

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

BAC BLANC

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Mercredi 15 mai 2024

Durée de l'épreuve : **4 heures**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **3 h** - Coefficient : **12**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 23 pages numérotées de 1/23 à 23/23.

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.
Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur	20 points
Partie 2 - Sciences Physiques	20 points

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR3 (pages 16 à 18) sont à rendre avec la copie.

Partie 2 : à rendre sur une copie séparée.

Partie 1 : Sciences de l'ingénieur

Robot anti-incendie



Constitution du sujet

- Sujet pages 3 à 15
- Documents réponses..... pages 16 à 18

Les documents réponses DR1 à DR3 (pages 16 à 18) sont à rendre avec la copie

Robot anti-incendie

La société EmiControls produit un robot anti-incendie dénommé Turbine Aided Firefighting (TAF35). Il est contrôlé à distance par un opérateur à l'aide d'un pupitre de commande.

Le TAF35 est constitué d'une turbine Magirus portée par un tracteur à chenilles (figure 1). La turbine de projection de l'eau est contrôlée par deux chaînes de puissance : une chaîne dite « d'élévation » et une chaîne dite « d'inclinaison ».

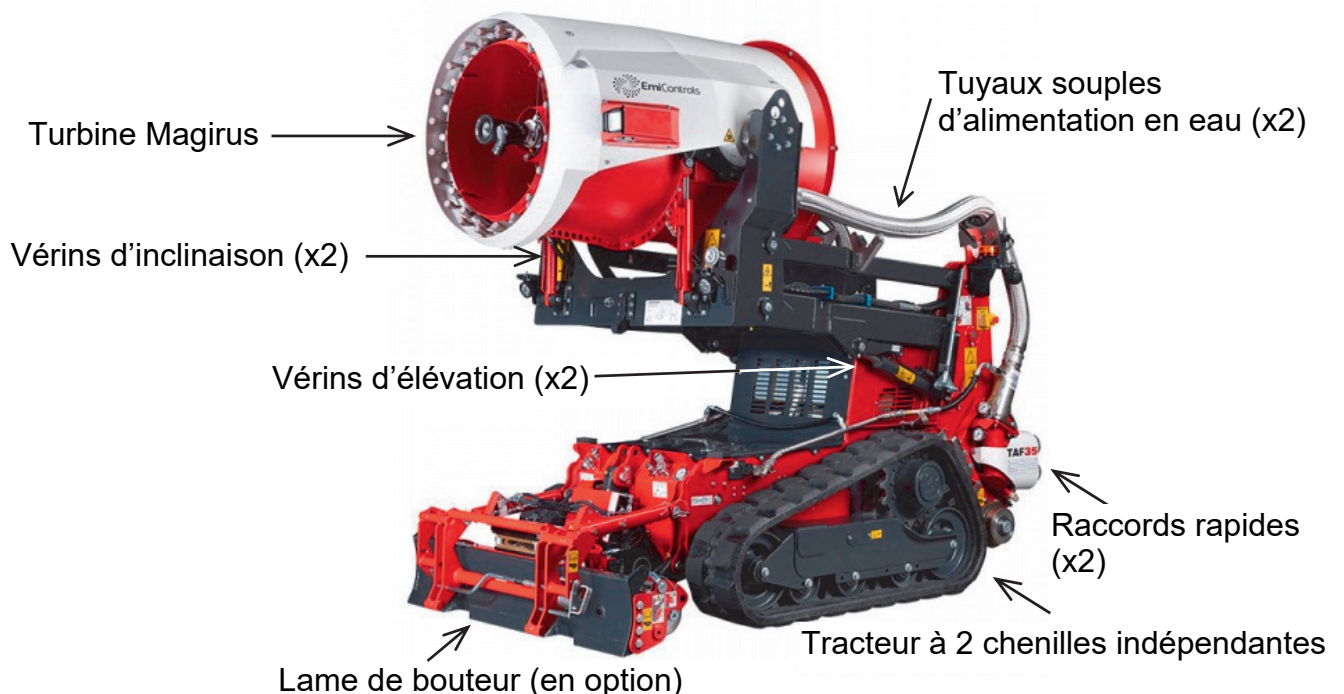


Figure 1 : description du TAF35

L'opérateur dispose d'un pupitre de commande en liaison radio avec le TAF35. Par son intermédiaire, il peut notamment gérer :

- le déplacement du tracteur chenillé ;
- la mise en position du bloc turbine ;
- la vitesse de rotation de la turbine et les flux d'eau.

Les chaînes de puissance du TAF35 utilisent l'énergie hydraulique, générée par une pompe accouplée à un moteur diesel. Les actionneurs transformant l'énergie hydraulique en énergie mécanique sont, selon les cas :

- des vérins hydrauliques, générant une énergie mécanique de translation, pour la mise en position de la turbine (module hydraulique d'élévation et module hydraulique d'inclinaison) ;
- des moteurs hydrauliques, générant une énergie mécanique de rotation, pour le déplacement, assurée par les chaînes de puissances appelées transmission hydraulique chenille gauche et transmission hydraulique chenille droite, et la mise en rotation de la turbine par le module hydraulique rotation turbine.

Le diagramme de blocs internes [ibd] de la figure 2 montre l'architecture générale du TAF35 et les principaux échanges entre les différents blocs.

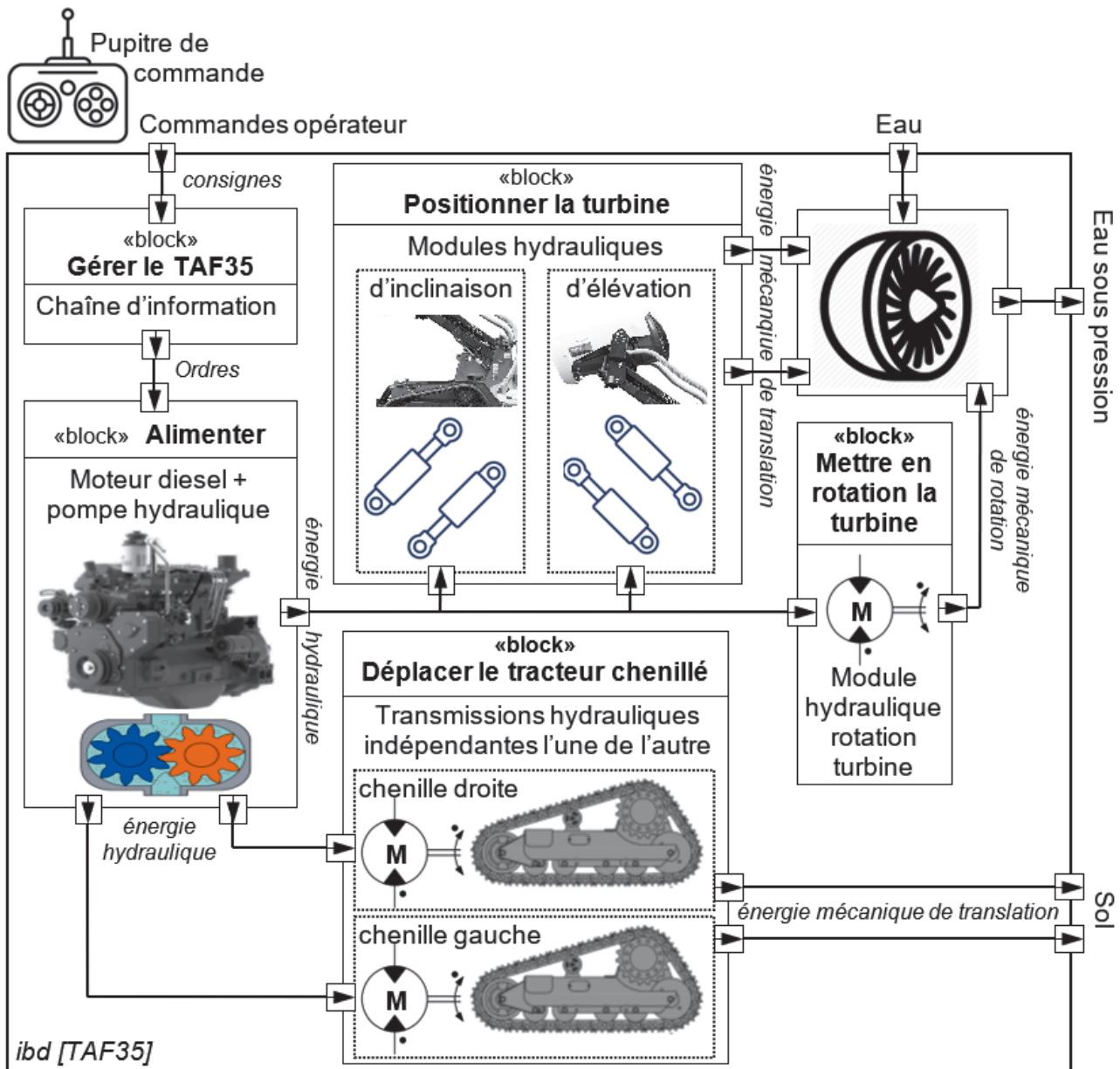


Figure 2 : diagramme de blocs internes [ibd]

Sous-partie 1

Comment assurer la stabilité du véhicule ?

L'objectif de cette sous-partie est de réaliser un programme de mise en sécurité du TAF35 afin d'éviter le basculement du véhicule dans certaines situations critiques.

Le TAF35 est conçu pour évoluer sur tous types de terrains (pistes d'aéroport, routes, terrains arborés et accidentés...). À ce titre, il doit pouvoir être utilisé dans les conditions simultanées suivantes (figure 3) :

- terrain en pente : il existe un risque de renversement du véhicule en montée comme en descente. Ce mouvement appelé tangage se modélise dans le plan $(\vec{x}, \vec{y})$ comme une rotation autour du point I (limite de la surface d'appui) ;
- terrain en dévers : il existe un risque de basculement si le terrain est trop incliné. Le constructeur a fixé un angle de dévers maximal de 15 degrés et ce, quelle que soit la vitesse du véhicule. Ce mouvement appelé roulis se modélise dans le plan $(\vec{y}, \vec{z})$;
- avancée à vitesse rapide (la turbine demeurant en position basse), ou avancée à vitesse lente (la turbine pouvant monter ou descendre).

Le tangage et le roulis, considérés dans un contexte de cinématique plane, sont représentés par rapport au référentiel terrestre sur la figure 3.

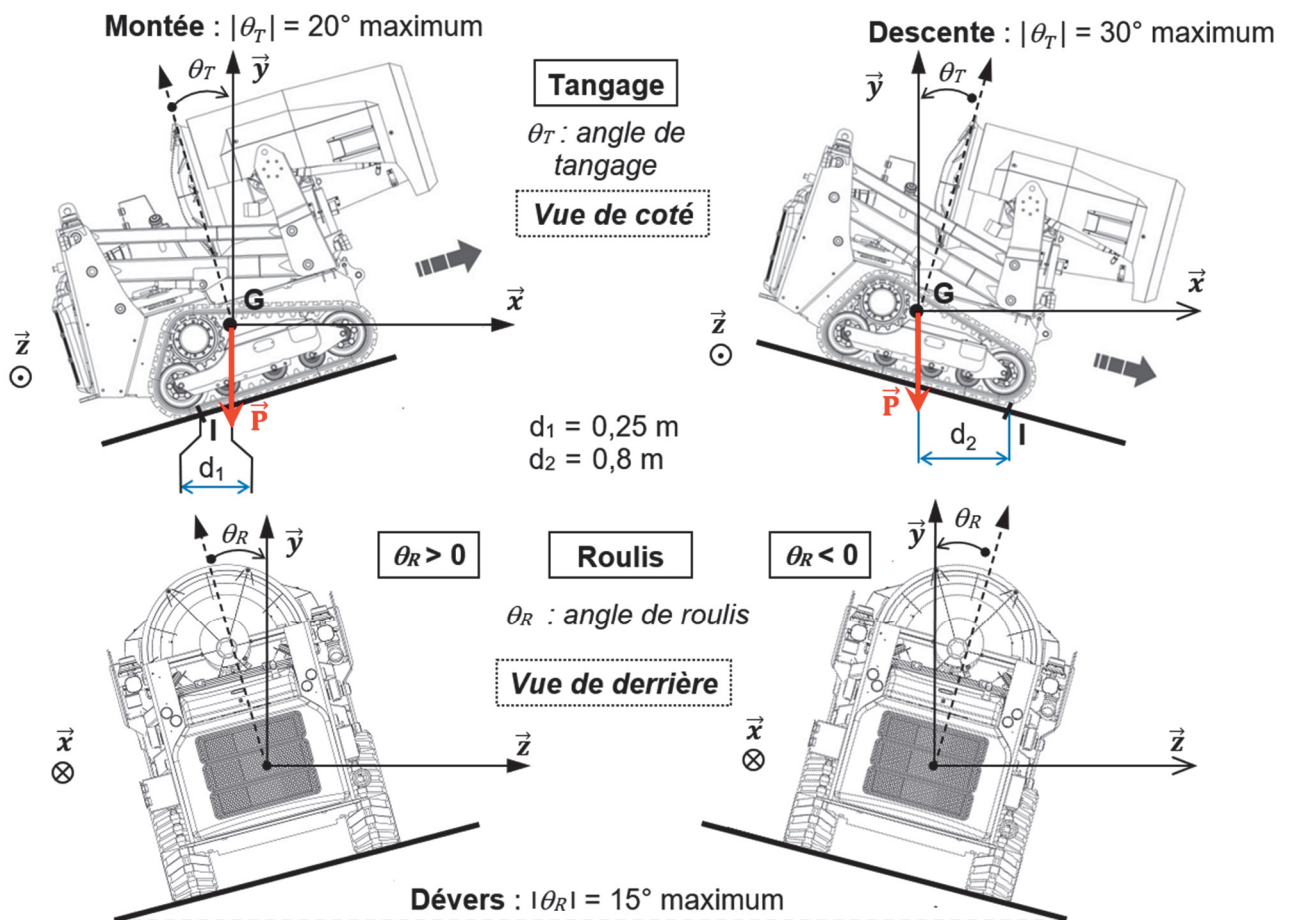


Figure 3 : représentation du TAF35 en pente (*vue de côté*) et en dévers (*vue de derrière*)

En pente, l'angle maximum de tangage en montée est limité à 20° contre 30° maximum en descente.

Données :

- $m = 3\,900\text{ kg}$ la masse totale du véhicule ;
- $g = 9,81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ l'accélération de la pesanteur.

Question 1.1 **Montrer** que les valeurs numériques de la norme du moment en I de la force de pesanteur $\vec{P}$ exercée sur le véhicule sont égales à :

- $M_{I1} = 9\,565\text{ N}\cdot\text{m}$ dans le cas de la montée ;
- $M_{I2} = 30\,607\text{ N}\cdot\text{m}$ dans le cas de la descente.

Justifier que le risque de renversement est plus grand en montée qu'en descente.

Compte tenu du pilotage à distance du TAF35, il est décidé d'implanter sur le véhicule un programme de mise en sécurité du véhicule dans le cas où les conditions deviendraient dangereuses. À cet effet, un inclinomètre deux axes est implanté sur le châssis ; il mesure les angles de tangage θ_T et de roulis θ_R définis sur la figure 3.

La figure 4 représente les deux axes de cet inclinomètre et la caractéristique obtenue pour la plage de mesure de -45° à $+45^\circ$ de chaque angle. Le signal obtenu est une tension U_s variant de 0 à 5 V, représentative de l'angle d'inclinaison.

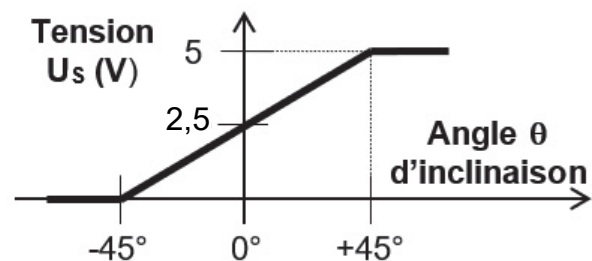
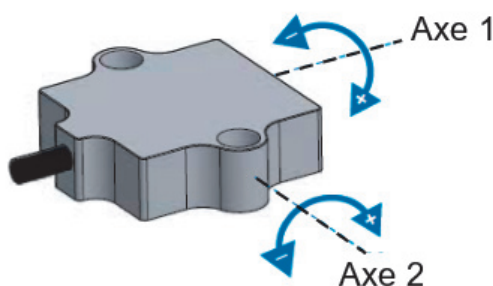


Figure 4 : inclinomètre deux axes et caractéristiques

Question 1.2 À partir de la caractéristique de l'inclinomètre, **établir** l'équation de la tension U_s en fonction de l'angle θ pour la plage de mesure $[-45^\circ, +45^\circ]$ de cet inclinomètre.

Dans un souci de simplification, l'étude se limite à la surveillance de l'angle de roulis θ_R et des opérations de mise en sécurité qui lui sont associées.

Un convertisseur analogique numérique CAN permet de numériser la tension U_s (tension variant de 0 à 5 V issue de l'inclinomètre) en un signal numérique N codé sur 10 bits, représentatif de l'angle de roulis θ_R .

Le diagramme de blocs internes [ibd] de la chaîne d'information est donné sur la figure 5.

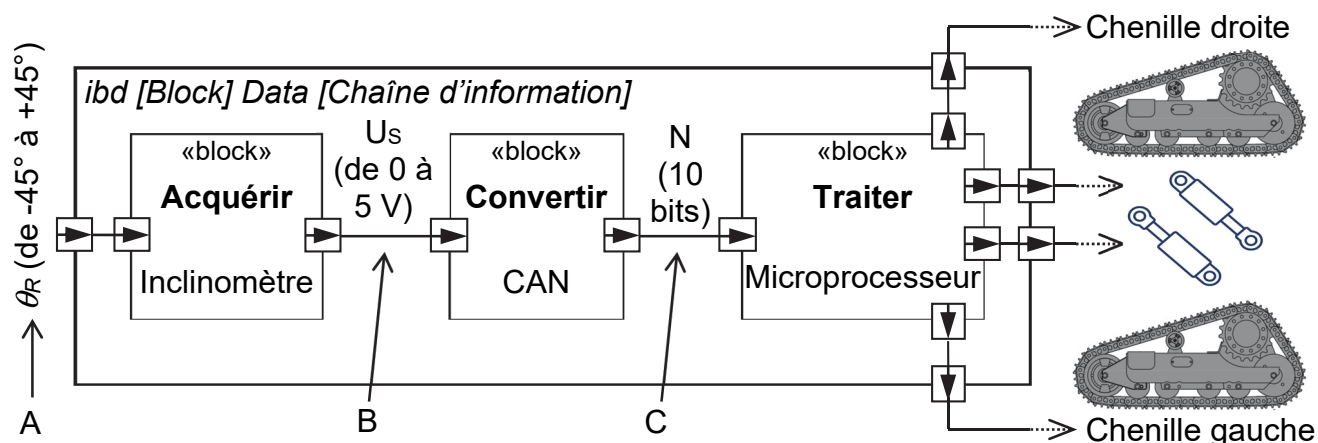


Figure 5 : diagramme de blocs internes [ibd] de la chaîne d'information

Question 1.3 Préciser la nature du flux d'information correspondant aux points A, B et C de la figure 5 (analogique ou numérique).

Le programme de mise en sécurité a pour objectif, lorsque le roulis devient trop prononcé ($\theta_R > 15^\circ$ ou $\theta_R < -15^\circ$) :

- de bloquer les commandes du TAF35 afin que l'opérateur ne puisse plus intervenir (de manière à ne pas aggraver la situation) ;
- d'abaisser immédiatement le centre de gravité au maximum en ramenant la turbine en position basse ;
- d'orienter l'avant du véhicule vers le bas de la pente en effectuant automatiquement les manœuvres adéquates pour sortir de cette situation critique de roulis excessif.

Le cahier des charges décrivant le comportement du programme visant à orienter le véhicule vers le bas de la pente est présenté dans le tableau de la figure 6. Pour faire tourner le char chenillé, les deux chenilles sont commandées en sens opposé (procédé « char »).

Condition	Action	Fin de l'action
$\theta_R > 15^\circ$ (à 0,1° près)	Commander la chenille droite dans un sens	$\theta_R \leq 12^\circ$ (à 0,1° près)
	Commander la chenille gauche dans l'autre sens	
$\theta_R < -15^\circ$ (à 0,1° près)	Commander la chenille gauche dans un sens	$\theta_R \geq -12^\circ$ (à 0,1° près)
	Commander la chenille droite dans l'autre sens	

Figure 6 : extrait du cahier des charges décrivant le comportement du programme visant à orienter le véhicule vers le bas de la pente

Question 1.4 **Compléter** le tableau du document réponse DR1 donnant les différentes valeurs de tension U_s et N issues de la numérisation (valeurs de N en décimal, puis en binaire).

Question 1.5 **Montrer** que la précision en degré issue de la numérisation de l'angle de roulis θ_R est inférieure à $0,1^\circ$ conformément au cahier des charges de la figure 6.

L'algorithme du programme principal de mise en sécurité en cas de roulis excessif est donné sur la figure 7. Il fait appel à deux sous-programmes : le sous-programme n°1 (SP1) et le sous-programme n°2 (SP2).

Chacun de ces sous-programmes assure la mise en sécurité en faisant tourner le tracteur chenillé du bon côté (soit à droite, soit à gauche) afin d'orienter l'avant du véhicule vers le bas de la pente :

- si $\theta_R > 15^\circ$, le sous-programme n°1 est exécuté ;
- si $\theta_R < -15^\circ$, le sous-programme n°2 est exécuté.

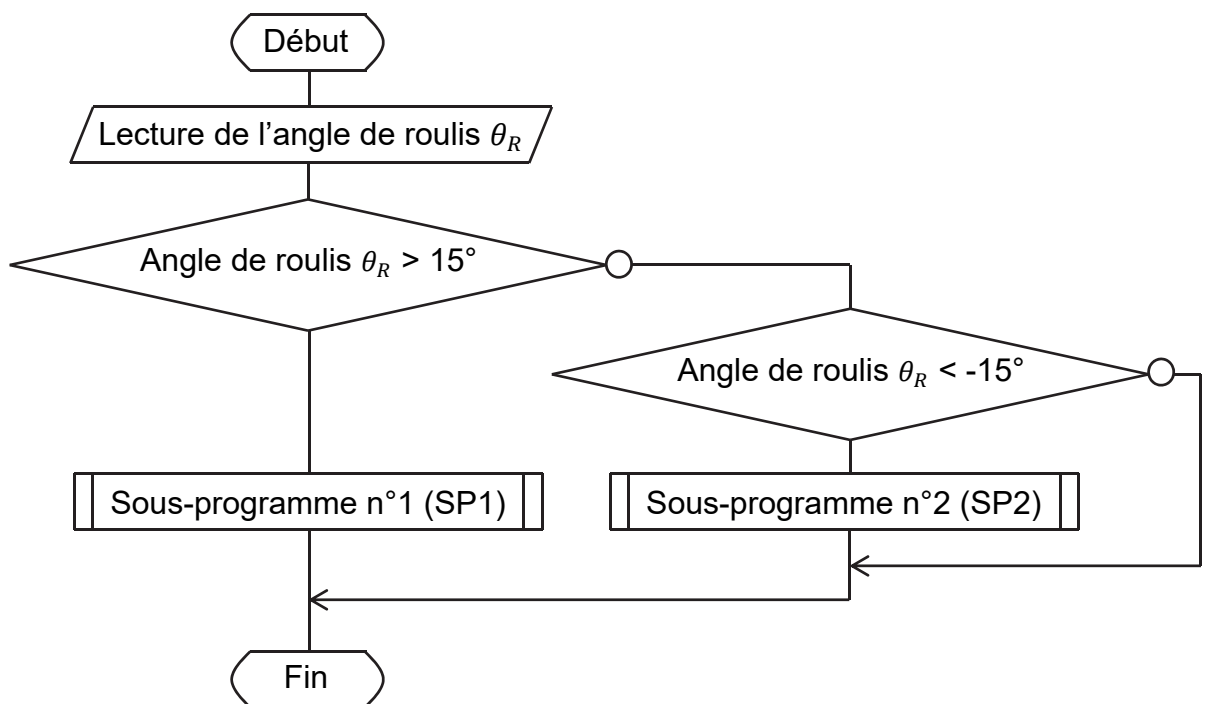


Figure 7 : algorithme du programme principal de mise en sécurité en cas de roulis excessif exécuté toutes les 5 s conformément au cahier des charges

Question 1.6 Afin d'orienter l'avant du tracteur chenillé vers le bas de la pente et à l'aide de la figure 3, **indiquer** le numéro du sous-programme (SP1 ou SP2) qui doit faire tourner le tracteur chenillé à droite et celui qui doit le faire tourner à gauche.

La définition des variables et fonctions utilisées pour l'écriture des programmes est donnée figure 8.

- N : grandeur d'entrée en décimal (de 0 à 1023) de type entier issu de la numérisation, représentatif de l'angle d'inclinaison θ_R
- Chenille_Gauche [X] et Chenille_Droite [X] : grandeur de sortie pour la commande des chenilles droite et gauche du tracteur chenillé

X = 0	X = +1	X = -1
arrêt	marche avant	marche arrière

- Pos_Turbine_Bas : grandeur d'entrée issue du capteur de position bas de la turbine

Pos_Turbine_Bas = 0	la turbine n'est pas en position basse
Pos_Turbine_Bas = 1	la turbine est en position basse

- Turbine [X] : grandeur de sortie pour la commande du module hydraulique d'élévation de la turbine

X = 0	X = +1	X = -1
arrêt	élévation de la turbine	descente de la turbine

- Com_Opérateur [X] : grandeur de sortie avec X de type booléen

X = 0	déblocage des commandes opérateurs
X = 1	blocage des commandes opérateurs

Figure 8 : variables et fonctions utilisées pour l'écriture des programmes

Question 1.7 En utilisant les différents résultats et figures de cette sous-partie, **compléter** sur le document réponse DR1 :

DR1

- l'algorithme du programme principal de mise en sécurité en cas de roulis excessif ;
- l'algorithme du sous-programme n°1 (SP1) faisant tourner le tracteur chenillé du bon côté.

Sous-partie 2

Comment assurer l'élévation de la turbine ?

L'objectif de cette sous-partie est de valider la solution technique qui permet de réaliser l'élévation de la turbine.

Les principaux organes du TAF 35 sont repérés sur la figure 9. Les points A, B, C, D, E, F, H, I et J sont les centres des liaisons pivot d'axe de direction $\vec{z}$ entre les différents sous-ensembles cinématiques. L'élévation de la turbine est obtenue au moyen d'un système à quatre barres formant un parallélogramme déformable (A, B, H, F) soutenu par deux vérins d'élévation hydrauliques double effet (07).

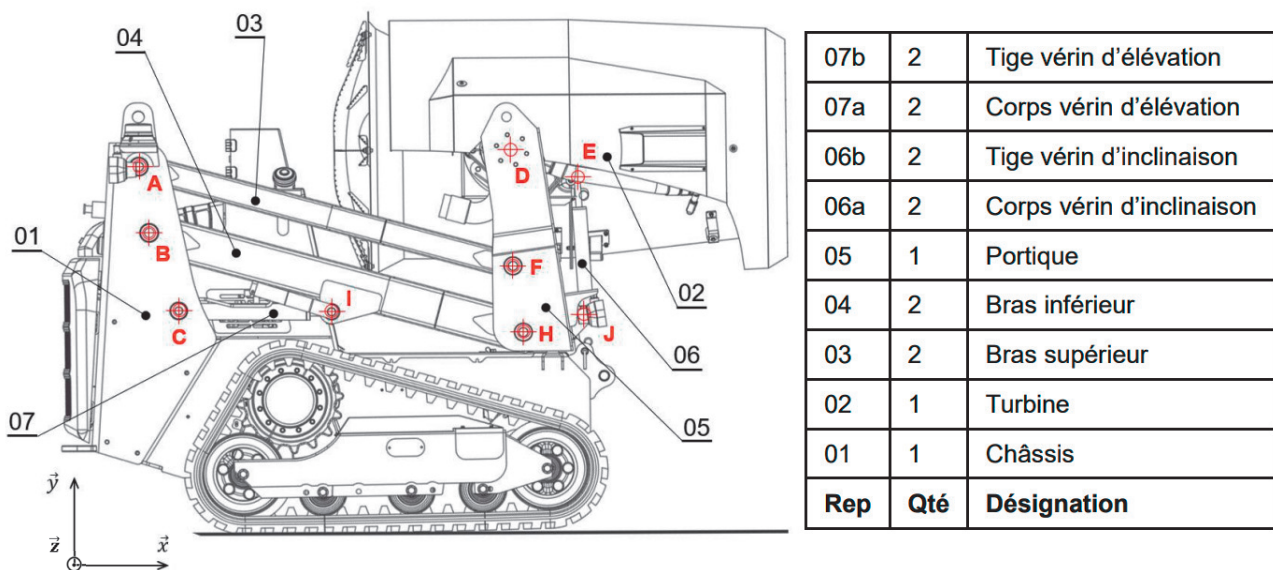


Figure 9 : identification et repérage des principaux composants du TAF 35

Pour cette partie de l'étude, on suppose que le TAF 35 est à l'arrêt et on ne s'intéresse qu'à la chaîne de puissance relative à l'élévation de la turbine 02. Le châssis 01 est considéré comme étant fixe, de même les sous-ensembles 02, 05 et 06 sont considérés comme faisant partie d'un même groupe cinématique.

Question 1.8 À l'aide de la figure 9 et du document réponse DR2, **caractériser** la nature du mouvement du bras inférieur 04 par rapport au châssis 01. En **déduire** la trajectoire $T_{I \in 04/01}$ (nature et caractéristique) du point I appartenant au bras inférieur 04 par rapport au châssis 01.

Question 1.9 **Déterminer** graphiquement sur le document réponse DR2, la position du point I' correspondant au point I lorsque la turbine est en position haute en faisant apparaître les tracés. **Justifier** ces derniers sur la copie.

Question 1.10 À l'aide du tracé précédent, **déterminer** la course du vérin 07 lors du passage de la position basse à la position haute.

Un modèle de comportement de la chaîne de puissance « d'élévation » a été établi (figure 10). Ce modèle ne simule que la partie mécanique de l'élévation. Du fait de la symétrie du mécanisme, seule une moitié du mécanisme a été simulée (un seul vérin donc). Ce modèle s'apparente à un graphe de liaison où apparaissent les sous-ensembles cinématiques ainsi que les liaisons.

La liaison d'entrée du système est la liaison pivot glissant entre le piston 07b et le corps du vérin 07a. C'est cette liaison qui est pilotée. La figure 11 précise la nature des ports du bloc de la liaison pilotée du vérin 07.

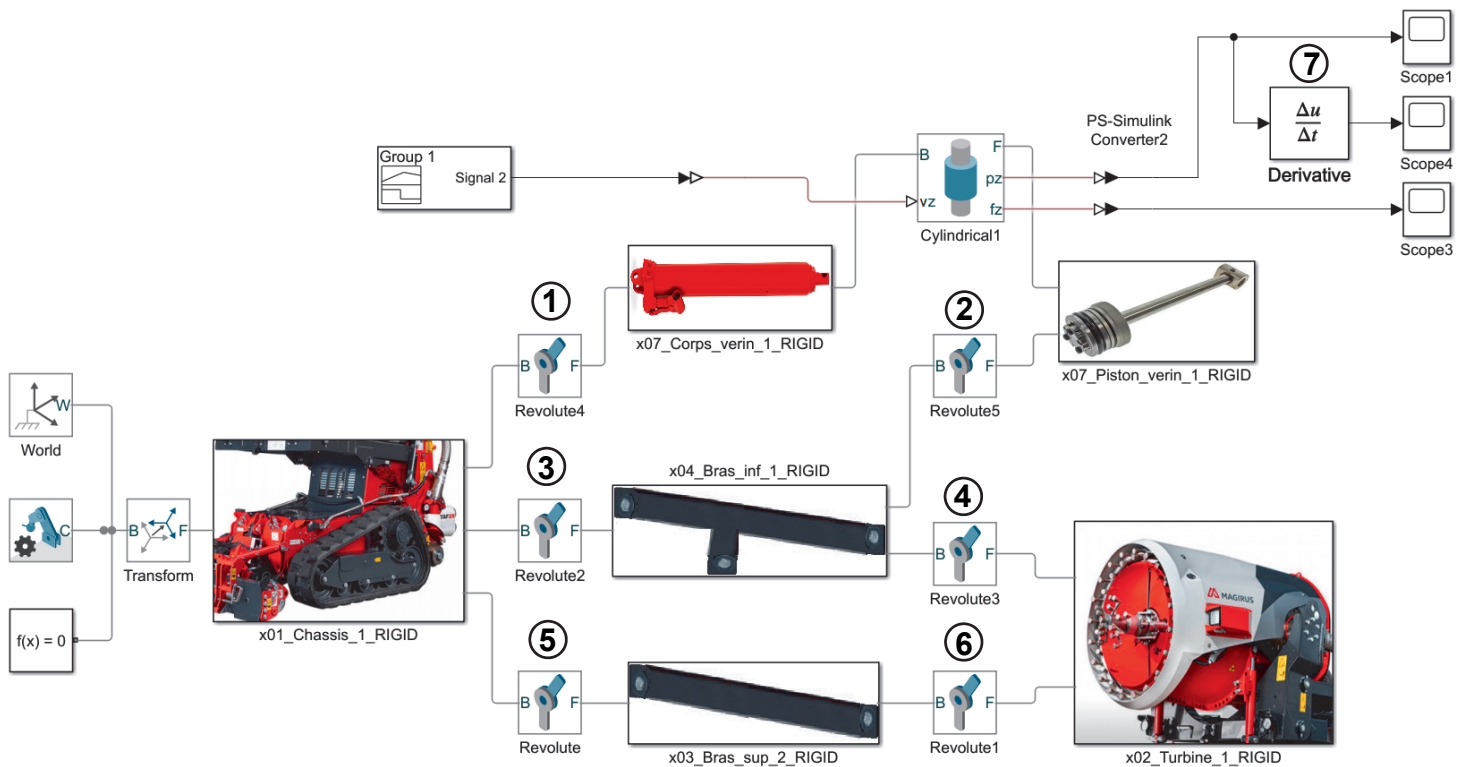


Figure 10 : architecture du modèle de comportement du système d'élévation (un seul vérin)

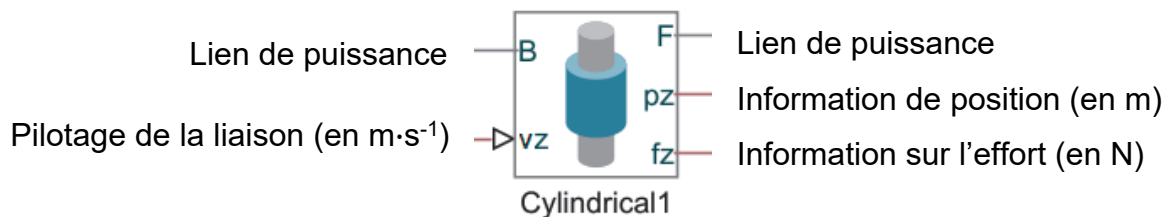


Figure 11 : identification des ports de la liaison pilotée

Question 1.11 Au niveau des points (①, ②, ③, ④, ⑤ et ⑥) présents sur la figure 10, **préciser** les centres de liaison (A, B, C, I, H et F) repérés sur le dessin figure 9 et sur le schéma cinématique du DR2.

Question 1.12 À l'aide de la figure 11, **indiquer** la grandeur d'entrée du bloc « Derivative » présent au point ⑦ sur le modèle de comportement de la figure 10. En **déduire** la grandeur physique lue sur le scope4 et **préciser** son unité.

DR3

Les résultats de la simulation numérique du comportement de la chaîne de puissance « élévation » de la turbine évoluant de sa position basse à sa position haute, ont conduit, à partir des relevés des scope3 et scope4, au tracé des courbes reportées sur la figure 12.

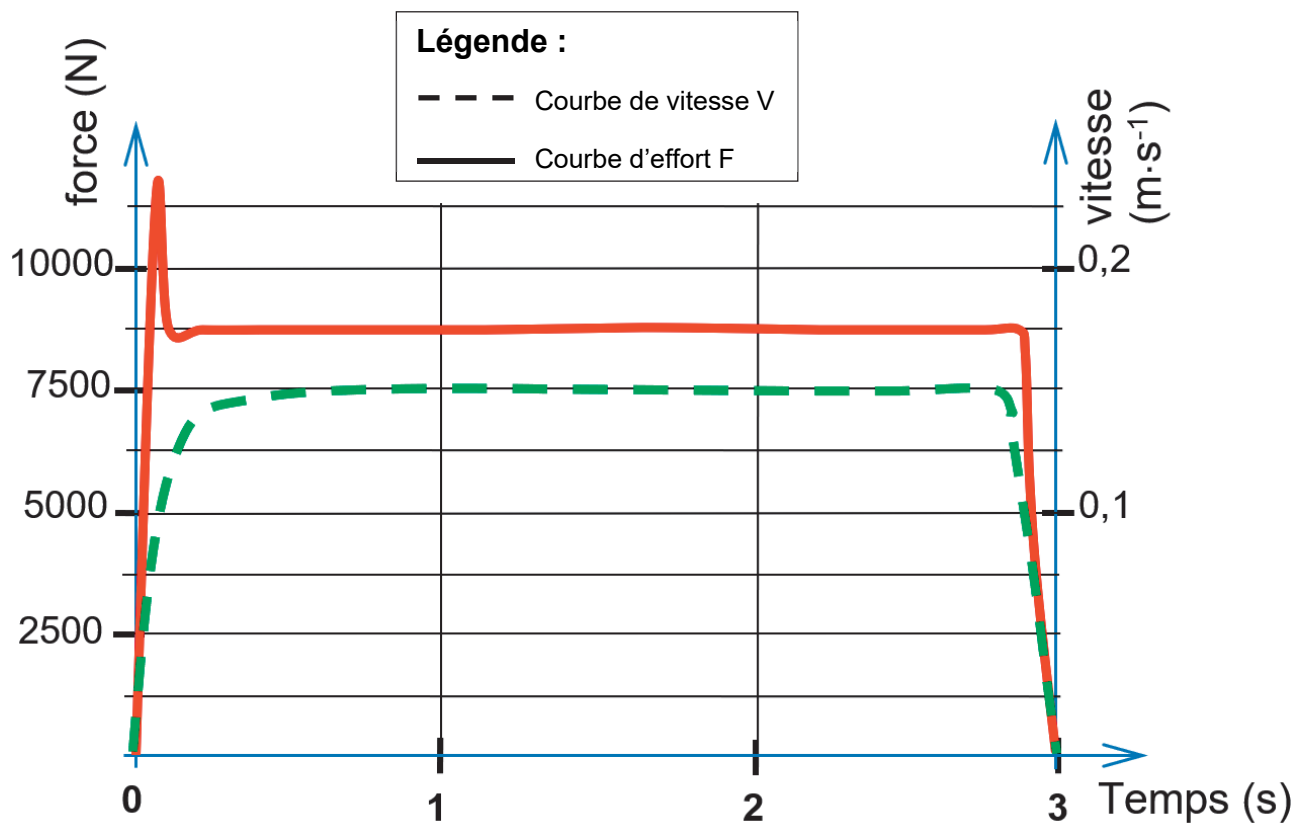


Figure 12 : résultats de la simulation multiphysique pour un vérin

Question 1.13 À l'aide des courbes de simulation (figure 12), **déterminer** la vitesse V de la tige du vérin ainsi que l'effort F développé en régime permanent. En **déduire** la puissance P fournie par un vérin en régime permanent.

Les caractéristiques techniques des vérins d'élévation annoncées par le constructeur sont les suivantes :

- puissance développée : $P_{\text{nominal}} = 1\,500\text{ W}$;
- course maximale : $c = 500\text{ mm}$.

Question 1.14 **Conclure** quant à la pertinence du choix des vérins au regard des résultats obtenus durant cette étude et des caractéristiques techniques des vérins d'élévation annoncées par le constructeur.

Sous-partie 3

L'autonomie du système est-elle assurée ?

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le moteur diesel délivre assez de puissance et assure une utilisation du TAF35 compatible avec les 7 heures annoncées par le constructeur.

Les chaînes de puissances du TAF35 utilisent l'énergie hydraulique générée par la pompe accouplée au moteur diesel (voir le diagramme de blocs internes [ibd] de la figure 2).

Pour valider le choix du moteur diesel vis-à-vis de l'autonomie, le cas le plus extrême doit être envisagé, avec toutes les chaînes de puissance en fonctionnement. Les conditions d'utilisation du TAF35 sont donc les suivantes :

- déplacement en montée (20°) à vitesse lente ;
- turbine en fonctionnement ;
- turbine en cours d'élévation et en cours d'inclinaison.

Les constituants d'une chaîne de puissance sont reliés entre eux par un lien de puissance transportant une grandeur d'effort et une grandeur de flux, dont le produit caractérise le transfert de puissance entre ces constituants.

Par exemple, lorsque l'on souhaite préciser les deux grandeurs (effort et flux) sur un lien de puissance dans le cas d'une puissance hydraulique, la notation est la suivante :

Effort : pression p (Pa)

Flux : débit Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Question 1.15 **Indiquer** sur le document réponse DR3 les grandeurs d'effort et de flux associées à chacun des liens de puissance.

DR3

Pour évaluer la puissance nécessaire au déplacement du TAF35 en montée, on suppose que le véhicule avance à vitesse constante $V = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Données :

- $m = 3\,900 \text{ kg}$ la masse totale du véhicule ;
- $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ l'accélération de la pesanteur ;
- α l'angle d'inclinaison de la pente avec $\alpha_{\max} = 20^\circ$.

Le contact des chenilles avec le sol est supposé comme étant sans glissement.

La figure 13 présente la modélisation des efforts qui s'exercent sur le véhicule. On note $\vec{P}$ le poids du véhicule, $\vec{N}$ et $\vec{T}$ les composantes de la réaction du sol sur le véhicule telles que :

- $\vec{N}$ la composante normale au contact ;
- $\vec{T}$ la composante tangentielle correspondant à la force de propulsion du véhicule.

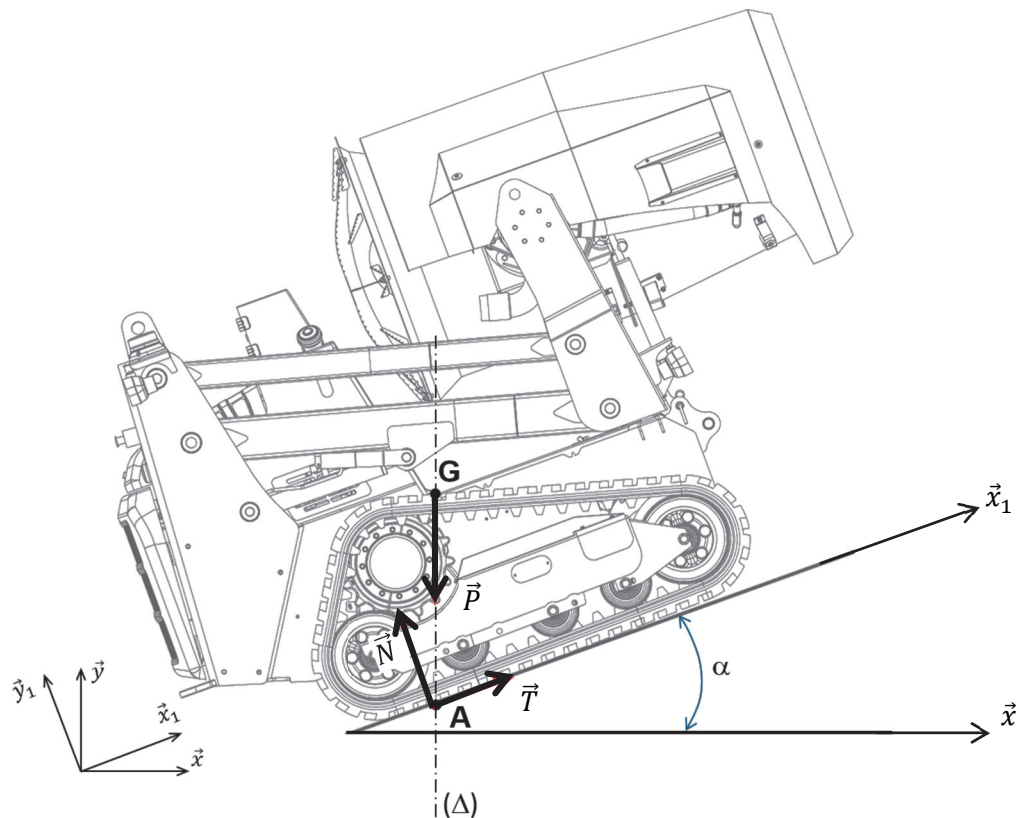


Figure 13 : modélisation des efforts du TAF35 en montée

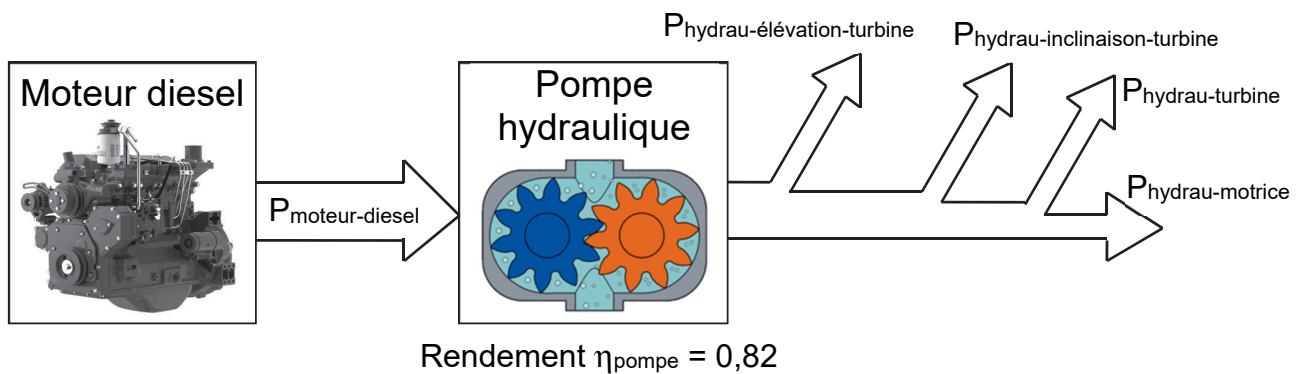
Question 1.16 En appliquant le théorème de la résultante dynamique au véhicule en mouvement par rapport au sol (figure 13), en projection sur $\vec{x}_1$, **déterminer** la valeur de la norme de la force de propulsion $\|\vec{T}\|$. **Montrer** que la puissance motrice nécessaire à l'avance du TAF35 en montée vaut $P_{\text{motrice}} = 13 \text{ kW}$.

Question 1.17 À partir des caractéristiques des différents blocs de la chaîne de puissance du TAF35 (voir le bloc « Chaîne de propulsion » du document réponse DR3), en **déduire** la puissance hydraulique $P_{\text{hydrau-motrice}}$ totale nécessaire pour gravir une pente de 20° à la vitesse de $3,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Le constructeur annonce une vitesse de rotation de la turbine $N_{\text{turbine}} = 2\,000 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ avec un couple fourni par le moteur $C_{\text{moteur-turbine}} = 77 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Question 1.18 **Déterminer** la puissance $P_{\text{moteur-turbine}}$ fournie par le moteur pour faire tourner la turbine. À partir des caractéristiques de la chaîne de puissance du TAF35 (voir le document réponse DR3), en **déduire** la puissance hydraulique $P_{\text{hydrau-turbine}}$ nécessaire.

Le moteur diesel doit fournir la puissance nécessaire aux différentes chaînes de puissance, via la pompe hydraulique. La figure 14 montre cette distribution de puissance.



$P_{\text{hydrau-motrice}}$	$P_{\text{hydrau-turbine}}$	$P_{\text{hydrau-élévation-turbine}}$	$P_{\text{hydrau-inclinaison-turbine}}$
17 kW	20 kW	2,7 kW	1,5 kW

Figure 14 : distribution de la puissance fournie par le moteur diesel

Les caractéristiques du moteur diesel sont données sur la figure 15.

Données	Valeur
Puissance maxi (à 3000 tr·min ⁻¹)	53 kW
Couple maxi (à 1900 tr·min ⁻¹)	220 N·m
Contenance du réservoir de carburant (gazole)	75 l

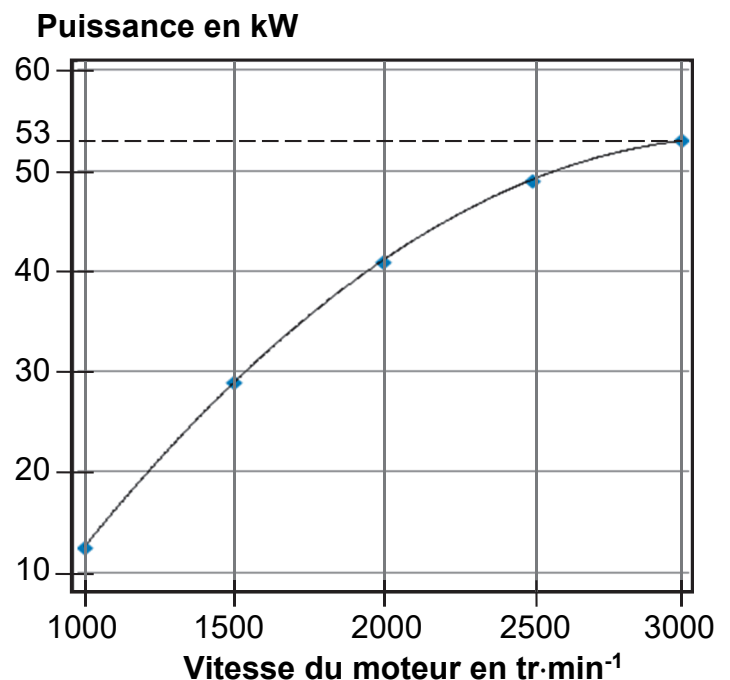
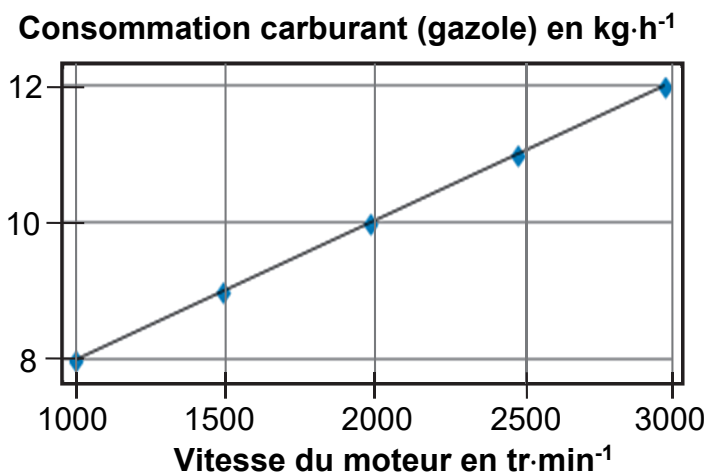


Figure 15 : caractéristiques du moteur diesel

Question 1.19 En considérant toutes les chaînes de puissance du TAF35 en fonctionnement (voir figure 14), **calculer** la puissance $P_{\text{moteur-diesel}}$ nécessaire. **Justifier** alors que la moteur diesel est correctement dimensionné selon ce critère de puissance.

La masse volumique du gazole vaut $\rho_{\text{gazole}} = 840 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Le constructeur annonce jusqu'à 7 heures d'autonomie.

Question 1.20 **Calculer** la masse de gazole (en kg) contenue dans le réservoir lorsqu'il est plein. À partir des courbes caractéristiques du moteur de la figure 15, en considérant que le moteur diesel délivre sa puissance maximale, **déterminer** l'autonomie en heures-minutes du véhicule TAF35. **Conclure** par rapport à l'autonomie annoncée par le constructeur.

Question 1.4

Angle de roulis θ_R	Tension U_s (V)	Signal numérique N (sur 10 bits)	
		en décimal	en binaire
+ 45°	.....	1023	.....
+ 15°	3,33	.....	.....
+ 12°	3,17	.....	
0°	.....	.....	
- 12°	1,83	.....	
- 15°	1,67	.....	
- 45°	.....	.....	.....

Question 1.7

Algorithme du programme principal de mise en sécurité en cas de roulis excessif

Début

Remarque : # permet d'écrire des commentaires

Lecture de N

Si N > 681

test si l'angle de roulis θ_R > 15°

Alors

Sinon Si N < 342

test si l'angle de roulis θ_R < -15°

Alors

Fin

Algorithme du sous-programme n°1 (SP1)

Début

Com_Opérateur [.....]

blocage des commandes opérateurs

Lecture «Pos_Turbine_Bas»

Tant que Pos_Turbine_Bas =

abaissement du centre de gravité en ramenant la turbine en position basse

Faire Turbine [.....]

Lecture «Pos_Turbine_Bas»

(Fin de Tant que)

Répéter Chenille_Gauche [.....]

faire tourner le tracteur chenillé du bon côté afin d'orienter l'avant du véhicule vers le bas de la pente

Chenille_Droite [.....]

Lecture de N

Jusqu'à N

Chenille_Gauche [0]

arrêt de la chenille gauche

Chenille_Droite [0]

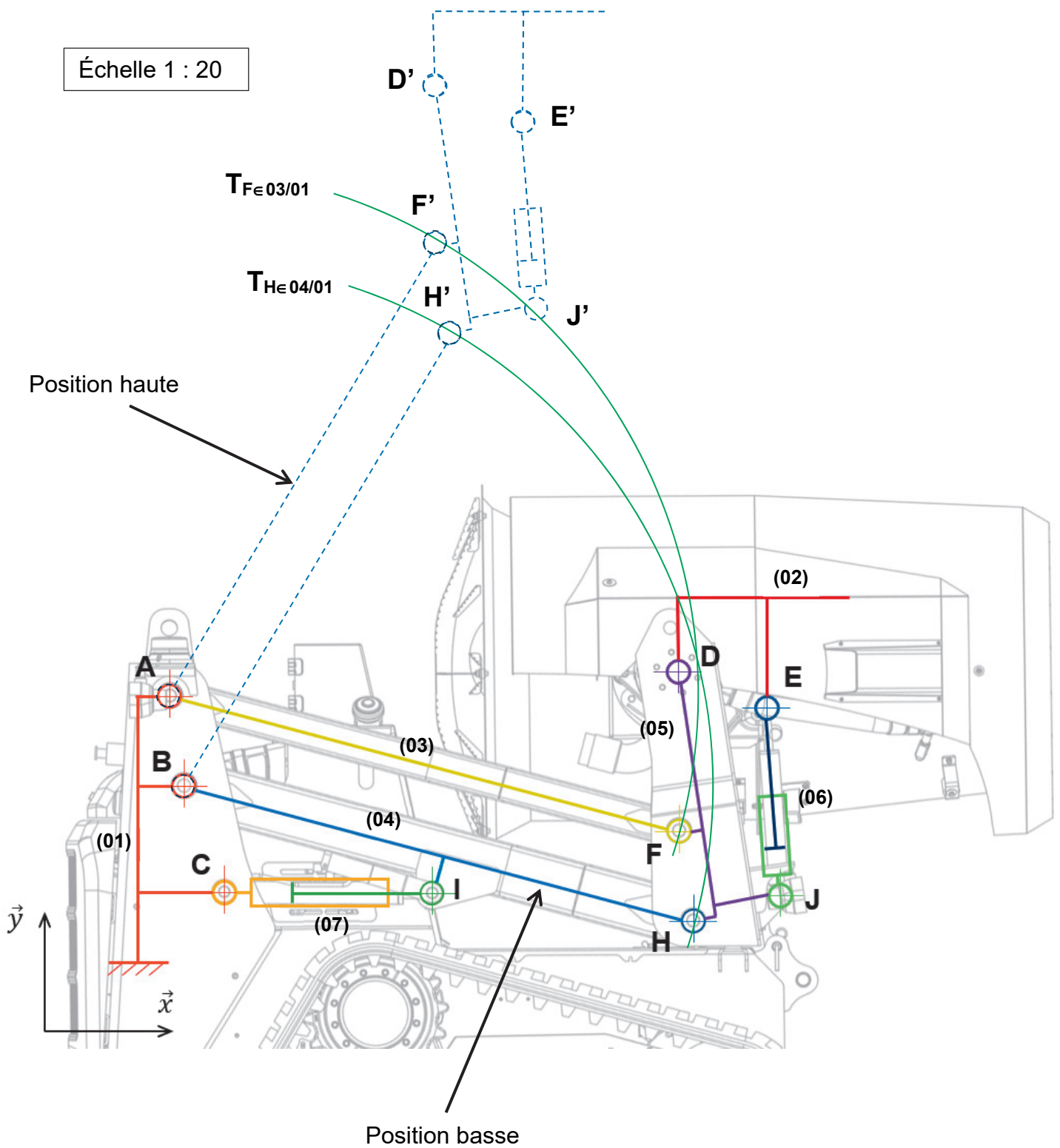
arrêt de la chenille droite

Com_Opérateur [.....]

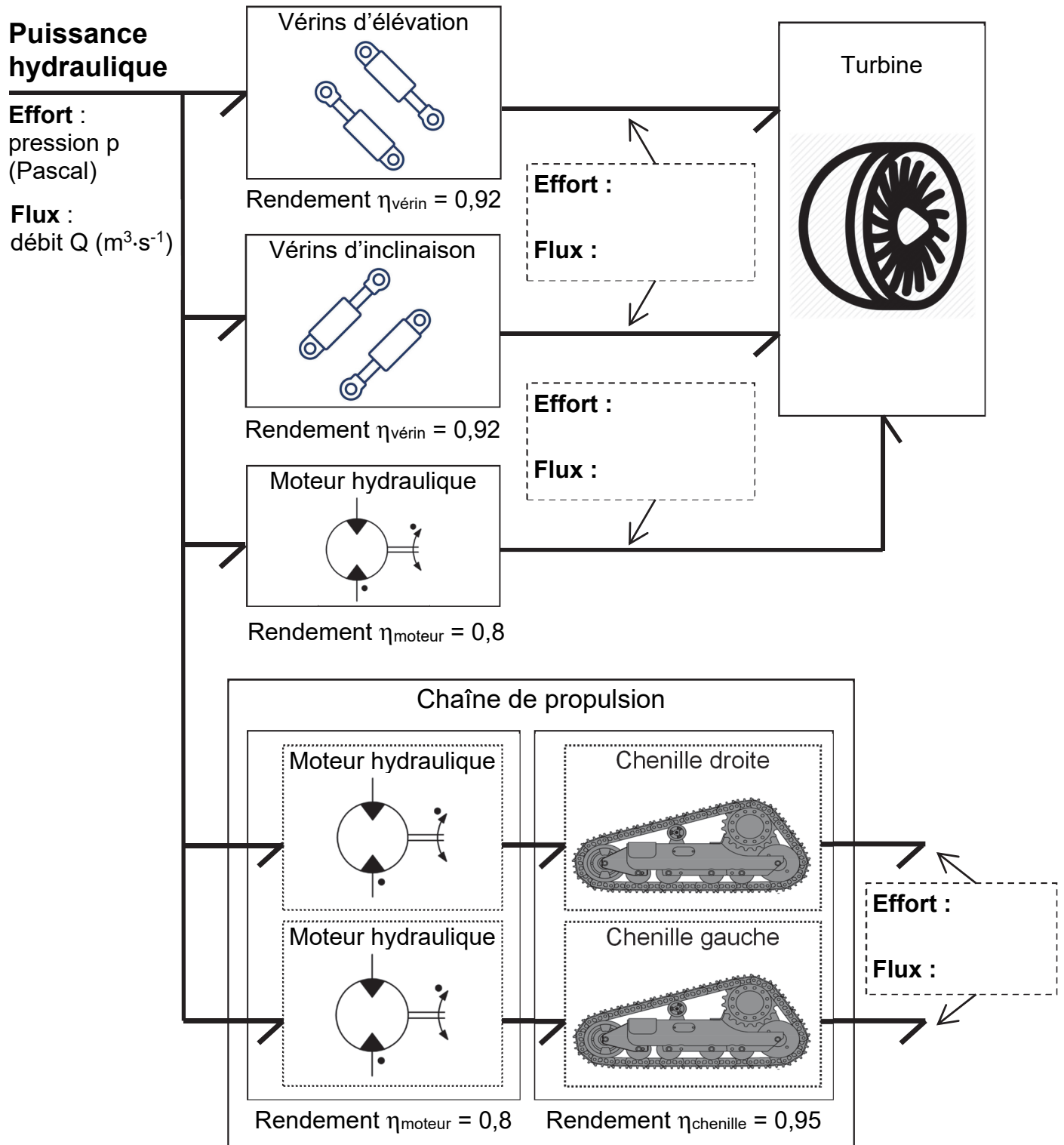
déblocage des commandes opérateurs

Fin

Question 1.9



Question 1.16



Partie 2 : Sciences Physiques

EXERCICE 1 : ETUDE D'UN ANALYSEUR D'HEMATOLOGIE – (10 POINTS)

Les systèmes robotisés sont très utilisés dans le domaine médical.

L'analyseur d'hématologie est un appareil permettant d'effectuer de manière automatisée une analyse quantitative des cellules contenues dans le sang, en particuliers les globules blancs (leucocytes).

Ces derniers peuvent être classés en cinq groupes : les granulocytes neutrophiles, les granulocytes éosinophiles, les granulocytes basophiles, les lymphocytes, les monocytes (tableau 1).

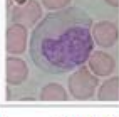
Nom	Image	Diagramme	Proportion	Diamètre	Cytoplasme
Neutrophile			40 à 75 %	12 μm	clair, avec granulations colorables par la mise en évidence de la myéloperoxydase.
Éosinophile			1 à 3 %	12 μm	orangé avec volumineuses granulations acidophiles
Basophile			0 à 1 %	12 μm	avec nombreuses granulations métachromatiques pourpres
Lymphocyte			20 à 40 %	7 μm	mauve, situé en bordure, très minoritaire
Monocyte			2 à 10 %	17 μm	gris bleuté, un peu granuleux

Tableau 1 – Différents types de leucocytes du sang humain et caractéristiques associées. D'après le site Wikipédia <https://fr.wikipedia.org/wiki/Leucocyte>

Un analyseur d'hématologie utilise différents phénomènes physiques, parmi lesquels la diffraction (figure 1). Le principe de la technique consiste à étudier les variations d'intensité lumineuse lorsqu'un faisceau laser traverse une cellule. Il est ainsi possible de déterminer la taille de la cellule à partir de l'image de diffraction obtenue.

L'objectif de cet exercice est de comprendre comment la taille d'une tache de diffraction permet de déterminer la dimension d'une cellule.

Données

- Théorème de Babinet : deux objets sont complémentaires si les parties opaques de l'une correspondent à des parties transparentes de l'autre et inversement. Les figures de diffraction de deux objets complémentaires sont semblables.

La figure de diffraction d'un faisceau laser par une cellule est donc similaire à celle obtenue avec un trou circulaire de même diamètre. Elle peut être schématisée par l'illustration ci-après :

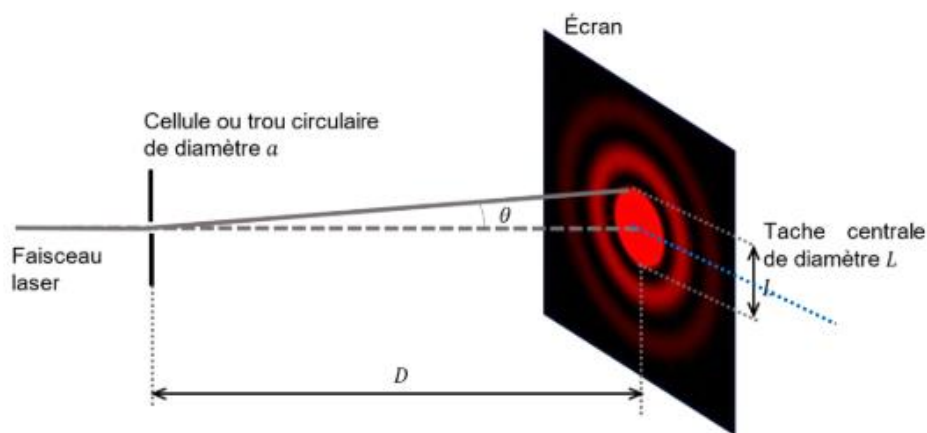


Figure 1 - Diffraction d'un faisceau laser par un trou circulaire ou une cellule

En se plaçant dans l'approximation des petits angles, la relation entre l'angle caractéristique de diffraction θ , la longueur d'onde λ du laser et le diamètre a de la cellule ou trou peut s'écrire : $\theta = 1,22 \times \frac{\lambda}{a}$.

1. Par des considérations géométriques, établir la relation existant entre l'angle caractéristique de diffraction θ , le diamètre L de la tache centrale de diffraction et la distance D séparant le capteur de la cellule ou du trou diffractant.
2. En se plaçant dans l'approximation des petits angles, telle que $\tan \theta \approx \theta$, montrer qu'on peut écrire : $a = \frac{2,44 \times D \times \lambda}{L}$

Le principe de la mesure effectuée par un analyseur d'hématologie peut être reproduit en laboratoire.

Une cellule placée sur le trajet d'un faisceau laser de longueur d'onde $\lambda = (635 \pm 1) \text{ nm}$, génère une figure de diffraction dont la tache centrale a un diamètre $L = (45 \pm 1) \text{ mm}$ sur un capteur placé à une distance $D = (350 \pm 1) \text{ mm}$ de la cellule.

3. Déterminer la valeur de la taille de la cellule notée a_{exp} avec quatre chiffres significatifs.

L'incertitude-type sur la taille de la cellule est donnée par l'expression suivante :

$$u(a) = a_{\text{exp}} \times \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(L)}{L}\right)^2}$$

avec $u(D) = u(L) = 1 \text{ mm}$ et $u(\lambda) = 1 \text{ nm}$

4. Déterminer la valeur de l'incertitude-type $u(a)$ arrondie à deux chiffres significatifs, puis écrire la valeur de la taille a de la cellule sous la forme : $a = a_{\text{exp}} \pm u(a)$ avec un nombre correct de chiffres sur la valeur de a_{exp} .

Le résultat d'une mesure x est considéré en accord avec une valeur de référence x_{ref} si la valeur du quotient $\frac{|x-x_{ref}|}{u(x)}$ est inférieure ou égale à 2, avec $u(x)$, l'incertitude-type associée.

5. Emettre une hypothèse sur la nature de la cellule analysée. Valider cette hypothèse par un calcul.

EXERCICE 2 : LE SCANNER A RAYONS X – (10 POINTS)

La radiographie réalisée par un scanner à rayons X est une technique d'imagerie médicale utile dans le diagnostic de nombreuses pathologies.

Le scanner crée un faisceau à rayons X à l'aide d'un tube à rayons X ou tube de Coolidge.



Scanner à rayons X

Dans ce tube à rayons X, une tension élevée U est maintenue entre un filament cathodique, borne négative, et une anode tournante, borne positive (figures 1 et 2). Un courant électrique provoque l'échauffement d'un filament situé à la cathode. L'agitation des électrons présents augmente et une partie d'entre eux est éjectée du filament au point O, avec une vitesse négligeable. La tension U accélère les électrons du point O vers l'anode en tungstène. Devenus très énergétiques, ils frappent l'anode, ce qui produit des rayons X. Pour obtenir ces rayons X, chaque électron doit avoir acquis une énergie cinétique égale à $6,4 \times 10^{-15}$ J au minimum.

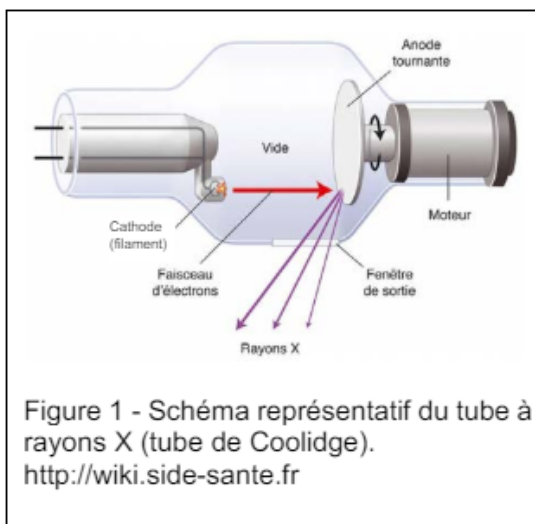


Figure 1 - Schéma représentatif du tube à rayons X (tube de Coolidge).
<http://wiki.side-sante.fr>

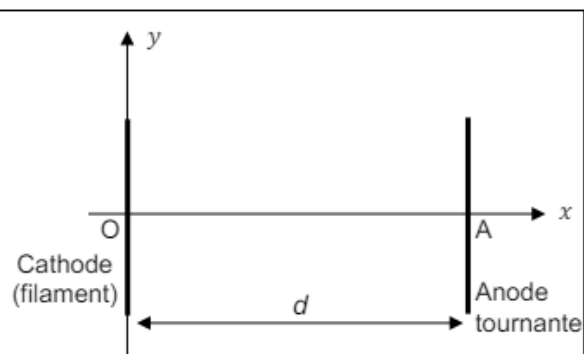


Figure 2 - Schéma simplifié

Le but de cet exercice est de calculer la tension minimale à appliquer entre la cathode et l'anode pour que le faisceau d'électrons parvienne à provoquer l'émission de photons X au niveau de l'anode.

On considèrera l'électron comme système d'étude assimilé à un point matériel dont on négligera le poids.

Son mouvement sera étudié dans un référentiel terrestre considéré comme galiléen.

À l'instant initial, l'électron est situé au point O et sa vitesse est considérée comme nulle.

Données

- Masse de l'électron : $m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg.
- Charge de l'électron : $q = -e = -1,6 \times 10^{-19}$ C

1. Reproduire la figure 2 puis tracer, entre la cathode et l'anode, sans préciser d'échelle :
 - le vecteur champ électrique supposé uniforme $\vec{E}$,
 - la force $\vec{F}$ que subit un électron situé en un point de l'axe (Ox).
2. Donner l'expression vectorielle de $\vec{F}$ en fonction de e et $\vec{E}$.
3. Montrer que les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}$ de l'électron, exprimées dans le repère (Oxy) de la figure 2, sont $a_x = \frac{e \times U}{m \times d}$ et $a_y = 0$.
4. En déduire la coordonnée du vecteur vitesse de l'électron selon l'axe (Ox), notée v_x .
Établir que x s'écrit $\frac{1}{2} \times \left(\frac{e \times U}{m \times d} \right) \times t^2$.
5. Donner l'expression littérale de t_A , l'instant où l'électron atteint l'anode (au point A) située à la distance d de O.
6. Grâce aux deux questions précédentes, en déduire que l'expression de la vitesse de l'électron au niveau de l'anode est $v_A = \sqrt{\frac{2 \times e \times U}{m}}$.
7. Répondre à la problématique de l'exercice « trouver la tension minimale à appliquer entre la cathode et l'anode pour que le faisceau d'électron parvienne à provoquer l'émission de photons X au niveau de l'anode ».
Les candidats sont invités à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.