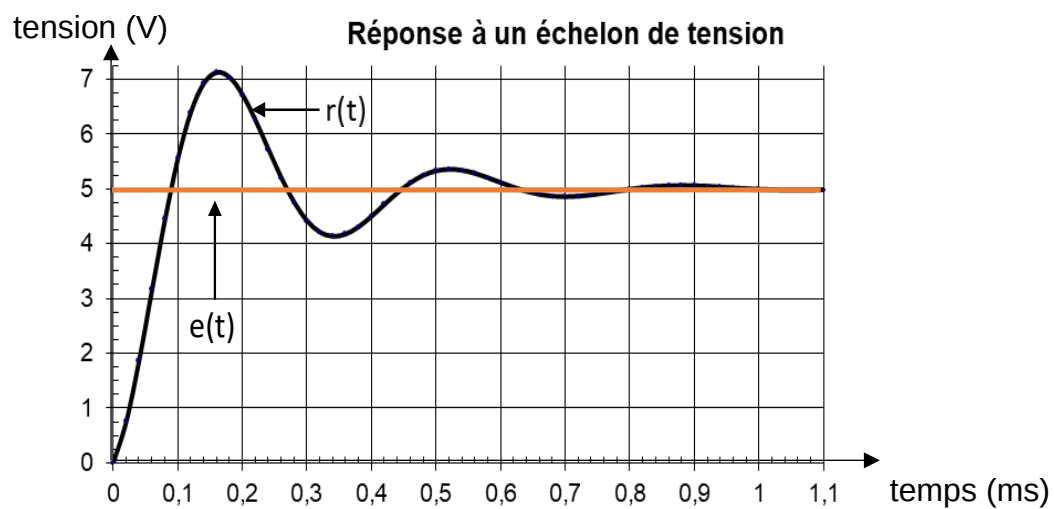


État du voyant (A/E)	
----------------------	--

Document-réponse n°3



Document-réponse n°4



2020	BTS - Conception et réalisation de systèmes automatiques			Sujet
20-CSE3SPC-1 Id 20B	Épreuve U32 : sciences physiques et chimiques appliquées	Coefficient : 2	Durée : 2 h	14/14