



 Ce devoir comporte un exercice et un problème, totalement indépendants.

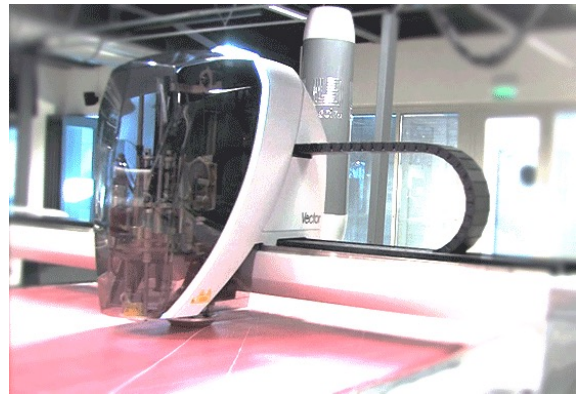
■ L'exercice est inspiré du concours Centrale-Supélec PSI 2017 relatif à la commande du moteur d'un véhicule hybride. Il aborde des notions de logique combinatoire et d'apprentissage supervisé.

6,5 points.



■ Le problème est extrait du sujet du concours CCINP MP 2018, relatif à une tête de découpe de tissus. Il s'intéresse à la régulation de vitesse de la lame, à la chaîne de mesure et son codeur incrémental, ainsi qu'à la cinématique du système de découpe.

13,5 points.



La durée de ce devoir est de 3h. Il est l'épreuve de SII du concours blanc.

La rédaction de l'exercice se fera exclusivement sur le document réponse-prévu.

La rédaction du problème se fera sur copie libre, hormis quelques questions particulières qui seront à rédiger sur le document réponse.

Aucun document n'est autorisé.

Toute calculatrice autonome est autorisée.

Il sera tenu compte de la qualité de la présentation dans la notation.

Bon courage.

EXERCICE TECHNOLOGIE HSD DE LA TOYOTA PRIUS



Partie I : Présentation du système et de ses modes de fonctionnement

Objectif : comprendre l'architecture du système HSD par une approche globale.

I.A - Introduction

Dans le contexte actuel d'économie des énergies fossiles et de réduction des émissions de gaz nocifs, le système de propulsion hybride constitue une alternative intéressante à la propulsion classique par moteur thermique seul car il permet de réduire la consommation.

La spécificité de la solution retenue sur la Prius consiste à :

- récupérer l'énergie du véhicule lors du freinage,
- exploiter le moteur thermique à son rendement optimal.

I.B - Architecture du système hybride HSD TOYOTA

Comme le montre la figure 1, la technologie hybride de TOYOTA, nommée HSD (Hybrid Synergy Drive) associe un moteur thermique à essence et sa transmission, à deux machines électriques et une batterie de puissance.

Le schéma de principe ci-contre et la figure 1 mettent en évidence les deux machines électriques (le moteur électrique et la génératrice) reliées au moteur thermique par un train épicycloïdal.

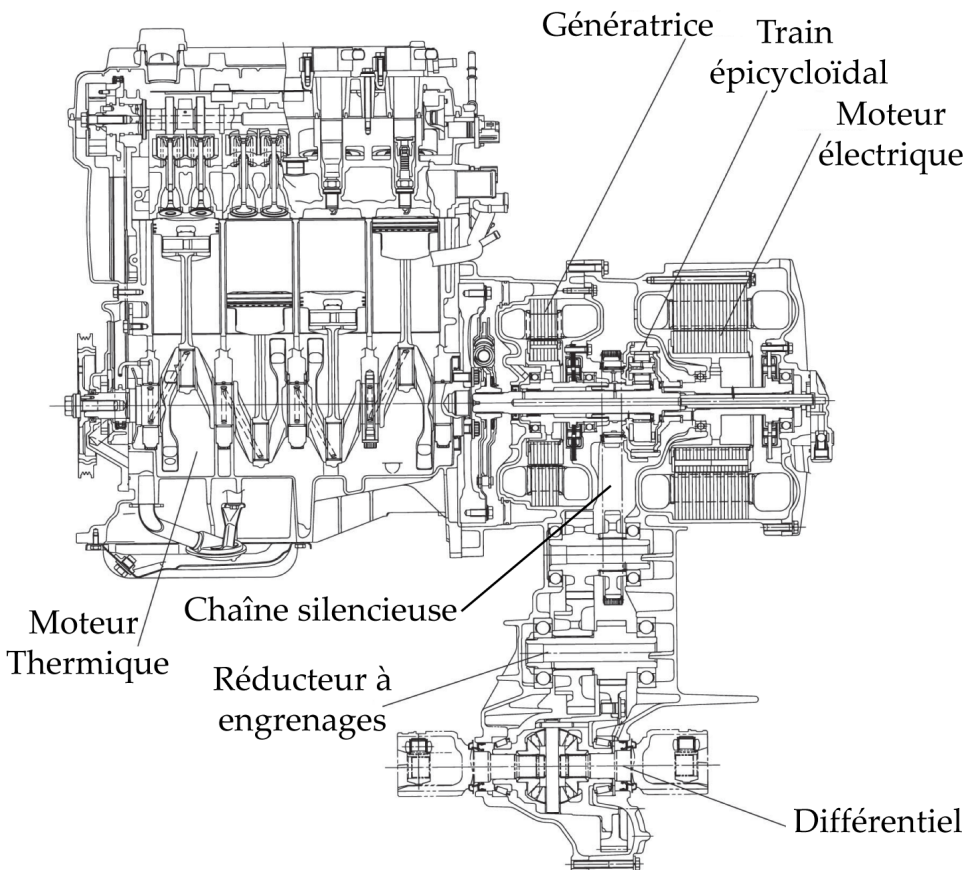
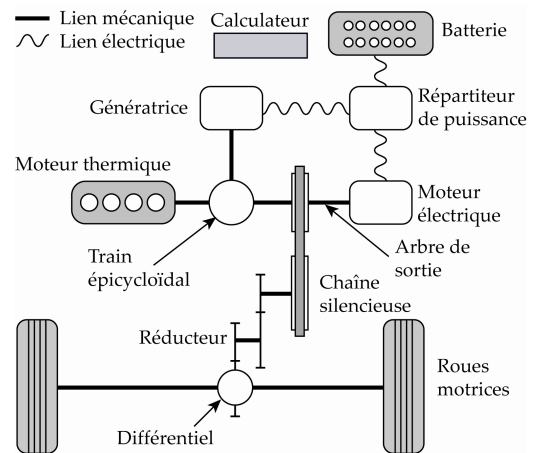


Figure 1

À partir de la position de la **pédale d'accélérateur** et de la vitesse du véhicule, le **calculateur** détermine la **vitesse de rotation optimale du moteur thermique** et la consigne d'**ouverture du papillon des gaz**. La puissance en sortie du moteur thermique est transmise, grâce à un **train épicycloïdal**, à la **chaîne silencieuse** et à la **génératrice**. Un **asservissement en vitesse** de la génératrice permet de contrôler la vitesse de rotation du moteur thermique.

Le **répartiteur de puissance** gère les échanges de puissance électrique entre la **génératrice**, le moteur électrique et la batterie.

Le **moteur électrique** entraîne la chaîne silencieuse, seul ou en complément du moteur thermique. Il récupère également l'énergie cinétique ou potentielle du véhicule lors des phases de ralentissement.

Les chaînes d'énergie et d'information, figure 2, permettent de percevoir l'organisation des différents composants du HSD. Les fonctions des capteurs relatifs à l'enfoncement de la pédale de frein, au sélecteur de marche et à la température de l'eau du moteur thermique seront développées ultérieurement.

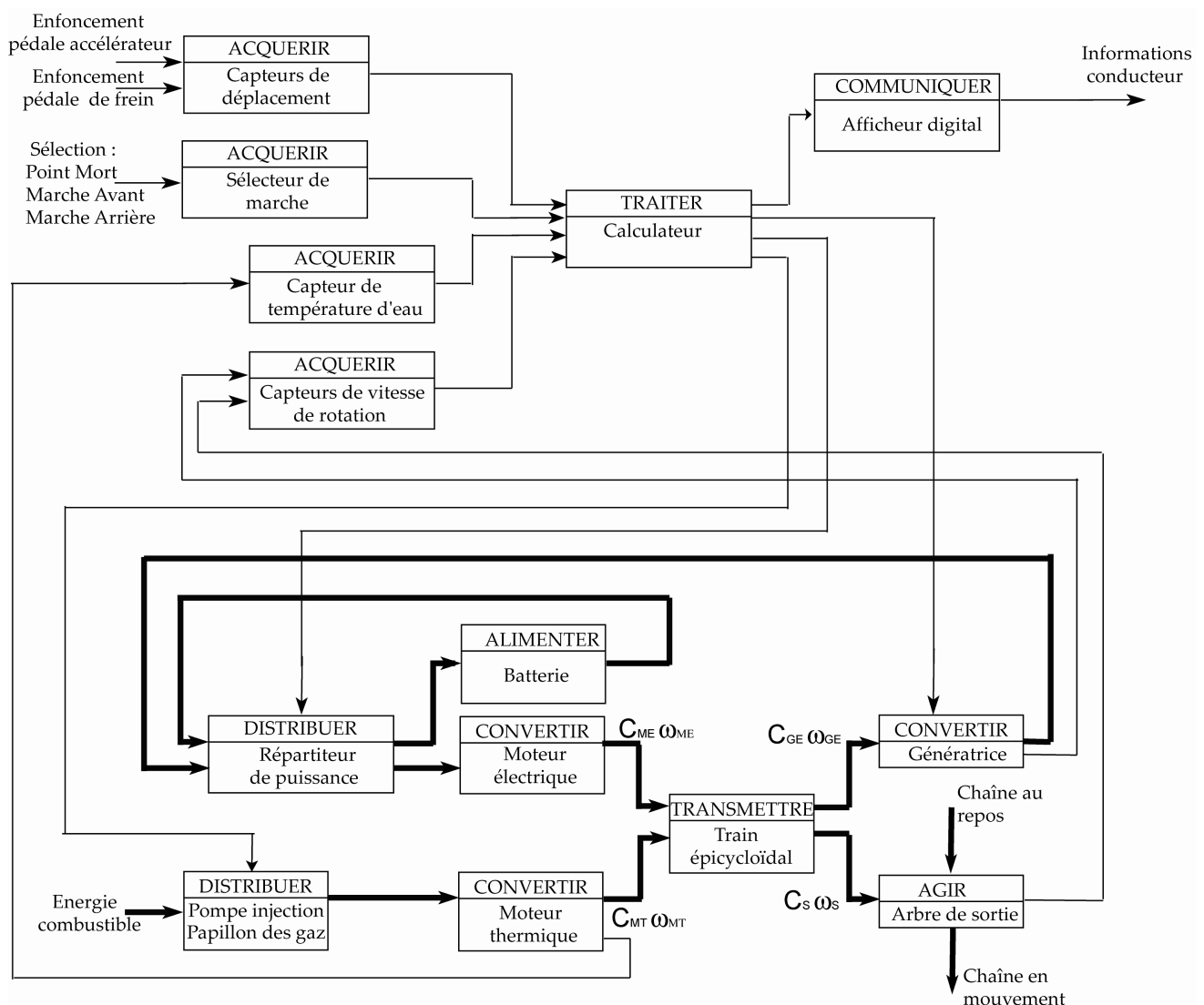


Figure 2 – Chaîne d'information (partie supérieure) et Chaîne d'énergie (partie inférieure)

Les réponses aux questions posées se feront exclusivement sur le document-réponse prévu.

I.C - Caractérisation des fonctions de service en phase d'utilisation

Le Cahier des Charges, tableau 1, caractérise les fonctions de services du système HSD dont le contexte est défini ci-contre.

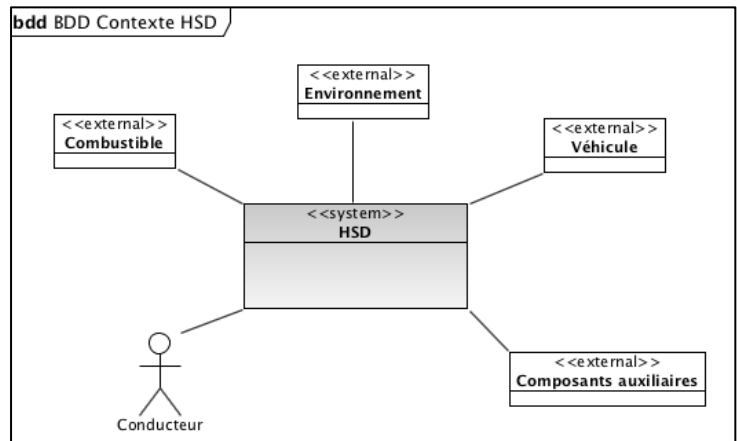


Figure 3

Fonctions de service	Critères	Niveaux
FS1 : permettre au combustible d'entraîner le véhicule	Réduction de la consommation par rapport aux véhicules traditionnels comparables	40 %
	Consommation en cycle mixte	4,3 l pour 100 km
	Vitesse maximale	170 km/h
	Temps d'accélération de 0 à 100 km/h	10,9 s
	Temps d'accélération de 50 à 80 km/h	4,4 s
	Puissance maximale du système hybride	110 kW à 85 km/h
FS2 : respecter l'environnement	Réduction des émissions nocives de CO ₂	40 % en dessous des normes européennes
FS3 : être commandé par le conducteur	Positions du sélecteur Enfoncements des Pédales	PM/MA/MAR Accélérateur/frein
FS4 : s'adapter à la vitesse du véhicule	Vitesse de passage du mode tout électrique au mode hybride (démarrage du moteur thermique)	50 km/h
FS5 : alimenter en énergie les composants auxiliaires	Puissance maximale absorbée par les « consommateurs » d'énergie (climatisation, direction assistée, confort, ...)	4 kW maxi
FS6 : récupérer l'énergie cinétique du véhicule en freinage	Pourcentage de l'énergie cinétique récupérable	70 %

Tableau 1

I.C.1) Compléter le diagramme BDD partiel du document réponse de la fonction FS1, en précisant les activités et les composants manquants.

Partie II : Analyse de la commande du moteur thermique

Objectif : concevoir la loi combinatoire de mise en marche du moteur thermique et déterminer les paramètres de l'asservissement associé en mode hybride.

La gestion optimale des **modes de fonctionnement** du système hybride (paragraphe II.B) permet d'optimiser la consommation d'énergie chimique.

La vitesse du moteur thermique est asservie (par le biais d'un **asservissement de la vitesse** de la génératrice) à des valeurs optimales définies par le calculateur. Le moteur est ainsi exploité à son rendement maximal.

II.A - Présentation des modes de fonctionnement

Dans la suite les notations simplifiées **ME**, **MT** et **GE** désignent respectivement le Moteur Électrique, le Moteur Thermique et la Génératrice Électrique. Il existe quatre modes principaux de fonctionnement du véhicule hybride :

Mode	Commentaires
Mode 1 : tout électrique	Le moteur électrique entraîne le véhicule en puisant l'énergie électrique dans la batterie. Le moteur thermique est généralement arrêté.
Mode 2 : hybride	Le moteur thermique entraîne le véhicule. La puissance du moteur thermique en fonctionnement se répartit dans le train épicycloïdal entre : <ul style="list-style-type: none">• La puissance directement transmise aux roues,• La puissance transmise à la génératrice qui alimente alors directement le moteur électrique.
Mode 3 : récupération d'énergie	Le moteur électrique, entraîné par le véhicule, récupère une partie de l'énergie cinétique et la convertit en énergie électrique qui recharge la batterie.
Mode 4 : mode mixte	Le moteur électrique et le moteur thermique entraînent le véhicule, lors de fortes accélérations. Dans ce mode, le moteur électrique est alimenté non seulement par l'énergie délivrée par la génératrice mais aussi par la batterie, ce qui correspond au cumul des deux modes 1 et 2. Ce mode de fonctionnement ne sera pas étudié ici.

Tableau 2

II.B - Détermination d'une loi simplifiée de mise en marche du moteur thermique

Les **paramètres de contrôle** du système HSD sont :

- Les variables binaires d'entrée contrôlées par le conducteur :
 - La consigne, notée EV , permettant au conducteur de privilégier un fonctionnement « Tout Électrique », jusqu'à une vitesse de 50 km/h.
 - Le Sélecteur de Marche Avant ($MA=1$ si enclenché, 0 sinon), Arrière ou Point Mort.
 - P_{tot} , associée à la position de la pédale d'accélérateur qui traduit la valeur de la puissance motrice, à laquelle il faut rajouter la puissance demandée par les composants auxiliaires pour obtenir la puissance totale. $P_{tot} = 1$ signifie que la puissance demandée est supérieure à 6 kW.
 - F_r , associée à l'appui sur la pédale de frein ; $F_r = 1$ indique un appui sur cette pédale.
- Les variables binaires de fonctionnement :
 - V_e , associée à la vitesse du véhicule ; $V_e = 1$ signifie que la vitesse est supérieure à 50 km/h.
 - T_e , associée à la température de l'eau du moteur ; $T_e = 1$ correspond à une température de l'eau supérieure à 50°C. (Il faut environ 20 minutes à un moteur thermique pour se refroidir).

Les conditions de fonctionnement du moteur thermique sont :

- Arrêt impératif à l'arrêt du véhicule et en marche arrière.
- L'appui sur le bouton EV ($EV = 1$) interdit toute mise en route du moteur thermique si la vitesse du véhicule est inférieure à 50 km/h.
- Si la puissance demandée totale dépasse 6 kW, le moteur thermique doit se mettre en marche, sauf si $EV = 1$.
- Si la vitesse du véhicule est supérieure à 50 km/h, le moteur thermique est en marche sauf si la pédale de frein est actionnée.
- Si la température de l'eau du moteur est inférieure à 50°C, le moteur thermique doit se mettre en marche (pour conserver un bon rendement au redémarrage), sauf si $EV = 1$.
- L'appui sur la pédale de frein arrête le moteur thermique, sauf si la température de l'eau du moteur est inférieure à 50°C.

II.B.1) Établir l'expression logique de la mise en marche du moteur thermique, notée MT_1 , en fonction des quatre variables précédentes seulement. Compléter la table de vérité document réponse relative seulement aux quatre variables d'entrée P_{tot} , F_r , V_e et T_e .

II.B.2) Analyser les conditions de mise en marche avec les variables MA et EV et en déduire l'expression complète de MT en fonction des six variables d'entrée. Proposer alors, sur le document réponse, un logigramme de la commande MT .

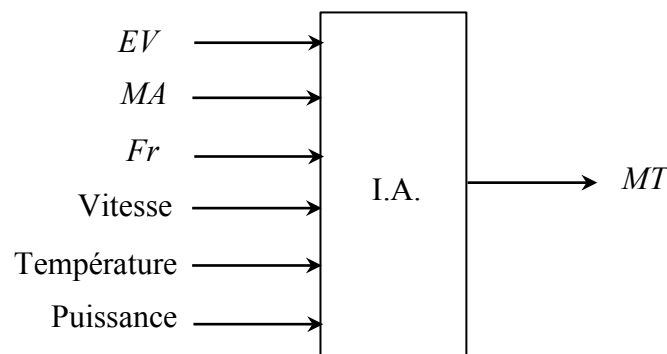
Partie III : Avant projet de solution par apprentissage supervisé

On envisage dans cette partie de remplacer la commande combinatoire par une intelligence artificielle. Celle-ci pouvant mélanger en entrée des variables continues et des variables binaires, permettra de s'affranchir de la construction de seuils pour établir les variables P_{tot} , V_e et T_e .

On aura donc six entrées :

- trois entrées binaires : EV , MA et F_r ;
- trois entrées continues : Puissance, vitesse et température ;

et toujours une sortie qui est la commande ou non du moteur thermique (MT).



III.1) L'I.A. doit-elle réaliser une régression ou une classification ?

III.2) Quel traitement, compte-tenu de données binaires, doivent subir préalablement les données continues avant d'être traitées par l'I.A. ?

On décide de tester une solution à l'aide d'un réseau de neurones à une seule couche cachée, entraîné par apprentissage.

La base de données d'apprentissage peut être obtenue, soit par simulation à partir du modèle combinatoire précédemment réalisé, soit par une séquence de conduite sur le véhicule réel pendant laquelle on relève, à l'aide de capteurs, toutes les données utiles.

III.3) Donner, sous forme de tableau, la structure de la base de données d'apprentissage.

On donne sur le document réponse une ébauche de représentation du réseau de neurones si la couche cachée contient par exemple deux neurones.

III.4) Combien de neurones de sortie devra contenir le réseau de neurones ? Compléter en conséquence le schéma du document réponse en indiquant tous les liens entre les neurones de la couche cachée et le, ou les, neurone(s) de la couche de sortie.

III.5) Rappeler, toujours sur le document réponse, la structure de base d'un neurone artificiel unique à, par exemple, six entrées (plus un biais) et une sortie.

III.6) Combien de paramètres (poids à ajuster) contient le réseau de neurones précédent ? Généraliser le raisonnement pour donner le nombre de paramètres si la couche cachée contient un nombre n de neurones.

III.7) Quel type de fonction d'activation semble pertinent pour la couche de sortie ?

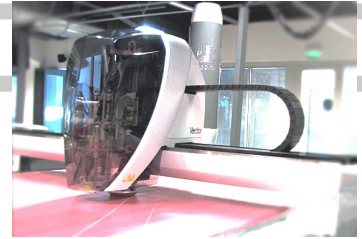
On teste l'apprentissage du réseau pour plusieurs valeurs de n et différentes fonctions d'activation pour la couche cachée et une solution permet d'obtenir une convergence de la rétro-propagation.

On réalise alors des tests à partir d'un second lot de données d'apprentissages et on obtient la matrice de confusion suivante :

		Sorties prédites	
		MT=1	MT=0
Sorties attendues	MT=1	488	12
	MT=0	203	297

III.8) Commentez cette matrice de confusion.

TÊTE DE DÉCOUPE DE TISSUS



Le système étudié dans ce sujet est une tête de coupe de tissus conçue et réalisée par la société française Lectra, leader mondial dans la découpe automatisée des tissus.

Présentation générale

Un système de découpe automatisé de tissus est composé (figure 1) :

- d'une table de découpe sur laquelle le tissu à découper (appelé matelas) est maintenu en position par aspiration ;
- d'un bras transversal qui se déplace en translation de direction \vec{y}_0 par rapport à la table ;
- d'une tête de coupe qui se déplace en translation de direction \vec{x}_0 par rapport au bras transversal ;
- d'un ordinateur qui pilote l'ensemble du système.

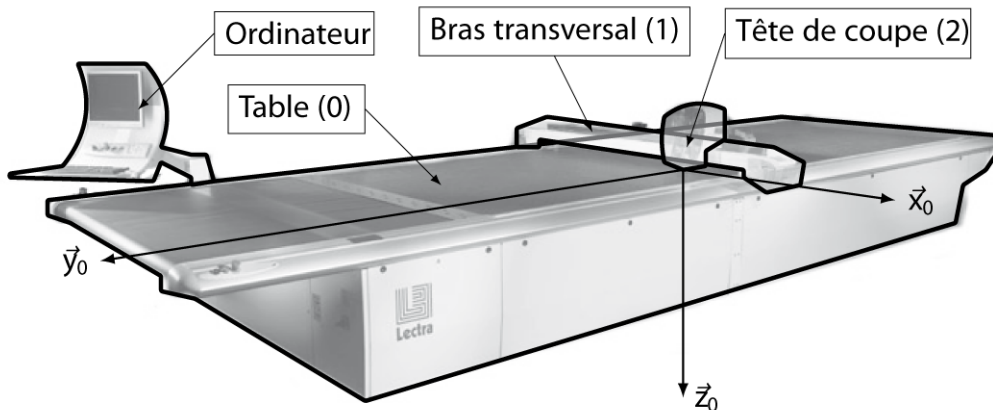
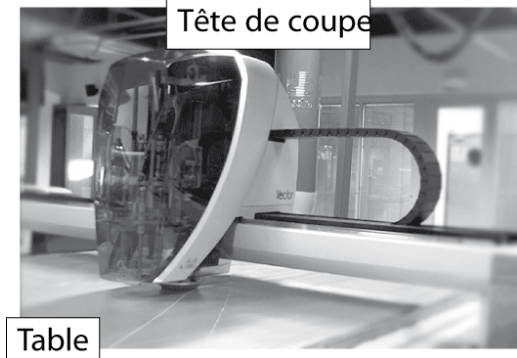


Figure 1 – Structure d'une table de découpe de tissus

Dans ce sujet, nous nous intéresserons plus particulièrement à la tête de coupe proposée par Lectra dont le diagramme partiel des exigences pour la solution de découpe (logiciel/machine) est présenté dans la figure 2.

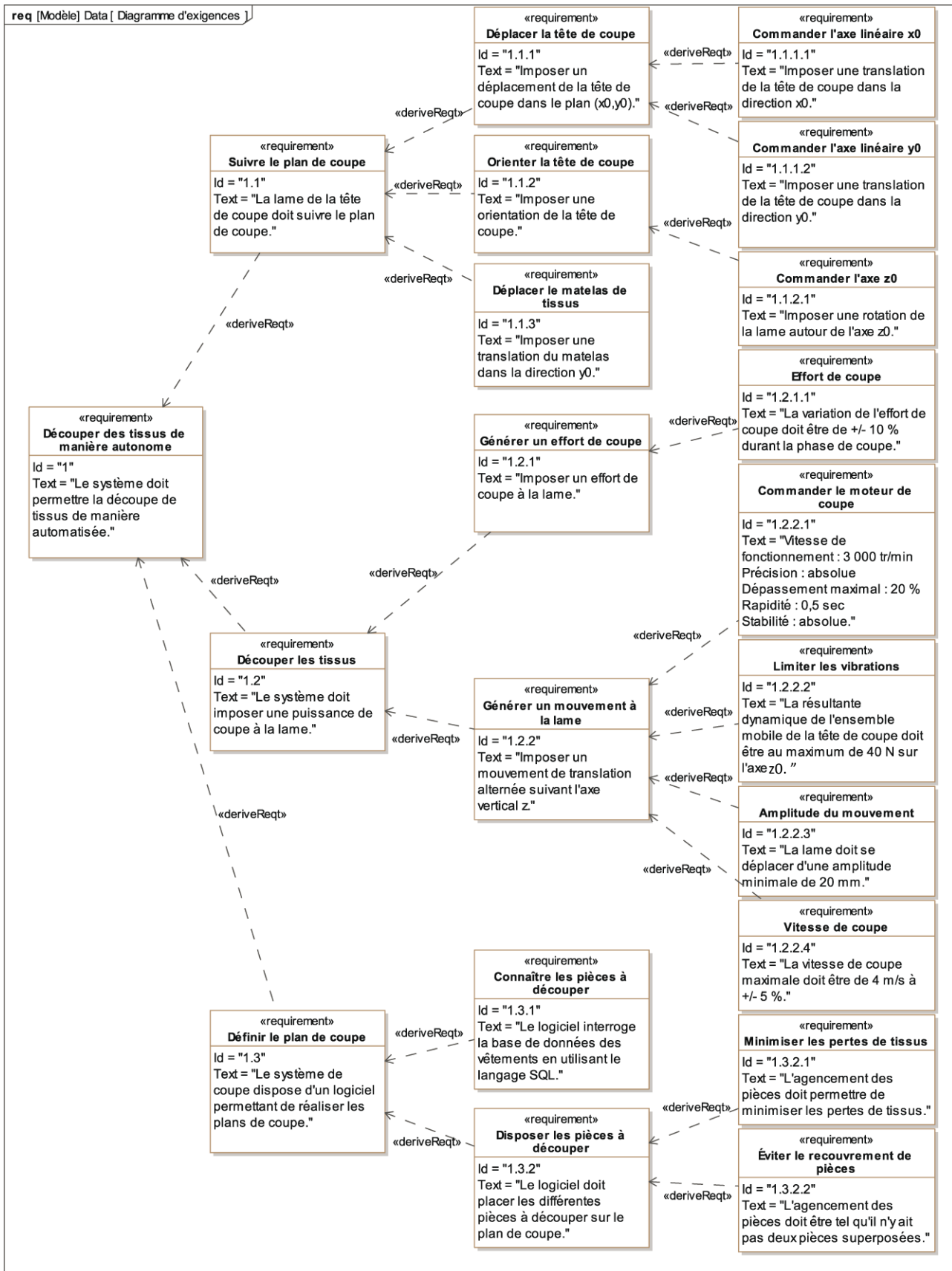


Figure 2 – Diagramme des exigences

Partie I - Modélisation du comportement du moteur de coupe

Objectif : modéliser la chaîne d'asservissement en vitesse du moteur afin de déterminer les paramètres du correcteur permettant de respecter l'exigence 1.2.2.1.

Le mouvement de coupe est asservi en vitesse. La vitesse de rotation du moteur, notée $\omega_m(t)$, est le paramètre asservi. Elle est mesurée à l'aide d'un codeur incrémental et de son conditionneur qui fournissent une tension $u_{mes}(t)$, image de la vitesse de rotation du moteur. Cette tension est comparée à la tension consigne $u_{cons}(t)$, image de la vitesse de rotation de consigne $\omega_{cons}(t)$; un adaptateur fournit $u_{cons}(t)$ à partir de $\omega_{cons}(t)$. La tension $\varepsilon(t) = u_{cons}(t) - u_{mes}(t)$ est alors transformée en tension d'alimentation du moteur $u_m(t)$ par l'ensemble correcteur-variateur.

Q1. Compléter le schéma-bloc fonctionnel du **document réponse DR1** en indiquant dans les blocs le nom des composants (moteur, adaptateur, correcteur-variateur, capteur-conditionneur) et les paramètres qui transitent entre les blocs.

I.1 - Modélisation du comportement du moteur

Objectif : modéliser le comportement en vitesse du moteur.

Le moteur utilisé est un moteur à courant continu dont les caractéristiques sont :

- R , résistance de l'induit ;
- L , inductance de l'induit ;
- k_e , constante de vitesse ;
- k_c , constante de couple.

On donne les quatre équations du modèle d'un moteur à courant continu :

$$\begin{aligned}u_m(t) &= R \cdot i(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t) \\ J \frac{d\omega_m(t)}{dt} &= c_m(t) + c_r(t) \\ c_m(t) &= k_c \cdot i(t) \\ e(t) &= K_e \cdot \omega_m(t)\end{aligned}$$

où :

- $u_m(t)$ est la tension d'alimentation du moteur ;
- $i(t)$ est l'intensité traversant l'induit ;
- $e(t)$ est la force contre-électromotrice ;
- $\omega_m(t)$ est la vitesse de rotation de l'arbre moteur ;
- $c_m(t)$ est le couple moteur ;
- $c_r(t)$ est le couple résistant ;
- J est le moment d'inertie de l'ensemble en mouvement ramené à l'arbre moteur, supposé constant dans cette partie.

Notations

La transformée de Laplace d'une fonction temporelle $f(t)$ est notée $F(p)$.

La fonction de transfert du moteur est notée : $H_m(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_m(p)}$.

Q2. Transformer les quatre équations dans le domaine de Laplace en supposant les conditions initiales nulles.

Q3. En supposant le couple résistant nul, $c_r(t) = 0$, donner la forme canonique de la fonction de transfert $H_m(p)$ en fonction de R , L , k_e , k_c et J .

I.2 – Analyse du comportement de la chaîne de mesure

Objectif : analyser le comportement du conditionneur associé au codeur incrémental afin de valider son implantation dans la boucle d'asservissement.

Le capteur est un codeur incrémental. Il est constitué d'un disque comportant deux pistes, une intérieure et une extérieure, composées de zones opaques et translucides (ou fentes) (figure 3). Des diodes électroluminescentes (LED) émettent une lumière qui peut traverser les zones translucides. Des récepteurs, situés de l'autre côté du disque en regard des LED, captent cette lumière lorsqu'ils sont face à une fente et délivrent un signal électrique, image de la présence de cette ouverture.

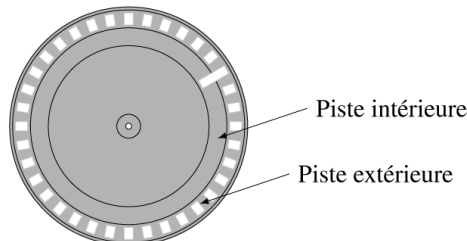


Figure 3 – Pistes du codeur incrémental

Ce codeur incrémental possède trois récepteurs :

- un récepteur est affecté à la piste intérieure et délivre une impulsion par tour ;
- deux récepteurs sont placés sur la piste extérieure et sont décalés l'un par rapport à l'autre d'un quart de largeur de fente. Les signaux ainsi émis sont décalés dans le temps.

Notations

- N_m est la fréquence de rotation en tr/min (tour/min) associée à la vitesse angulaire de l'arbre moteur ω_m ;
- a (respectivement b) est la variable binaire indiquant la réception d'un signal du premier (respectivement du deuxième) récepteur sur la piste extérieure, $a = 1$ (respectivement $b = 1$) si le récepteur est en face d'une fente ;
- $pulse_a$ (respectivement $pulse_b$) est la variable binaire du front montant de a (respectivement b), c'est-à-dire que $pulse_a = 1$ (respectivement $pulse_b = 1$) lorsque a (respectivement b) passe de 0 à 1, inversement $pulse_a = 0$ (respectivement $pulse_b = 0$) lorsque a (respectivement b) passe de 1 à 0 ;
- $sens_mot$ est la variable binaire indiquant le sens du moteur : $sens_mot = 1$ lorsque $\omega_m > 0$ et $sens_mot = 0$ lorsque $\omega_m \leq 0$;
- N est le nombre de fentes sur la piste extérieure ($N = 2500$).

Le document réponse DR2 représente l'évolution temporelle des variables a et b lorsque l'arbre moteur tourne à $N_m = 3\,000\ tr/min$.

Q4. Déterminer les valeurs numériques des durées T1 et T2 définies sur le document réponse DR2.

Q5. Compléter, sur le document réponse DR2, l'évolution temporelle des variables a et b pour $N_m = 1\,500\ tr/min$ puis $N_m = -3\,000\ tr/min$ en conservant la même échelle temporelle que celle du chronogramme tracé pour $N_m = 3\,000\ tr/min$.

Pour la question suivante, on suppose que le moteur est en mouvement.

Q6. Compléter les évènements (et les conditions de garde) des transitions du diagramme d'états, du document réponse DR3, permettant d'affecter la variable $sens_mot$. Les entrées utilisées sont a , b , $pulse_a$ et $pulse_b$.

On note θ_m l'angle en radian de l'arbre moteur.

Q7. Quelle est l'amplitude de l'erreur maxi en radian sur θ_m induite par cette démarche de comptage ?

I.3 - Optimisation des performances de l'asservissement en vitesse du moteur

Objectif : analyser les performances de l'asservissement en vitesse du moteur afin de concevoir un correcteur permettant de vérifier l'exigence 1.2.2.1.

Le correcteur de l'asservissement en vitesse du moteur est un correcteur proportionnel-intégral de fonction de transfert $H_{cor}(p) = K_p + \frac{K_i}{p} = \frac{K_p p + K_i}{p}$. Un tel correcteur insère donc un intégrateur dans la fonction de transfert en boucle ouverte de l'asservissement.

Les résultats de simulation de la réponse du moteur $N_m(t)$, en boucle fermée, pour une entrée échelon d'amplitude $N_0 = 3\,000 \text{ tr/min}$ pour différentes valeurs de K_p et de K_i sont donnés sur la figure 4.

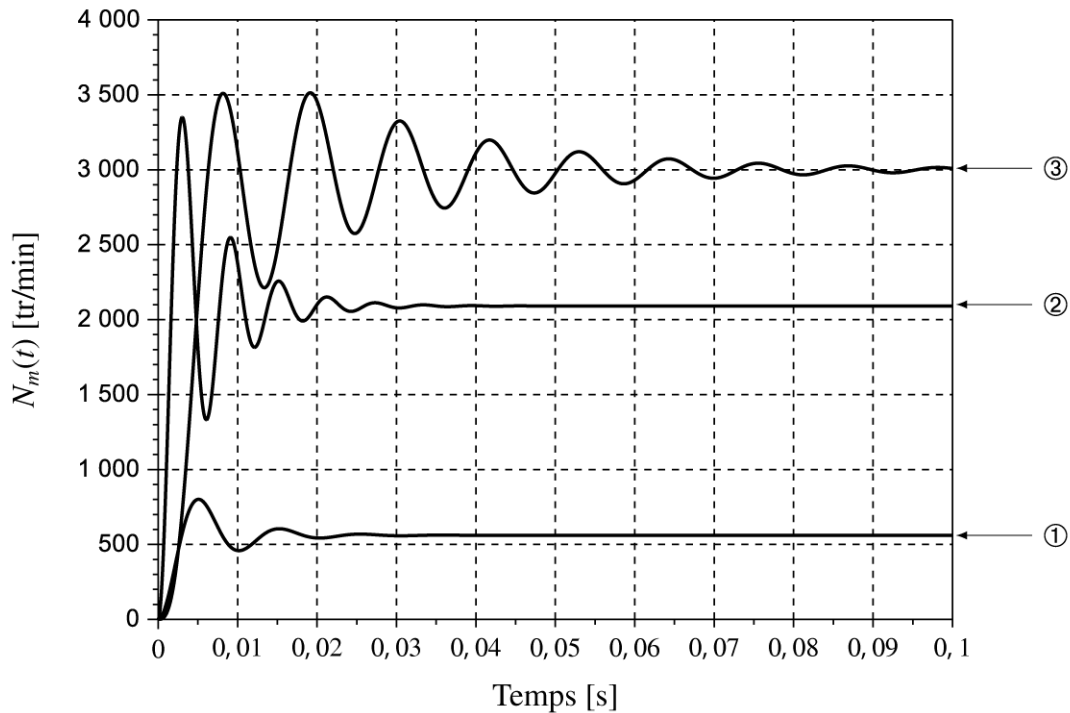


Figure 4 – Évolutions simulées de $\omega_m(t)$ pour une consigne $N_0 = 3\,000 \text{ tr/min}$ et pour différentes valeurs des gains K_p et K_i

Q8. Pour chaque courbe de la figure 4, préciser, en le justifiant, si la valeur de K_i est nulle ou non.

Q9. Pour les courbes (1) et (2), préciser, en le justifiant, la simulation qui est associée à la plus grande valeur de K_p .

Q10. Déterminer, pour chaque courbe (1), (2) et (3), les valeurs associées aux quatre critères de performances de l'exigence 1.2.2.1. Conclure sur le correcteur à adopter.

Questions 11 à 16 (informatique) supprimées

Partie III – Modélisation du comportement mécanique de la tête de coupe

Objectif : modéliser le comportement dynamique de la tête de coupe afin d'identifier un phénomène de vibration néfaste au regard de l'exigence 1.2.2.

III.1 - Modélisation du comportement cinématique de la tête de coupe

Objectifs : déterminer la loi entrée/sortie de la chaîne cinématique de la tête de coupe et valider son comportement vis-à-vis des exigences 1.2.2.3 et 1.2.2.4.

La découpe du tissu est réalisée par un mouvement de translation alternative d'une lame par rapport au matelas de tissus. Ce mouvement est obtenu par un système bielle-manivelle dont le schéma cinématique est donné par la figure 9. Les mouvements de translation de la tête de coupe par rapport à la table impliquent que les bases $(\vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ et $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, liées respectivement à la tête de coupe et à la table, sont identiques (figure 1).

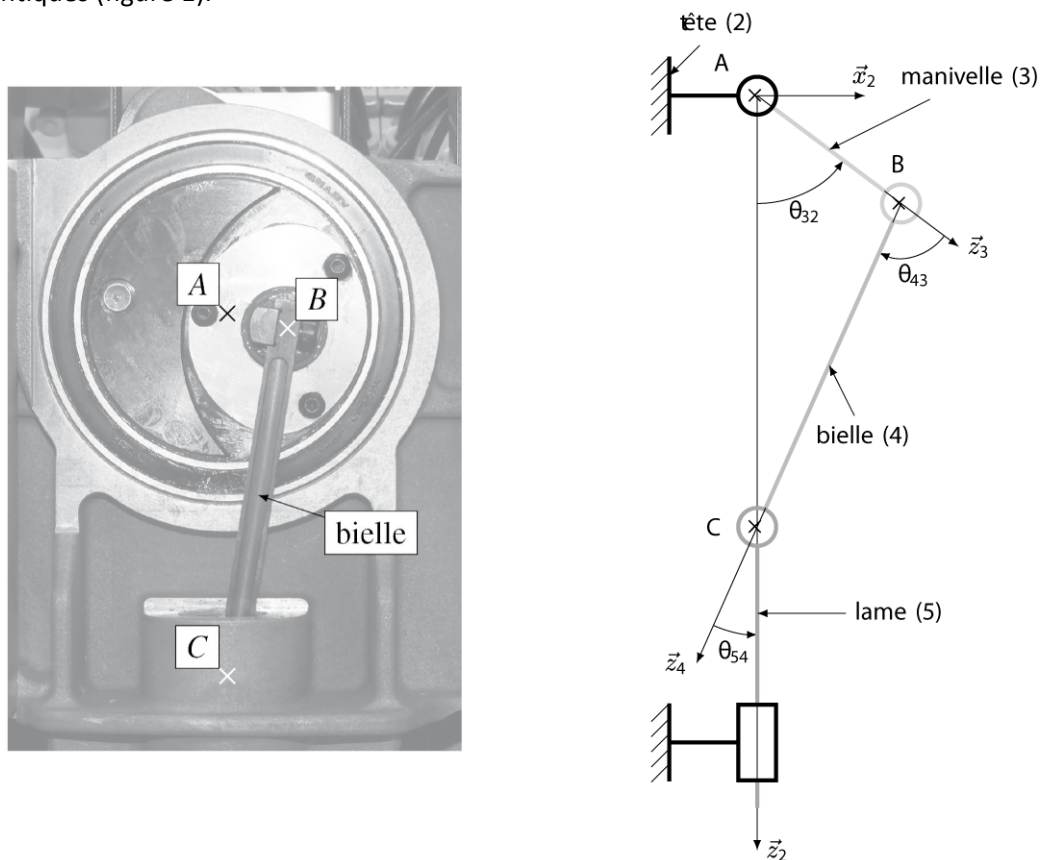


Figure 9 – Système d'entraînement de la lame de coupe et schéma cinématique associé

Modélisation des liaisons et paramétrage du système

On associe le repère $\mathcal{R}_2 = (A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ à la tête 2, le repère $\mathcal{R}_3 = (A, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$ à la manivelle 3, le repère $\mathcal{R}_4 = (B, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_4)$ à la bielle 4 et le repère $\mathcal{R}_5 = (C, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$ à la lame 5.

La manivelle 3 est en liaison pivot avec la tête 2, d'axe (A, \vec{y}_2) et d'angle $\theta_{32}(t) = (\vec{x}_2, \vec{x}_3) = (\vec{z}_2, \vec{z}_3)$.

La manivelle 3 est en liaison pivot avec la bielle 4, d'axe (B, \vec{y}_2) et d'angle $\theta_{43}(t) = (\vec{x}_3, \vec{x}_4) = (\vec{z}_3, \vec{z}_4)$.

La bielle 4 est en liaison pivot avec la lame 5, d'axe (C, \vec{y}_0) et d'angle $\theta_{54}(t) = (\vec{x}_4, \vec{x}_2) = (\vec{z}_4, \vec{z}_2)$.

La lame 5 est en liaison glissière avec la tête 2, de direction \vec{z}_2 et de paramètre linéaire $\lambda(t)$.

On pose $\omega_{ij}(t) = \frac{d\theta_{ij}(t)}{dt} = \dot{\theta}_{ij}(t)$, $\overrightarrow{AB} = L_3 \overrightarrow{z_3}$ avec $L_3 = 12,5 \text{ mm}$, $\overrightarrow{BC} = L_4 \overrightarrow{z_4}$ avec $L_4 = 80 \text{ mm}$ et $\overrightarrow{AC} = \lambda(t) \overrightarrow{z_2}$.

Q17. Déterminer la relation entre les paramètres angulaires $\theta_{32}(t)$, $\theta_{43}(t)$ et $\theta_{54}(t)$.

Q18. À l'aide d'une fermeture géométrique, déterminer la relation entre le paramètre $\lambda(t)$, l'angle $\theta_{32}(t)$ et les données géométriques du système.

Q19. En déduire l'expression littérale de l'amplitude des oscillations de la lame, notée Δz . Faire l'application numérique et conclure sur le respect de l'exigence 1.2.2.3.

Q20. Calculer le rapport $\left(\frac{L_4}{L_3}\right)^2$ et le comparer à la valeur 1. Montrer alors que la loi obtenue à la question Q17 peut se mettre sous la forme $\lambda(t) \approx L_3 \cos \theta_{32}(t) + L_4$.

Afin de valider cette approximation, les deux fonctions mathématiques ont été tracées sur un tour de l'arbre moteur (figure 10).

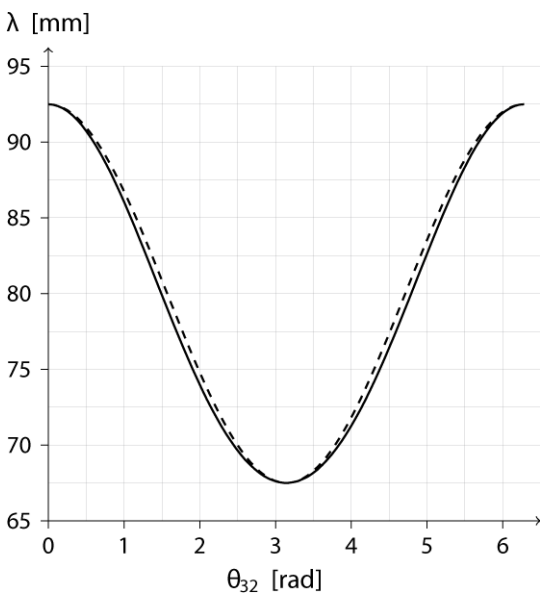


Figure 10 – Évolutions théorique (—) et approximée (---) du paramètre λ

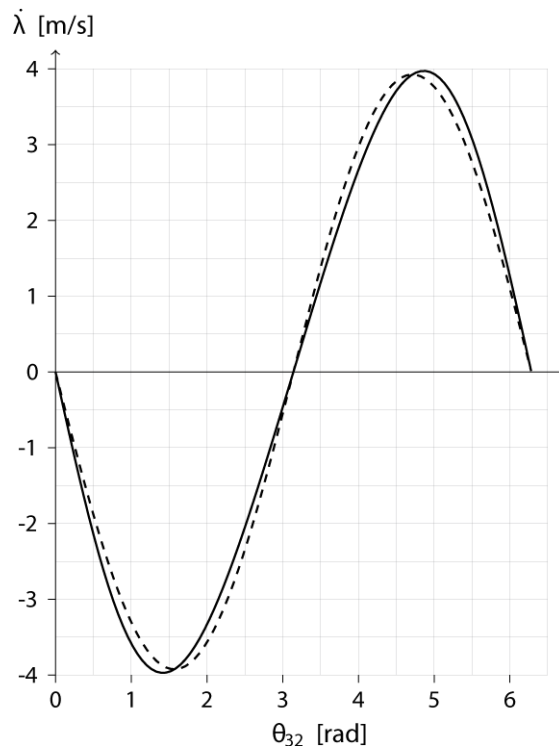


Figure 11 – Évolutions théorique (—) et approximée (---) de la vitesse $\dot{\lambda}$ pour une vitesse $\dot{\theta}_{32} = 3\,000 \text{ tr/min}$

Q21. Conclure sur l'adoption de la loi approximée dans la suite de l'étude.

Afin de valider le critère associé à l'exigence de vitesse de coupe, il est nécessaire de déterminer la loi en vitesse de la lame notée $\dot{\lambda}(t)$.

Q22. Déterminer l'expression littérale de $\dot{\lambda}(t)$ à partir du modèle simplifié de $\lambda(t)$.

Cette loi en vitesse simplifiée a été tracée (figure 11) pour être comparée à la loi obtenue à partir du modèle établi en question Q17.

Q23. La simplification de la loi en vitesse permet-elle de valider l'exigence 1.2.2.4. ?

III.2 - Modélisation du comportement dynamique de la tête de coupe

Objectif : identifier la cause des vibrations à partir de la modélisation dynamique du comportement de la tête de coupe.

L'étude précédente a permis de montrer que la vitesse de coupe n'était pas constante. Des essais sur le système réel ont permis d'obtenir l'évolution de l'effort de coupe au cours du temps pour une vitesse du moteur de $\dot{\theta}_{32} = 3\,000 \text{ tr/min}$ (figure 12).

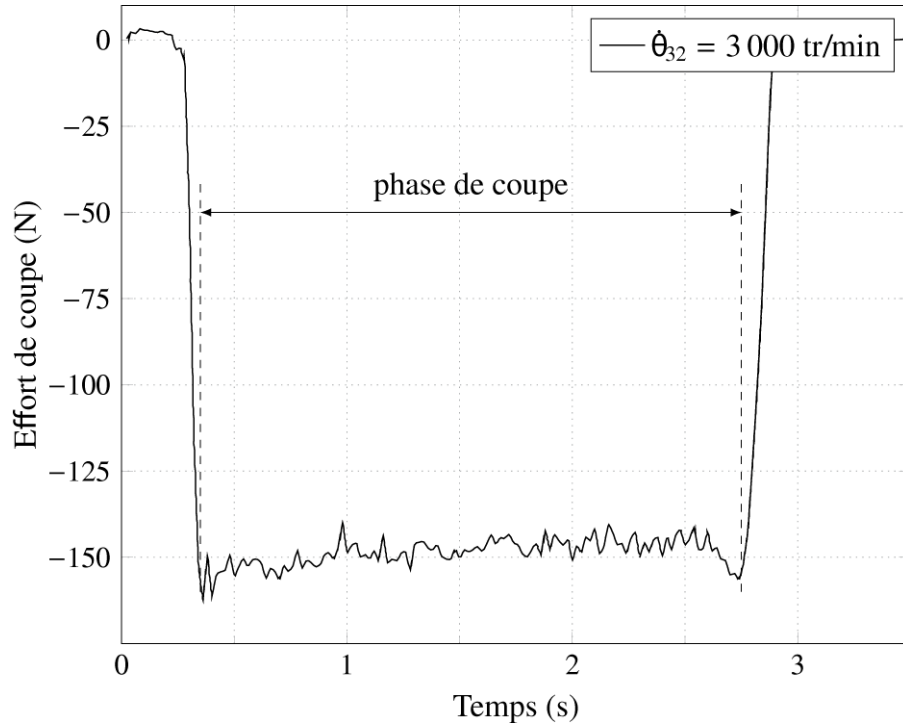


Figure 12 – Évolution de l'effort de coupe

Q24. Durant la phase de coupe, déterminer les valeurs moyenne, maximale et minimale de l'effort de coupe.

Q25. Conclure sur la validation de l'exigence 1.2.1.1. Justifier.

Questions 26 à 44 (dynamique) supprimées