

**SESSION 2011**

---

**AGRÉGATION  
CONCOURS EXTERNE**

**Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE**

**COMPOSITION D'ÉLECTROTECHNIQUE**

Durée : 6 heures

---

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

## Etude d'une laveuse autoportée

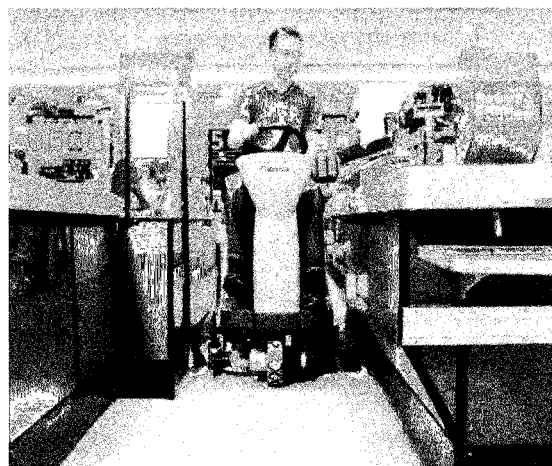
### Avertissements

Les 4 parties de cette composition sont indépendantes ; il est toutefois instamment recommandé de les traiter toutes et de consacrer à chacune un temps de travail proportionné. Chaque partie devra être rédigée sur une (des) copie(s) séparée(s). Le questionnement dans chaque partie est progressif, il est donc recommandé de traiter les questions dans l'ordre proposé.

---

### Présentation

*La société Nilfisk propose une large gamme d'engin de nettoyage des sols. Le constructeur propose des machines correspondant à tous les usages. Pour les très grandes surfaces à nettoyer de plusieurs milliers de m<sup>2</sup> la solution des laveuses autoportée s'impose. C'est par exemple le cas des sols de super et hyper marché. Les qualités de ces machines résident dans leur sécurité d'usage, leur faible nuisance sur l'environnement, leur autonomie et leur maniabilité. Cette maniabilité impose des encombrements minimisés en largeur et des rayons de giration très faible.*



*La machine ne mesure que 77 cm de large et permet à ces modèles à conducteur porté de nettoyer pratiquement partout.*



*La structure d'un châssis à trois roues a été choisie en raison de la simplicité de la partie mécanique pour le choix de la direction et de la traction.*

*Par ailleurs la solution d'une motorisation électrique s'impose naturellement. Elle permet un usage silencieux et non polluant pour l'environnement de travail.*

*Sur la gamme actuelle, la motorisation est assurée par la roue avant avec une machine à courant continu. Une évolution est envisagée qui conduirait à remplacer la motorisation avant par deux moteurs roue synchrone à l'arrière non orientable mais commandés en couple. Cette modification doit à minima maintenir les performances de la solution existante. Le modèle est la laveuse BR 751C.*

*Le gain escompté porte sur la simplification de la partie mécanique réduite à une roue libre à l'avant, sur la suppression du câblage souple de l'alimentation de la machine de traction, sur la simplification de la chaîne cinématique et du rendement global.*

*Ce sujet est consacré à l'étude de cette nouvelle motorisation au travers quatre parties :*

Partie A – Etude de la partie mécanique de la laveuse autoportée

- la première partie est consacrée à l'étude de la stabilité mécanique de la laveuse autoportée lors de différentes circonstances d'utilisation et à l'étude des caractéristiques de couples et de vitesses demandées à la motorisation.*

Partie B – Etude des besoins de motorisation et d'énergie embarquée

- la deuxième partie est consacrée à la détermination de la puissance des moteurs de l'énergie embarqués et de la masse des accumulateurs.*

Partie C – Etude de la motorisation

- la troisième partie concerne le dimensionnement des moteurs roues.*

Partie D – Etude de la commande des moteurs

- la quatrième partie est dédiée à l'étude du convertisseur d'alimentation des machines et à leur commande.*

# QUESTIONNEMENT

## Partie A .Etude de la partie mécanique de la laveuse autoportée

A-1 Stabilité lors de l'opération de chargement-déchargement

A-2 Étude en virage

A-1 Stabilité lors de l'opération de chargement-déchargement

On étudie dans cette partie la stabilité de la laveuse autoportée dans les conditions caractéristiques de l'usage.

Dans un premier temps, la laveuses auto portée est acheminée sur le lieu de travail par un véhicule utilitaire à plateau. Elle est déchargée par le chauffeur grâce à une rampe. La pente maximale est de 16% (soit un angle de  $9,2^\circ$ ), imposée par la hauteur du plateau du véhicule utilitaire. On propose de s'intéresser à l'opération de chargement et de déchargement afin de prévenir tous risques de basculement.

Valeur maximale de la pente

16%

Angle  $\alpha$  maximum  $9,2^\circ$

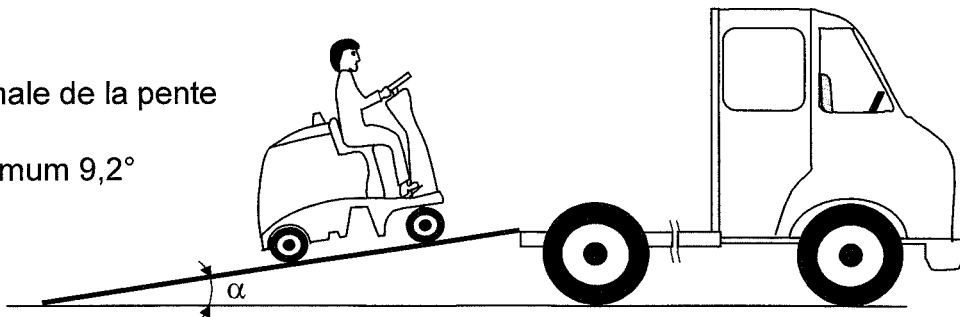
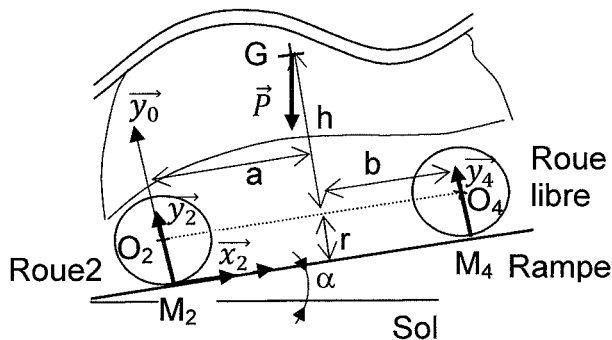


Figure 1 : chargement de la laveuse autoportée

### Hypothèses

L'auto-laveuse se déplace en ligne droite ce qui permet l'utilisation d'un modèle plan Fig2. Par raison de symétrie, on propose de travailler sur un modèle simplifié de type « bicyclette ».

Pour cela les roues arrières sont modélisées par la roue équivalente unique, la roue 2, qui supportera les résultantes des forces appliquées sur les roues arrières, avec les hypothèses suivantes :



$a=0,7 \text{ m}$ ,  $b=0,5 \text{ m}$   $r=0,125 \text{ m}$ ,  $h=0,375 \text{ m}$

Figure 2

On définit un repère galiléen  $R_0$ :  
 $R_0 = R_0 = (O_0; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  lié à la rampe tel que  $\vec{x}_0$  est parallèle à la direction de la rampe et  $\vec{y}_0$  est normal à la direction de la rampe. Dans cette première étude tout l'ensemble est immobile.

Tournez la page S.V.P.

- La pesanteur est notée  $\vec{g}$ ,
- la masse des roues (et donc leur inertie) est négligée,
- le contact des roues avec la rampe est modélisé par des liaisons ponctuelles en  $M_4$  et  $M_2$  avec frottement de normale ( $M_4, \vec{y}_0$ ) pour la roue avant et ( $M_2, \vec{y}_0$ ) pour la roue arrière équivalente,
- chaque roue roule sans glisser sur la rampe au point de contact  $M_4$  pour la roue libre et  $M_2$  pour la roue équivalente arrière,
- les liaisons pivots qui lient les roues aux axes  $O_2$  et  $O_4$  sont parfaites,
- les efforts selon la direction de  $\vec{z}_0$  sont considérés nuls,
- la roue avant est libre et l'inertie est négligée. L'effort  $X_4$  selon  $\vec{x}_0$  est alors considéré nul,
- la masse de l'ensemble en mouvement est  $m$  massée au point  $G$ .

A-1-1. La laveuse autoportée est engagée sur la rampe, à l'arrêt, freins actionnés. En appliquant le principe fondamental de la statique tel que la somme des forces appliquées  $\sum (\vec{F}_{ext})_{/M_2} = \vec{0}$  au point  $M_2$  est nulle et la somme des moments appliquée au point  $M_2$  d'axe  $Z_0$  est nulle  $\sum \vec{M}_{/M_2}(\vec{F}_{ext}) = \vec{0}$

exprimer la pente maximale autorisée sans risque de basculement de la laveuse autoportée vers l'arrière en fonction des dimensions  $a, r, h$ .

Calculer l'angle maximum de la rampe avec le sol.  $a=0,7$  m,  $r=0,125$  m,  $h=0,375$  m. Conclure sur le respect du cahier des charges.

A-1-2. Dans cette partie, on propose d'utiliser la notation des torseurs d'actions mécaniques. Lorsqu'un solide 1 est en contact avec un solide 2, le torseur statique d'action mécanique de 2 sur 1 au point  $A$  est noté  $\vec{\Gamma}_{2/1}$ . Son expression est

$$\vec{\Gamma}_{2/1} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{\mathfrak{R}}_{2/1} \\ \vec{M}_{A2/1} \end{array} \right\}_A \text{ dans laquelle } \vec{\mathfrak{R}}_{2/1} \text{ représente la résultante des forces exercée par le}$$

solide 2 sur le solide 1 et  $\vec{M}_{A2/1}$  est le moment du couple exercé par le solide 2 sur le solide 1 au point  $A$ .

Ce torseur peut s'écrire en n'importe quel point. Le point  $A$  où l'on choisit de définir le moment est appelé « centre de réduction ».

Lorsqu'on veut connaître les composantes d'un moment en un point  $B$  connaissant entièrement celles-ci en un point  $A$  et connaissant le vecteur déplacement  $\vec{BA}$ , on utilise la relation suivante :  $\vec{M}_{B2/1} = \vec{M}_{A2/1} + \vec{BA} \wedge \vec{\mathfrak{R}}_{2/1}$

On impose à l'instant  $t=0$  une accélération  $\vec{\gamma} = \gamma \cdot \vec{x}_0$ . À cet instant la vitesse linéaire  $\vec{V} = \vec{0}$ .

L'action du sol au point  $M_2$  est notée  $\vec{\Gamma}_2(sol \rightarrow M_2) = \left\{ \begin{array}{l} X_2 \vec{x}_0 + Y_2 \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{M_2}$

L'action du sol au point  $M_4$  est notée  $\vec{\Gamma}_4(sol \rightarrow M_4) = \left\{ \begin{array}{l} Y_4 \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{M_4}$

Exprimer l'action du sol  $\vec{\Gamma}_4(sol \rightarrow M_4)$  ramenée au point  $M_2$

A-1-3. Exprimer l'action de la pesanteur au point G notée  $\vec{\Gamma}_g(\text{terre} \rightarrow G)$ .

A-1-4. Exprimer l'action de  $\Gamma_g$  ramenée au point  $M_2$ .

A-1-5 On applique au véhicule de masse  $m$  une accélération  $\gamma$  telle que son action en G

$$s'écrit : \vec{\Gamma}(\text{chassis} \rightarrow G) = \left\{ \begin{array}{c} m \cdot \gamma \cdot \vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{M_4}$$

Exprimer l'action de  $\vec{\Gamma}(\text{chassis} \rightarrow G)$  ramenée au point  $M_2$ .

A-1-6 En appliquant le principe fondamental de la dynamique au point  $M_2$ , exprimer l'action du sol  $\vec{Y}_4$  sur la roue libre au point  $M_4$ .

A-1-7. Déduire de l'expression de  $\vec{Y}_4$  la valeur limite  $\gamma_1$  de l'accélération qui conduit au basculement vers l'arrière de la laveuse auto portée lorsque le véhicule gravit la pente maximale.

A-1-8. Calculer numériquement  $\gamma_1$ . Conclure sur la sécurité du chargement

### Définition des repères

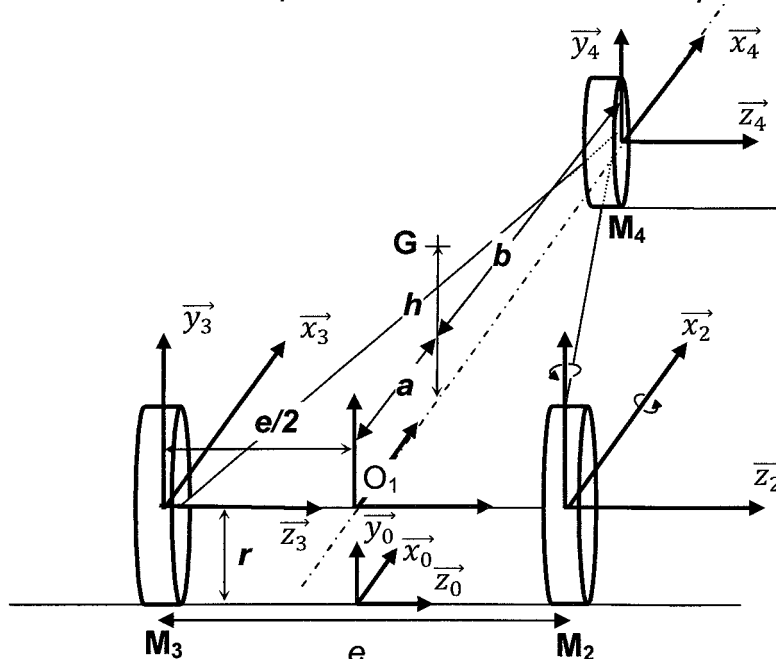
*L'étude de la laveuse auto portée en virage permettra de déterminer les valeurs limites de vitesse en virage et la loi de commande des deux moteurs roue. La structure d'un châssis à trois roues est imposée pour obtenir un rayon de giration le plus petit possible tel que la laveuse auto portée puisse tourner « sur elle même » autour du point  $O_1$ .*

*Il n'est plus possible d'utiliser un modèle plan.*

*Le repère galiléen  $R_0 = (O_0; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  est maintenant lié au sol.*

*La laveuse autoportée se déplace sur une pente nulle. On conserve un repère orthonormé direct  $R_1 = (O_1; \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  lié au châssis.*

*Les hypothèses sont identiques à celles établies dans la partie A1.*



$a=0,7 \text{ m}, \quad b=0,5 \text{ m},$   
 $d=a+b= 1,2 \text{ m},$   
 $r=0,125 \text{ m}, \quad h=0,375 \text{ m}$   
 $e=0,6 \text{ m}$

Figure 3

L'angle entre le repère  $R_1$  lié au châssis et le repère lié au sol  $R_0$  est noté  $\theta_1$

Repère  $R_1$  lié au châssis

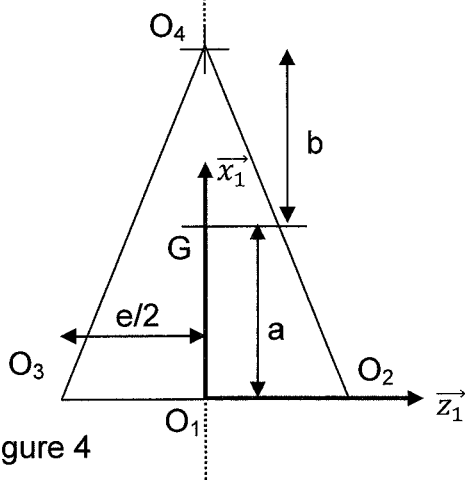


Figure 4

Angle  $\theta_1$  entre le repère châssis et le sol

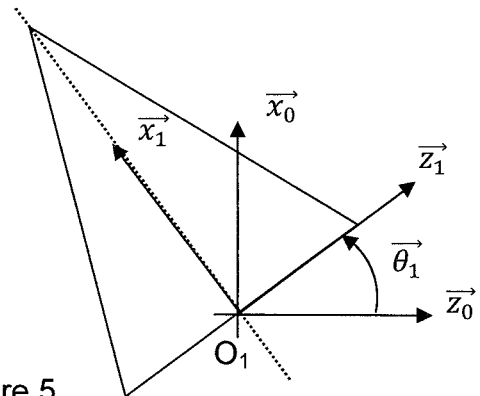


Figure 5

Les coordonnées de la roue « libre » de centre  $O_4$  et de rayon  $r$  sont :  $\overrightarrow{O_1O_4} = \begin{bmatrix} d \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

Pour le moteur roue droite :  $\overrightarrow{O_1O_2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ e \\ 2 \end{bmatrix}$       pour le moteur roue gauche :  $\overrightarrow{O_1O_3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ e \\ -2 \end{bmatrix}$

Pour le centre de gravité  $G$  :  $\overrightarrow{O_1G} = \begin{bmatrix} a \\ h \\ 0 \end{bmatrix}$

Le référentiel lié à la roue libre (4) par rapport au châssis (1) est le suivant :

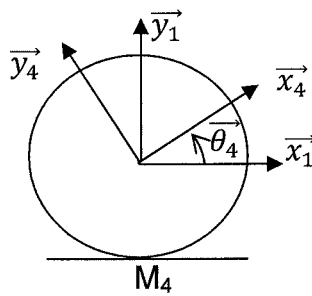


Figure 6

Le point de contact  $M_4$  entre le sol et la roue libre est .  $\overrightarrow{O_1M_4} = \begin{bmatrix} d \\ -r \\ 0 \end{bmatrix}$

Le référentiel lié à la roue arrière droite (2) par rapport au châssis (1) est le suivant :

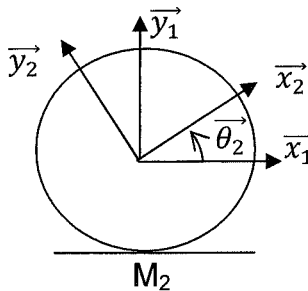
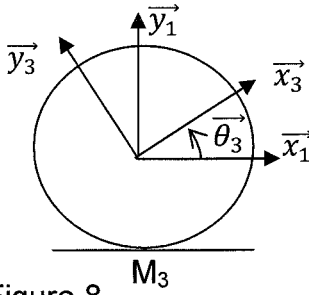


Figure 7

Le point de contact  $M_2$  entre le sol et la roue libre est  $\overrightarrow{O_1M_2} = \begin{bmatrix} 0 \\ -r \\ e \\ 2 \end{bmatrix}$

Le référentiel lié à la roue arrière gauche (3) par rapport au châssis (1) est le suivant



Le point de contact  $M_3$  entre le sol et la roue gauche est  $\overrightarrow{O_1M_3} = \begin{bmatrix} 0 \\ -r \\ \frac{e}{2} \end{bmatrix}$

Figure 8

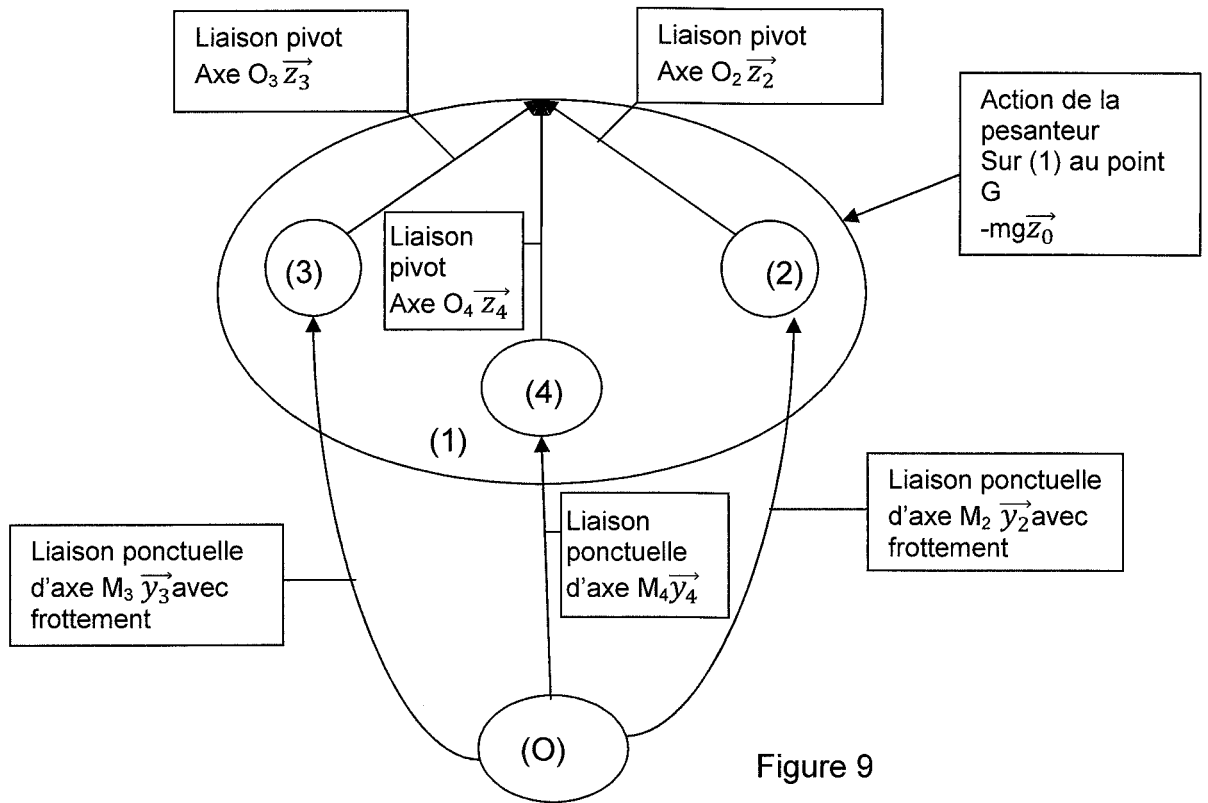


Figure 9

Le champ des vecteurs vitesses des points d'un solide (S) dans son mouvement par rapport au repère R est représenté au point A par le torseur cinématique suivant :

$\{v(S/R)\} = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}(S/R) \\ \vec{V}(A/R) \end{Bmatrix}_A$ . Le torseur  $\{v(S/R)\}$  est appelé torseur cinématique du solide (S) dans son mouvement par rapport à au repère (R).

Pour les liaisons entre deux solides le torseur cinématique entre deux solides  $S_1$  et  $S_2$

dans le repère R  $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  s'écrit  $\{v(S_2/S_1)\} = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}(S_2/S_1) \\ \vec{V}(O \in S_2/S_1) \end{Bmatrix}_O$  les éléments de réduction

dans la base R s'écrivent :  $\{v(S_2/S_1)\} = \begin{Bmatrix} \Omega_x & V_x \\ \Omega_y & V_y \\ \Omega_z & V_z \end{Bmatrix}_{\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}$

Entre les points A et B du solide (S), il existe une relation :

$\{v(S/R)\} = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}(S/R) \\ \vec{V}(B/R) \end{Bmatrix}_B$  avec la relation  $\vec{V}(B/R) = \vec{V}(A/R) + \vec{\Omega}(S/R) \wedge \overline{AB}$



## A-2 Étude en virage

L'objectif de cette partie est d'obtenir un modèle de comportement pour piloter la laveuse par la commande des moteurs roues. L'étude cinématique permettra de faire le lien entre la rotation et la translation de la laveuse en fonction des variables articulaires  $\Omega_2$  et  $\Omega_3$ . L'étude dynamique permettra de commander la laveuse en tenant compte des valeurs limites de basculement.

La conduite de l'ancienne laveuse autoportée se fait à partir de l'appui sur la pédale « d'accélérateur » et de l'action au volant, qui fixent la vitesse de rotation et la direction de la roue avant motrice. On souhaite reproduire le même comportement de la machine vis-à-vis des commandes du chauffeur. Il faudra définir quelles seront les consignes de vitesses délivrées aux deux moteurs, calculées à partir de la vitesse linéaire souhaitée de la roue libre à l'avant. Pour cela, on dispose de l'indication fournie par la pédale d'accélérateur et de la commande de direction imposée au volant qui définit l'angle  $\theta_4$  que forme la direction de la roue libre avec l'axe du véhicule, selon la figure suivante.

Angle  $\vec{\theta}_4$  entre la direction de la roue avant libre 4 et le repère 1 lié au châssis. Cet angle est fixé par le chauffeur.

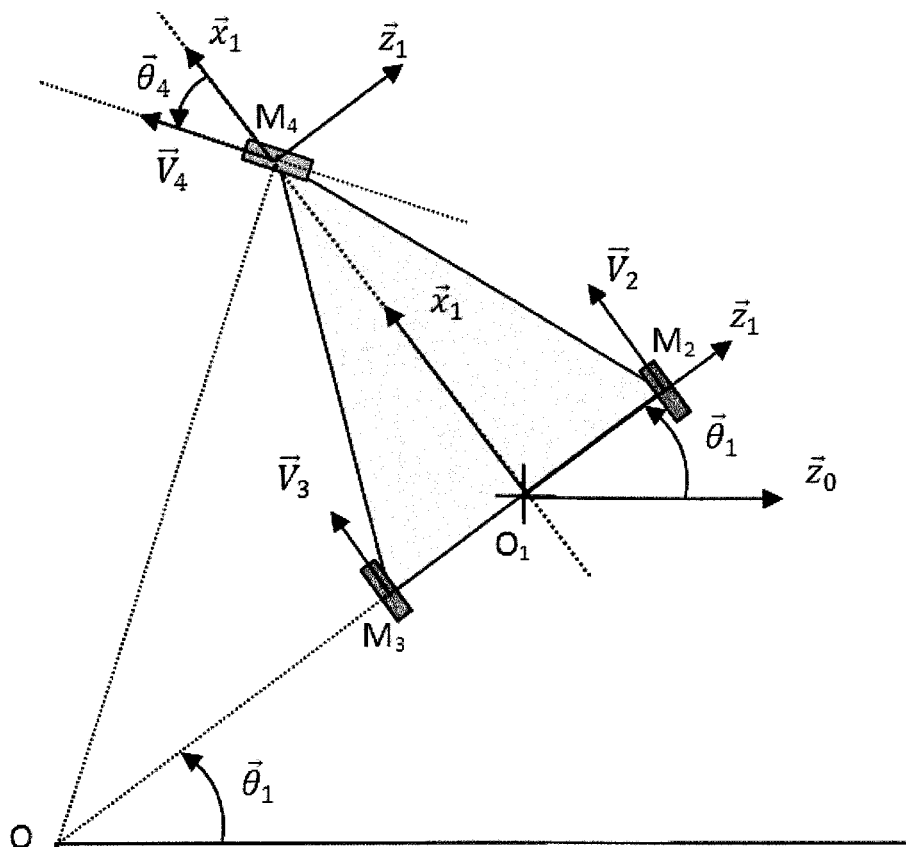


Figure 10

A-2-1 On définit la valeur du rayon de giration  $k$  tel que  $k=OO_1$ .

Exprimer  $\vec{V}_2$  et  $\vec{V}_3$  en fonction de " $k$ ", de l'empattement " $e$ " et de  $\overrightarrow{\Omega_{1/0}}$  selon l'axe  $\vec{y}_0$ .

A-2-2 En déduire l'expression de la vitesse angulaire  $\overrightarrow{\Omega_{1/0}}$  selon l'axe  $\vec{y}_0$  en fonction des vitesses angulaires  $\Omega_2$  de la roue 2 et  $\Omega_3$  de la roue 3, du rayon des roues " $r$ " et de l'empattement " $e$ ".

A-2-3 Exprimer la vitesse linéaire  $\vec{V}_{1/0}$  du point  $O_1$  dans le repère  $R_0$  en fonction des vitesses angulaires  $\Omega_2$  de la roue 2,  $\Omega_3$  de la roue 3 et du rayon des roues "r".

A-2-4 A partir des définitions du torseur cinématique, écrire le torseur cinématique de la vitesse linéaire  $\vec{V}_{4/0}$  du point  $O_4$  dans le référentiel  $R_0$ . En déduire les composantes de la vitesse  $\vec{V}_{4/0}$  selon les directions de  $\vec{x}_1$  et de  $\vec{z}_1$ .

A-2-5 Les consignes des vitesses angulaires  $\Omega_2$  de la roue 2 et  $\Omega_3$  de la roue 3 sont élaborées à partir :

- de la valeur souhaitée par le chauffeur pour la vitesse linéaire  $\vec{V}_{4/0}$  qu'il délivre grâce à la pédale d'accélérateur équipée d'un capteur. La consigne de vitesse linéaire est notée  $C_{V4}$ . Le gain entre  $V_{4/0}$  et  $C_{V4}$  est unitaire
- de la direction du véhicule fixée par le chauffeur au volant. Sa valeur est acquise par un capteur angulaire lié au volant qui fournit une grandeur  $C_{\theta 4}$ . Le gain entre  $\theta_4$  et  $C_{\theta 4}$  est unitaire.

La commande se représente alors de la manière suivante :

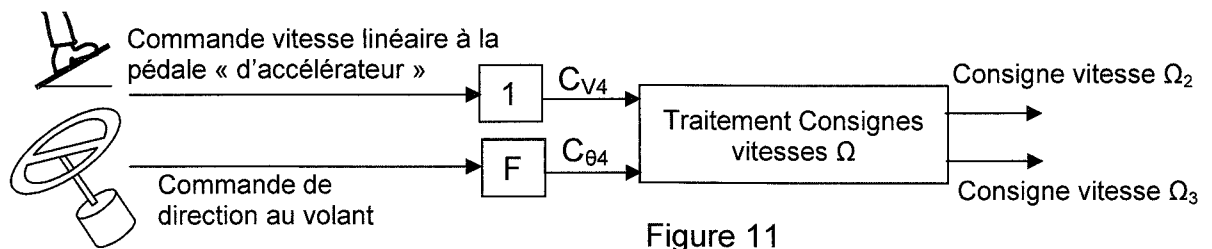


Figure 11

A l'aide des opérateurs représentés Figure 12, proposer une organisation fonctionnelle pour la macro fonction « traitement consignes vitesses  $\Omega$  ». Les valeurs des coefficients utilisés doivent être définies. Pour les sommateurs, le signe du gain affecté aux entrées peut être positif ou négatif

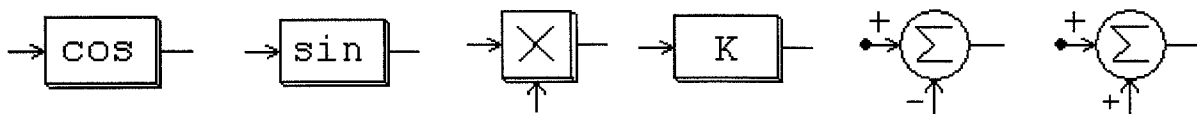


Figure 12

A-2-6 Tracer sur le document réponse 1 l'évolution des consignes vitesses de  $\Omega_2$  et  $\Omega_3$  à partir de l'évolution des grandeurs de commandes  $C_{V4}$  et  $C_{\theta 4}$  imposées sur le document réponse 1.

*On souhaite évaluer les limites de vitesse et d'accélération afin d'éviter le basculement du robot lors des trajectoires circulaires. On rappelle que les roues sont en liaisons avec le sol avec frottement sans glissement. Dans cette partie, par souci de simplification, on fera l'approximation des masses ramenées au point G.*

A-2-7 Écrire les torseurs des efforts statiques  $\vec{\Gamma}_{2/1}$  du sol (repéré 0) sur le châssis repéré 1 au point de contact  $M_2, M_3, M_4, G$ .

A-2-8 On impose des accélérations telles que le torseur des efforts dynamiques au point G

s'écrit :  $\vec{\Gamma}_{0/1} = \left\{ \begin{array}{c} m \cdot \gamma_x \cdot \vec{X}_1 + m \cdot \gamma_z \cdot \vec{Z}_1 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_G$  dans laquelle "m" est la masse concentrée au

centre de gravité de point G,  $\gamma_x$  représente l'accélération selon la direction de  $\vec{X}_1$  et  $\gamma_z$  représente l'accélération selon la direction de  $\vec{Z}_1$ .

En ramenant l'ensemble des torseurs d'actions mécanique au point M<sub>3</sub>, écrire le principe fondamental de la statique et de la dynamique afin d'identifier la valeur de l'action normale Y<sub>4</sub> (selon  $\vec{y}_1$ ) du sol sur la roue avant et l'action Y<sub>2</sub> du sol sur la roue arrière droite.

A-2-9 Déduire des équations précédentes l'expression de :

- la limite de l'accélération linéaire provoquant le décollement de la roue avant 4. Calculer sa valeur numérique.
- la limite de l'accélération centripète provoquant le décollement de la roue arrière 2. Calculer sa valeur numérique.

A 2-10 À vitesses linéaires constantes, indiquer quelle est la valeur de l'angle  $\theta_4$  la plus défavorable. Calculer la limite de la vitesse linéaire pour la roue libre avant provoquant le basculement de la roue arrière 2 dans le cas de rotation la plus défavorable.

A-2-11 Discuter de ces valeurs par rapport aux indications des spécifications et caractéristiques techniques (annexe1 et annexe2).

A-2-12 Proposer la prise en compte de ces limites dans l'élaboration des consignes de vitesse étudier au paragraphe A-2-5.

## Partie B – Détermination de l'énergie embarquée et de la motorisation.

Dans cette partie, on considère que la laveuse autoportée travaille de façon ininterrompue pour nettoyer une surface plane de 9000 m<sup>2</sup> (surface imposée par le cahier des charges). Le modèle est la laveuse BR 751C. La largeur du système de brossage-essuyage est de 71 cm.

Hypothèses :

- les frottements aérodynamiques sont négligés,
- la laveuse autoportée se déplace à vitesse uniforme  $V = 6 \text{ km.h}^{-1}$ .

La force nécessaire  $F_r$  pour déplacer la laveuse autoportée en fonctionnement se décompose en :

- $F_{rr}$ , une force de résistance au roulement qui s'exprime  $F_{rr} = C_{rr} \cdot M_T \cdot g$
- $F_b$  une force de frottement du système de brossage et de raclage considérée comme constante.

On donne :

$$F_b = 107 \text{ N}$$

$$C_{rr} = 150 \cdot 10^{-4} \text{ coefficient de résistance au roulement, } g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$$

$M_T$  masse totale de la laveuse autoportée en déplacement

$M_T = M_L + M_a$ ,  $M_L$  est la masse de la laveuse (elle inclue la masse du chauffeur) sans les accumulateurs  $M_L = 295 \text{ kg}$ ,  $M_a$  est la masse des accumulateurs à déterminer,

$W_{ma}$  est l'énergie massique en  $\text{Wh.kg}^{-1}$  des accumulateurs embarqués.

B-1 Calculer la distance théorique notée "d" nécessaire au lavage d'une surface de 9000 m<sup>2</sup>.

B-2 Exprimer en fonction des variables  $M_L$ ,  $M_a$ ,  $g$ ,  $F_b$ ,  $C_{rr}$ ,  $d$ , l'énergie  $W_r$  nécessaire au déplacement de la laveuse autoportée de façon continue avec les hypothèses données.

B-3 L'ensemble convertisseur-machine-transmission a un rendement de  $\eta_{cm}=0,7$  :

- exprimer l'énergie  $W_{ra}$  que doivent fournir les accumulateurs pour le déplacement de la laveuse
- calculer  $W_{ra}$  paramétrée en fonction de  $M_a$  pour le lavage d'une surface de 9000 m<sup>2</sup>.

B-4 *Le système de lavage du sol comprend un moteur de rotation pour la brosse, un moteur d'aspiration, un système de gestion et de commande. L'ensemble demande aux accumulateurs une puissance totale de 1300 Watt dans les conditions spécifiées.*

Calculer l'énergie  $W_{bra}$  fournie par les accumulateurs pour faire fonctionner le système de lavage d'une surface de 9000 m<sup>2</sup> sans interruption.

B-5 *Les accumulateurs sont de type plomb-acide. Le constructeur limite la décharge des accumulateurs à 80% de la capacité nominale notée  $W_{ac}$  pour garantir la durée de vie. Par ailleurs, l'énergie massique décroît en fonction du temps de décharge selon l'abaque fourni ci-dessous.*

Calculer :

- l'énergie  $W_f$  fournie par les accumulateurs en fonction de  $M_a$ ,
- l'énergie  $W_{ac}$  l'énergie stockée nécessaire en fonction de  $M_a$ ,
- le temps de décharge correspondant au temps nécessaire pour laver 9000 m<sup>2</sup> puis l'énergie massique sur l'abaque fig 13,
- la masse  $M_a$  des accumulateurs embarqués.

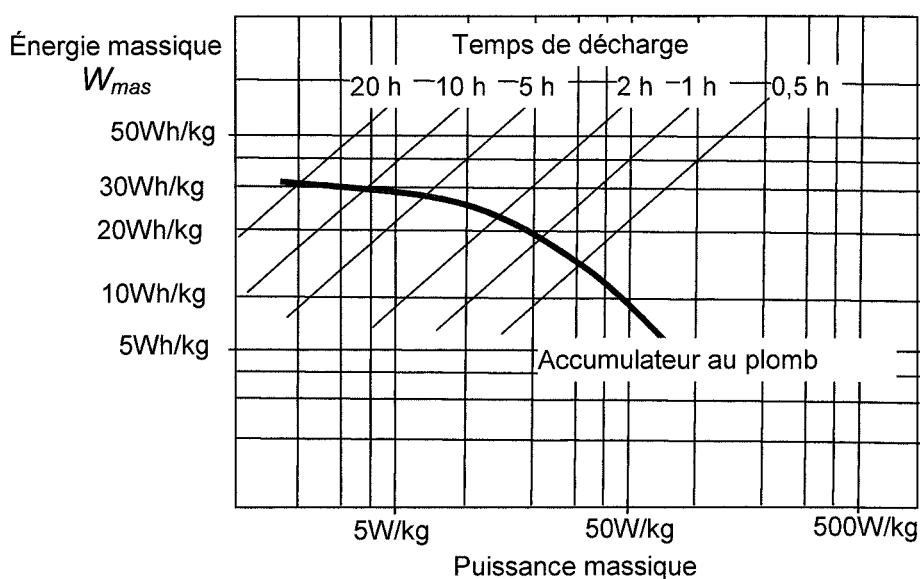


Figure 13 : évolution de l'énergie et la puissance massique en fonction du temps de décharge pour un accumulateur plomb-acide

B-6 *En fonctionnement réel, la laveuse autoportée ne travaille pas toujours à vitesse constante et sur le plat. Par ailleurs les batteries d'accumulateurs vieillissent au cours du temps ce qui tend à dégrader leur capacité. Afin d'en tenir compte, le constructeur applique un coefficient de 1,5 sur la masse théorique calculée.*

Calculer les caractéristiques de la batterie d'accumulateurs finalement choisie en A.h (Ampère.heure) sachant que la tension d'utilisation est de 24 Volts et que la capacité nominale est indiquée par le constructeur pour un temps de décharge de 5 heures.

B-7 *La force maximum de résistance à l'avancement lorsque la machine est au travail vaut 176 N. Par ailleurs, pour respecter la norme sur l'accès des lieux publics aux personnes handicapées, les rampes intérieures valent 5%. On donne un poids total de la laveuse avec chauffeur de 550 kg dans le cas le plus défavorable.*

Calculer le couple maximum que devra fournir chacun des moteurs roue pour permettre à la laveuse autoportée de laver le sol de cette rampe dans les conditions nominales d'exploitation.

### Partie C - Etude de la commande du moteur

*Dans cette partie, nous étudierons la commande du moteur sans balais à répartition spatiale trapézoïdale. Les moteurs du robot doivent être asservis en vitesse, mais dans un premier temps la commande interne doit être une commande en couple. La chaîne de motorisation interne (figure 14) comporte trois fonctions principales :*

- *L'actionneur électromagnétique associé à la structure mécanique et à son capteur d'autopilotage,*
- *Le convertisseur de puissance qui va transformer l'énergie de la source (source de tension continue réversible) vers la charge (fréquence et courants variables),*
- *L'automate de commande rapprochée du convertisseur de puissance qui imposera la fréquence et l'amplitude des courants dans chaque phase de l'actionneur électromécanique.*

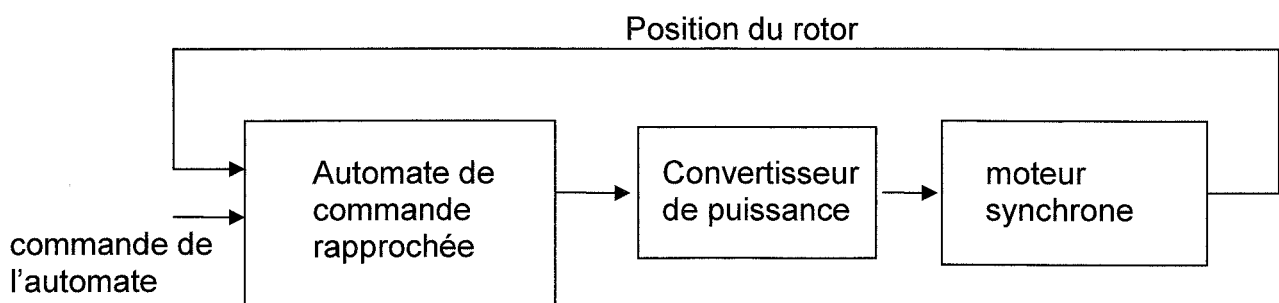


Figure 14 : chaîne de motorisation

La structure du convertisseur de puissance est composée de trois branches, une branche est munie de deux interrupteurs qui seront considérés bidirectionnels en courant et parfaits (sans retard à l'ouverture et à la fermeture (voir figure 15)).

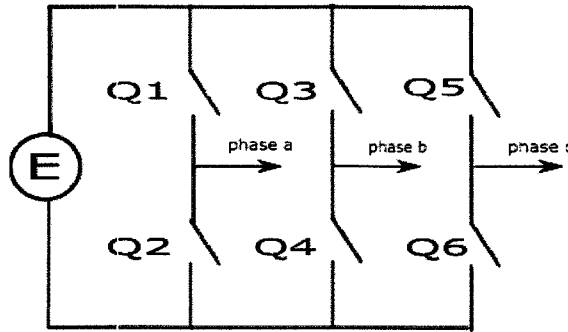


Figure 15 : structure du convertisseur de puissance

Le moteur est muni d'un capteur de position absolue et de 3 capteurs à effet hall dont les signaux sont indiqués sur la figure 16 et calés par le constructeur sur les tensions induites dans chaque phase. Ce sont ces signaux qui vont nous permettre de commander les interrupteurs du convertisseur de puissance. En fonction des tensions induites dans chaque phase du moteur, les courants  $i_a, i_b, i_c$  peuvent être positifs, négatifs ou nuls de manière à obtenir un couple électromagnétique maximum. Cette opération est appelée autopilotage.

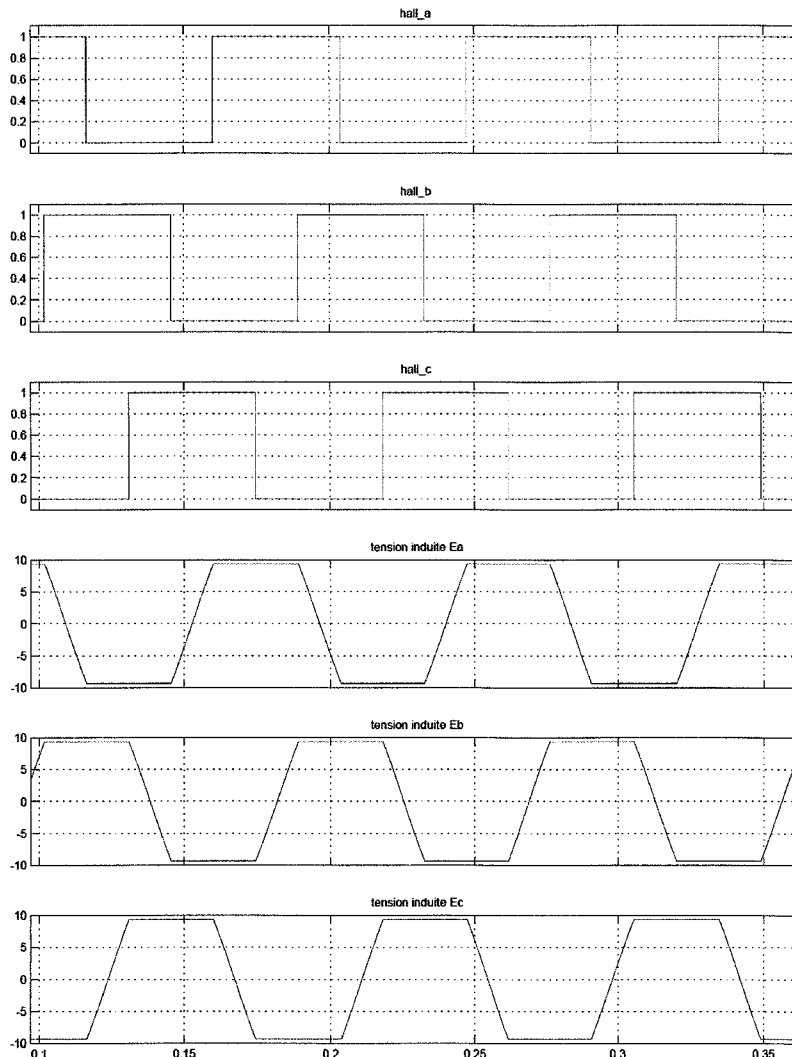


Figure 16 : visualisation des signaux générés par les trois capteurs à effet Hall

C-1 Indiquer sur le tableau 1 du document réponse 2 le signe des courants (+1 pour un courant >0, -1 pour un courant <0 et 0 pour un courant nul) pour obtenir un couple électromagnétique maximum.

C-2 Dans la commande du convertisseur de puissance, les variables internes logiques  $i^+$  indiquent la commande d'un courant positif et  $i^-$  la commande d'un courant négatif. Indiquer les équations logiques des variables internes en fonction de l'état des sondes à effet hall :

$$\begin{aligned} i_a^+ &= f(\text{hall\_a}, \text{hall\_b}, \text{hall\_c}) \\ i_a^- &= f(\text{hall\_a}, \text{hall\_b}, \text{hall\_c}) \\ i_b^+ &= f(\text{hall\_a}, \text{hall\_b}, \text{hall\_c}) \\ i_b^- &= f(\text{hall\_a}, \text{hall\_b}, \text{hall\_c}) \\ i_c^+ &= f(\text{hall\_a}, \text{hall\_b}, \text{hall\_c}) \\ i_c^- &= f(\text{hall\_a}, \text{hall\_b}, \text{hall\_c}) \end{aligned}$$

C-3 Les interrupteurs du convertisseur sont commandés à partir des variables internes  $i^+, i^-$ .

Indiquer sur le tableau 2 du document réponse 2 les valeurs logiques des interrupteurs  $Q$  :

C-4 Etude d'une commutation de la phase 1 sur la phase 2 à basse vitesse. Le modèle équivalent du moteur est indiqué à la figure 17 avec les éléments suivants :

- $R$  résistance d'une phase  $R=0,01 \Omega$
- $L_s$  Inductance propre d'une phase
- $M$  inductance mutuelle entre deux phases
- $L_c$  Inductance cyclique  $L=0,05 H$
- $E_i$  Tension induite dans la phase  $i$  (aimant permanent)

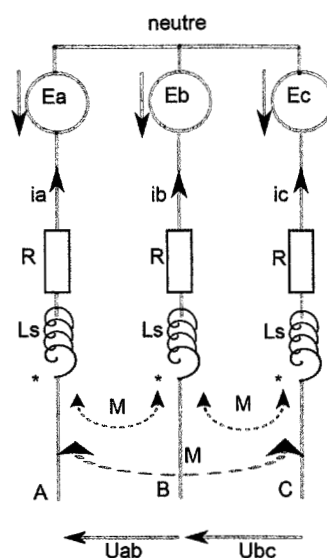


Figure 17 : schéma équivalent du moteur synchrone

En basse vitesse, les termes  $E_a, E_b$  et  $E_c$  sont négligeables devant les autres tensions. La tension d'alimentation du convertisseur de puissance est  $E=24$  Volts.

On s'intéresse à la commutation de la phase 1 (interrupteurs  $Q_1$  et  $Q_6$  fermés). A l'ouverture instantanée de  $Q_1$ , on ferme de manière instantanée  $Q_3$  sur la phase 2 (interrupteur  $Q_6$  reste fermé).

- Calculer les courants  $i_a$  et  $i_c$  avant la commutation (régime permanent).
- Calculer les courants  $i_b$  et  $i_c$  juste après la commutation (on négligera l'influence des inductances de fuites).
- Calculer les courants  $i_b$  et  $i_c$  en régime permanent.
- Exprimer les courants  $i_b$  et  $i_c$  après la commutation. Dessiner les courants sur le document réponse 3.

C-5 Commande en couple de la machine synchrone : le moteur est commandé par le convertisseur de puissance (commutateur de courant), la tension d'alimentation  $E$  est variable (Hacheur) et commandée par une tension électrique que l'on notera  $e$  (figure 18).  $E = e \times U$  où  $U$  est la tension du bus continu=24V.

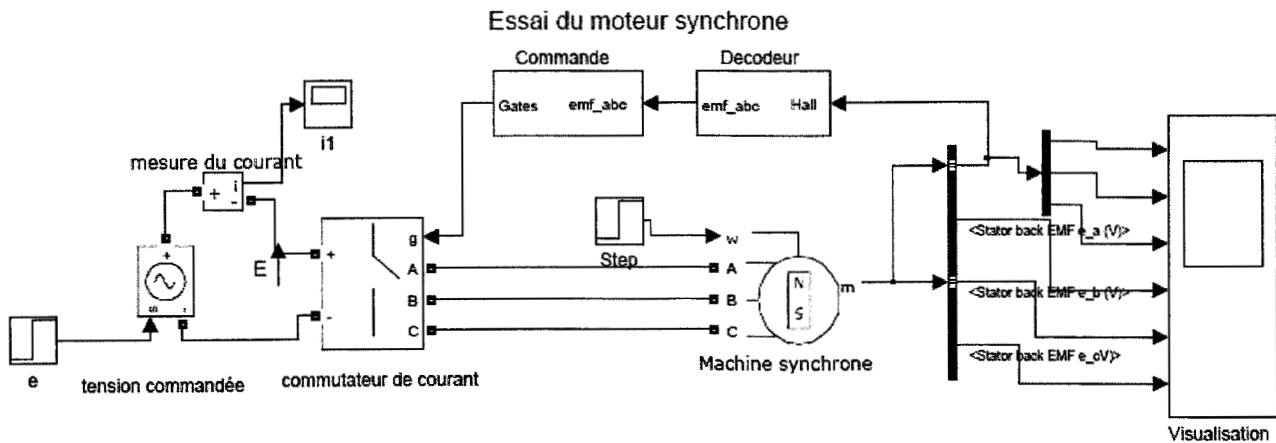


Figure 18 : commande du moteur synchrone autopiloté

Nous retrouvons un fonctionnement identique à la machine à courant continu, un couple proportionnel au courant :  $\Gamma = k_t \cdot i$  et la tension induite  $E_v = k_v \cdot \Omega$ . avec  $k_v = k_t = K = 1,56 \text{ Nm} \cdot \text{A}^{-1}$ . Le moteur est à vide, sa charge mécanique se limite à une inertie  $J = 8 \cdot 10^{-4} \text{ Nm} / \text{rd} / \text{s}^2$  et un frottement visqueux  $f = 10^{-3} \text{ Nm} / \text{rd} / \text{s}$ .

Montrer que la fonction de transfert en boucle ouverte, représentant cet essai, peut s'écrire :

$E$  est la tension d'alimentation variable pilotée la tension électrique de commande est  $e(p)$   
 $I(p) = A(p)e(p) + B(p)\Omega(p)$

$I(p) = A(p) \cdot U(p) + B(p) \cdot \Omega(p)$ . On explicitera  $A(p)$  et  $B(p)$  en fonction de  $R$ ,  $L$ ,  $K$ .

C-6 On souhaite commander le couple moteur, avec une erreur statique en basse vitesse de 5%, calculer le gain  $g_i$  du correcteur proportionnel (voir figure 19).



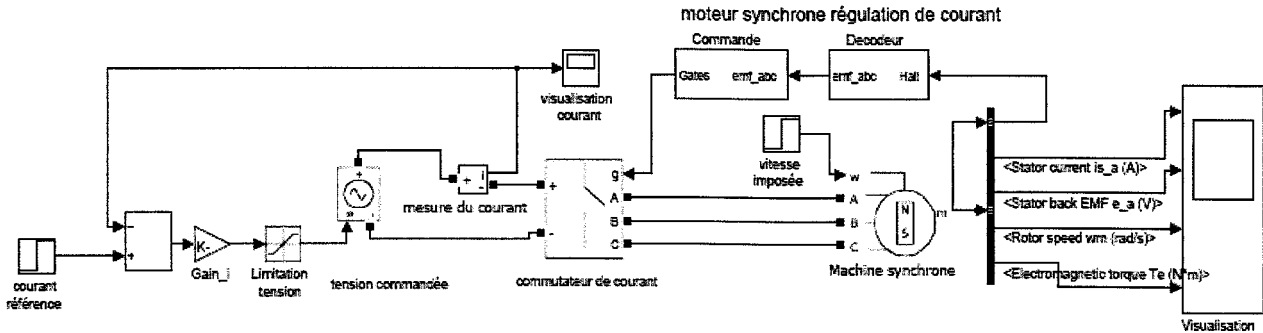


Figure 19 : commande en couple de la machine synchrone

C-7 Le moteur synchrone doit être commandé en vitesse, il est proposé un correcteur proportionnel intégral avec une limitation du courant référence. On propose de compenser le pôle dominant de la fonction de transfert en boucle ouverte et de régler le coefficient d'amortissement de la fonction de transfert en boucle fermée  $m = \frac{\sqrt{2}}{2}$ . Calculer le coefficient de l'action proportionnelle  $K_v$  et le coefficient de l'action intégrale  $T_i$  (voir figure 20).

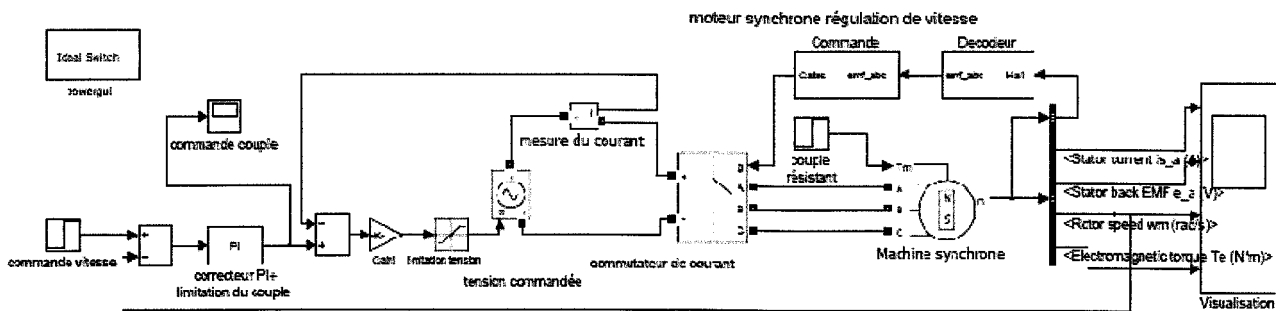


Figure 20 : commande en vitesse de la machine synchrone

C-8 La figure 21 représente la simulation de cet asservissement, un échelon de vitesse à  $t=0$  avec  $\Omega=12 \text{ rd.s}^{-1}$ . Une saturation sur le courant  $-20 \text{ A} < I_{ref} < 20 \text{ A}$  est imposée. Nous avons placé un échelon couple résistant  $T_m= 10 \text{ Nm}$  sur l'arbre du moteur pour  $t>0,5\text{s}$ , la tension continue du commutateur de courant est limitée à 24 Volts. Commenter ces résultats de simulation.

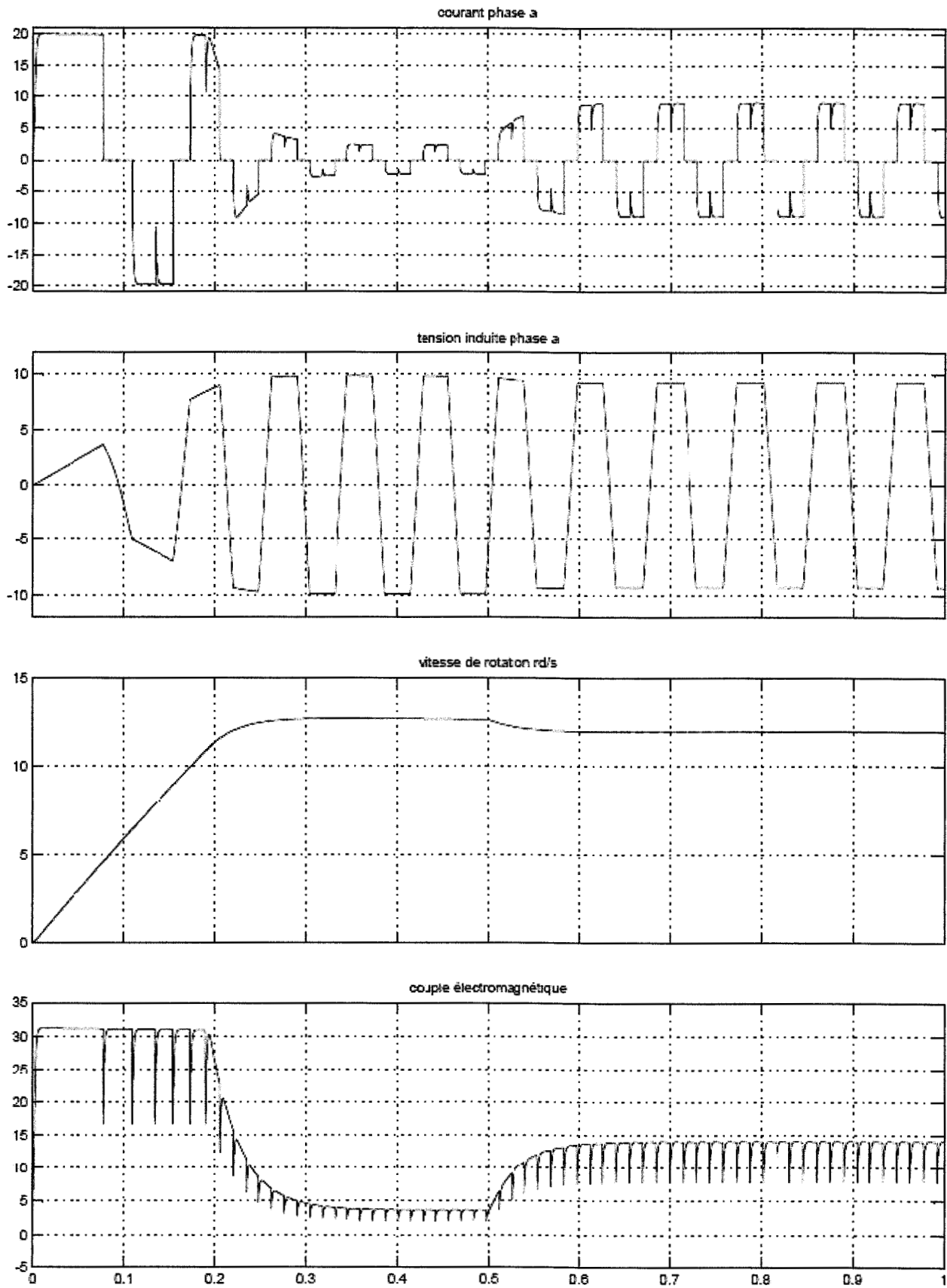


Figure 21 : simulation de la commande en vitesse du moteur synchrone

C-9 On supprime le hacheur (la tension continue  $E$  est fixe) et le convertisseur de puissance est commandé en modulation de largeur d'impulsions vectorielle. Dans les trois branches du convertisseur de puissance, la commande des deux interrupteurs est maintenant complémentaire (les interrupteurs d'une branche ne peuvent pas être dans le même état au même instant). Les valeurs instantanées des tensions imposées par le convertisseur peuvent se représenter dans le plan complexe. Il existe 8 combinaisons logiques dont seulement 6 correspondent à un transfert d'énergie entre la source et le moteur. Les deux états restants sont des états qui isolent la source et la charge qui seront positionnés sur le centre du plan complexe. Indiquer les tensions instantanées dans le plan complexe de la figure 22 en précisant l'état de la commande des interrupteurs  $Q_1, Q_2$  et  $Q_3$ .

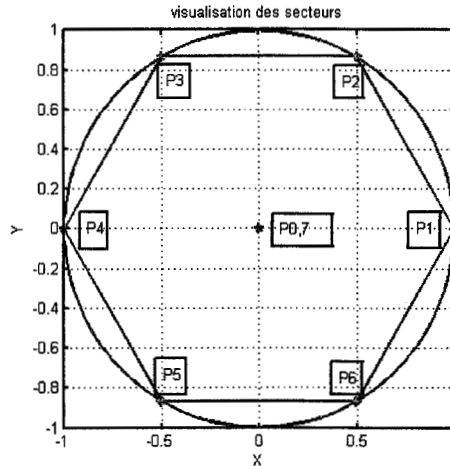


Figure 22 : position des valeurs instantanées

C-10 Sur une période de hachage de durée  $T_e$ , il est possible de commuter entre plusieurs positions instantanées pour obtenir une grandeur sinusoïdale, par exemple une tension complexe définie par son module et sa phase :  $\bar{V} = V_m \cdot e^{j\Psi}$ , à condition que  $V_m < E$ . Dans ces conditions, nous pouvons définir 3 temps  $T_x, T_y$  et  $T_z$  avec une condition :  $T_e = T_x + T_y + T_z$ .

Exprimer les trois temps  $T_x, T_y, T_z$  en fonction de  $V_m, E, \Psi$  et les positions  $P_i, P_{i-1}$  et  $P_0$  ou  $P_7$ .

C.11 Dans cette partie, nous allons étudier le moteur en régime dynamique, afin de simuler l'ensemble de la chaîne de motorisation. Le schéma équivalent du moteur est indiqué à la figure 17, montrer que les équations d'état peuvent s'écrire de la manière suivante, en posant :

l'inductance cyclique :  $L_c = L_s - M$

la tension induite :  $E_i = \lambda \cdot p \cdot \Omega \cdot \phi_i$  ( $\phi_i$  représente le flux total dû aux aimants enlacé par la bobine  $i$ ).

$$\begin{cases} \frac{di_a}{dt} = \frac{1}{3L_c} [2.U_{ab} + U_{bc} - 3.R.i_a + \lambda \cdot p \cdot \Omega (-2.\phi_a + \phi_b + \phi_c)] \\ \frac{di_b}{dt} = \frac{1}{3L_c} [-U_{ab} + U_{bc} - 3.R.i_b + \lambda \cdot p \cdot \Omega (\phi_a - 2.\phi_b + \phi_c)] \\ \frac{di_c}{dt} = -\left(\frac{di_a}{dt} + \frac{di_b}{dt}\right) \end{cases}$$

C.12 A l'aide des opérateurs représentés figure 23 et de l'équation d'état, réaliser sous forme graphique la simulation du moteur synchrone. On suppose que l'environnement mécanique se limite à une inertie ramenée au moteur  $J$  et un frottement visqueux de coefficient  $f$ .

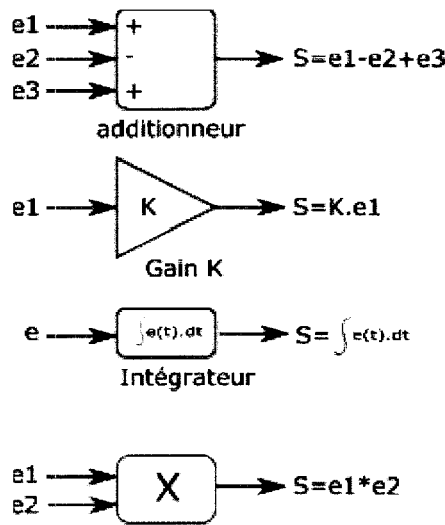


Figure 23 : opérateurs pour la simulation graphique

C-13 Les équations du modèle d'état présenté à la question précédente sont liées par la vitesse de rotation  $\Omega$ , il est possible de découpler les équations en compensant les termes qui dépendent de  $\Omega$  dans la commande.

Représenter le terme  $x(t) = -2.\phi_1 + \phi_2 + \phi_3$  pour une vitesse constante sur le document réponse 4.

C-14 Les termes de couplage sont compensés dans la commande.

Montrer que dans ces conditions, le modèle dynamique du moteur est un système multivariable du 1<sup>er</sup> ordre, possédant deux entrées de commande et deux sorties.

Écrire le modèle d'état.

C-15 La commande introduit un retard pur d'une période de hachage, compte tenu des constantes de temps électrique et mécanique, ce retard  $T_e$  peut être assimilé à un 1<sup>er</sup> ordre.

Représenter à l'aide des opérateurs proposés à la figure 23, la simulation du système découplé.

## Partie D - Etude du Moteur Roue

L'objectif de cette partie consiste à définir un modèle analytique d'un moteur roue à structure inversée afin d'établir les caractéristiques du couple électromagnétique de la structure envisagée. Pour établir ce modèle, il est plus facile de travailler dans un repère plan (2 dimensions) avec des coordonnées cylindriques. On supposera que les caractéristiques magnétiques de la structure sont indépendantes du plan  $\vec{u}_z$ . Le calcul du couple est élaboré à partir des forces du tenseur de Maxwell pour une surface de l'entrefer ;

$$df = H_t \cdot B_n \cdot ds$$

Le champ électromagnétique tangentiel  $\vec{H}_t$  est dû aux courants statoriques et l'induction normale  $\vec{B}_n$  est due à l'action des aimants qui sont collés au stator. L'élément de surface  $ds = R_{sc} \cdot L_{fer} \cdot d\theta$ . Dans ce calcul, on supposera que les grandeurs magnétiques sont constantes sur la longueur du paquet de tôles  $L_{fer}$  et sur la largeur de l'isthme d'une dent  $L_e = R_{sc} \cdot \delta_e$ .

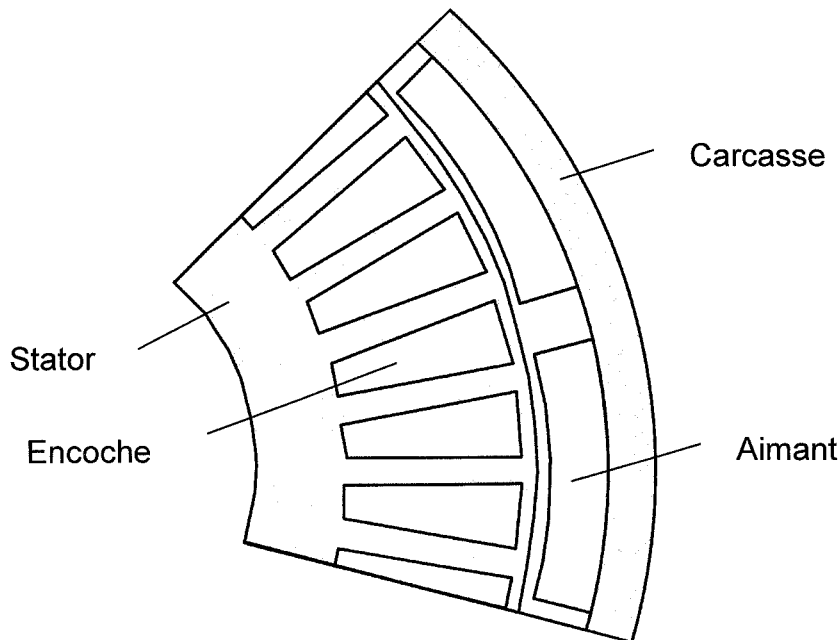


Figure 24 : représentation d'une paire de pôles

Les caractéristiques du moteur étudié sont :

rayon intérieur de l'entrefer

$$R_{sc} = 62mm$$

rayon extérieur de l'entrefer

$$R_r = 70mm$$

nombre de paires de pôles

$$p = 6$$

nombre total de dents système triphasé 1 dent/pole/phase

$$Nd = 2 \times p \times 3$$

pas dentaire

$$\tau_d = \frac{2\pi \cdot R_{sc}}{N_d}$$

largeur du pied de la dent

$$L_d = 3,4mm$$

largeur de l'encoche au niveau de l'entrefer,  $L_{is}$

$$L_{is} = 2,7mm$$

largeur de l'isthme au niveau de l'entrefer

$$L_e = \tau_d - (L_d + 2 * L_{is})$$

angle d'ouverture de l'isthme/2

$$\delta_e = \frac{L_e}{R_{sc}}$$

Ampère-tours par encoche, 20 spires d'une section de 2,27 mm<sup>2</sup> par encoche

$$N_{eis} = N_d \cdot I_{max}$$

perméabilité du vide

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

Longueur du paquet de tôles

$$L_{fer} = 49mm$$

épaisseur de l'aimant

$$H_A = 7mm$$

perméabilité relative de l'aimant

$$\mu_a = 1,05$$

Induction rémanente des aimants :

$$B_r = 1T$$

entrefer physique

$$\varepsilon = 1mm$$

Rayon intérieur des aimants (les aimants sont collés au stator)

$$R_a = 63mm$$

Ouverture des aimants (par rapport au pas polaire)

$$\alpha_a = 0,85$$

D-1 Montrer que la force tangentielle peut s'écrire :

$$|\vec{F}_t| = B_n \cdot \frac{Neis}{\delta_e} L_{fer} \cdot R_{sc} \int_0^{\delta_e} d\theta$$

D-2 Montrer que le couple électromagnétique  $C_m$  peut s'écrire :

$$C_m = 2 \cdot A \cdot V_e \cdot B_n \text{ avec } A \text{ la densité linéique du courant et } V_e \text{ le volume du rotor}$$

D-3 *Les caractéristiques du couple électromagnétique dépendent également de la commande (l'autopilotage) de la machine. Nous présentons à la figure 25 la tension induite à la phase 1 et le courant absorbé par la phase 1. Représenter la puissance électromagnétique transmise par la phase 1 dans l'entrefer sur le document réponse 5.*

En déduire la puissance électromagnétique transmise par les phases 2 et 3 .

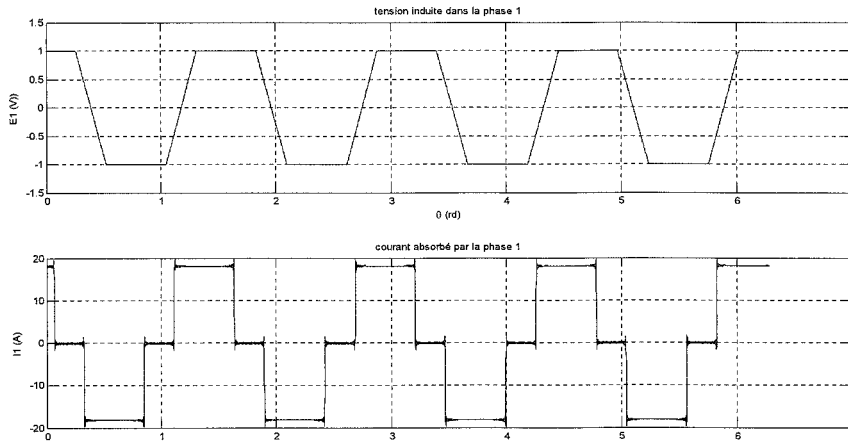


Figure 25

D-4 Le rotor est triphasé, et l'alimentation en courant est équilibrée : représenter la puissance électromagnétique totale transmise dans l'entrefer sur le document réponse 6 Indiquer les conditions d'autopilotage qui permettraient d'obtenir un couple  $C_m$  constant.

D-5 Le rotor est une structure triphasée composée de 36 encoches sur 12 pôles, soit une encoche par pôle et par phase. L'étude des grandeurs magnétiques se fera uniquement dans l'entrefer, en considérant que les matériaux ferromagnétiques présentent une caractéristique linéaire isotrope  $B=f(H)$  avec une perméabilité relative  $\mu_{fer} \rightarrow \infty$ . Les aimants ne sont pas pris en compte dans cette partie, on considérera une perméabilité relative et  $\mu_a=1$  une induction rémanente nulle.

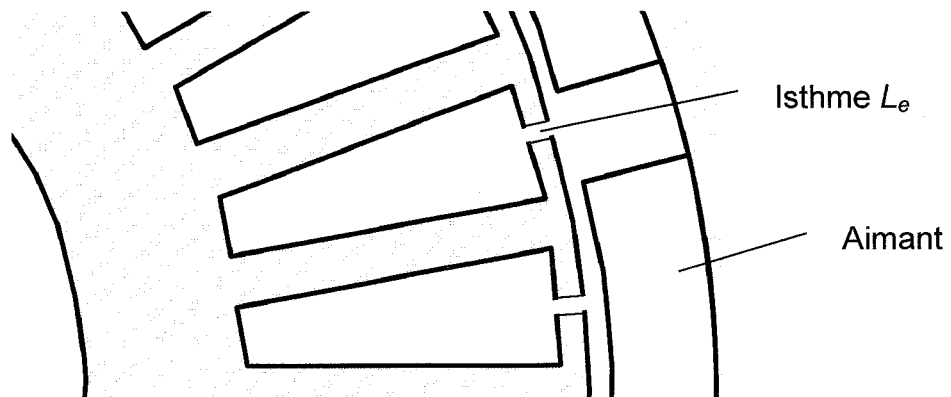


Figure 26 : zoom sur une dent du rotor

L'encoche est remplie par des conducteurs dont le nombre est  $N_e = 20$  qui sont traversés par un courant  $I$  constant, l'isthme entre les deux dents présente une largeur  $l_e = 2mm$ , montrer que les courants surfaciques proposés à la figure 27 représentent le comportement électromagnétique du rotor vu de l'entrefer.

Calculer la valeur maximale de ce courant surfacique. Les dents sont réparties sur un cercle dans le rayon est  $R_{sc} = 62mm$  (rayon minimale de l'entrefer).

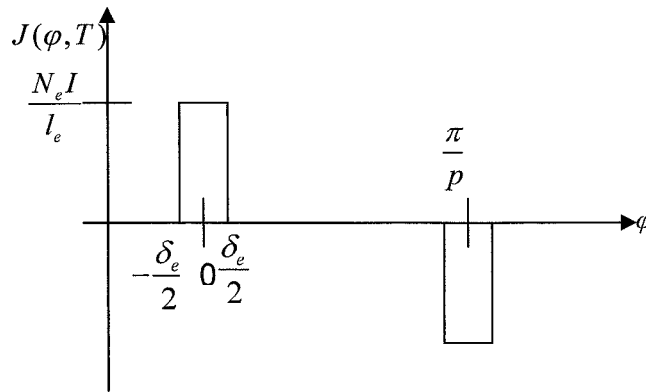


Figure 27 : représentation des courants surfaciques

D-6 Les enroulements sont triphasés (voir figure 28), la bobine 1 est représentée par 2 encoches identiques au système étudié. La bobine 2 est représentée par deux encoches décalées d'un angle mécanique de  $\frac{2\pi}{3p}$  par rapport à la bobine 1. La Bobine 3 est également identique à la bobine 2 mais décalée d'un angle mécanique de  $\frac{2\pi}{3p}$  par rapport à la bobine 2. Ces 3 bobines sont parcourues par 3 courants  $i_a$ ,  $i_b$  et  $i_c$ . Ces courants ne peuvent prendre dans le temps que trois valeurs  $+I$ ,  $-I$  ou  $0$ .

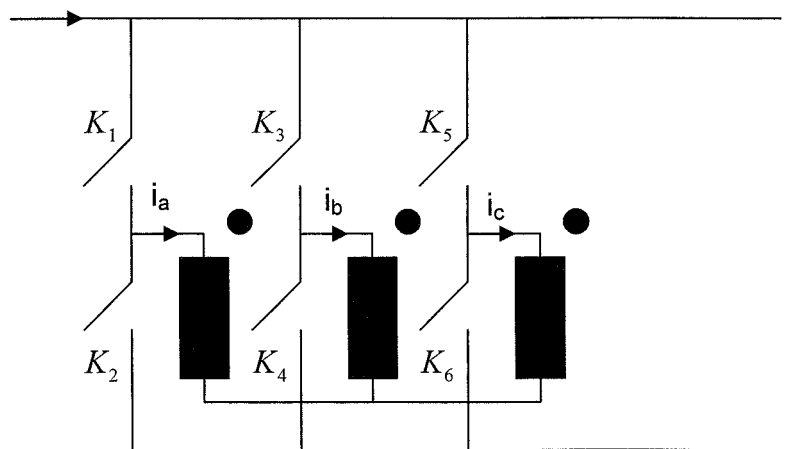


Figure 28 : représentation des bobinages

La bobine 1 est connectée aux interrupteurs  $K_1, K_2$ , la bobine 2 est connectée aux interrupteurs  $K_3, K_4$  et la bobine 3 aux interrupteurs  $K_5, K_6$ . À un instant donné, les interrupteurs  $K_1, K_2, K_3, K_6$  sont ouverts et les interrupteurs  $K_5, K_4$  sont fermés. Indiquer la valeur des courants  $i_a$ ,  $i_b$  et  $i_c$  pour un instant  $t$  donné dans le cas du système présenté ci-dessous (le point indique l'encoche entrante de la bobine, le courant qui se dirige vers ce point est compté  $>0$ ).



D-7 Le potentiel vecteur dans l'entrefer est calculé dans une matrice  $A(r, \phi)$  la colonne  $r$  représente le rayon qui varie linéairement entre le rayon intérieur et extérieur de l'entrefer, il comprend 93 éléments et l'angle  $\phi$  qui varie linéairement entre 0 et  $2\pi$  comprend 1000 éléments. L'incrément suivant  $r$  est  $\text{deltar}$ , l'incrément suivant  $\phi$  est  $\text{deltaf}$  L'induction radiale est représentée à la figure 29.

Expliquer comment peut-on calculer numériquement l'induction normale  $B_\phi(R_{sc}, \phi)$  à partir de  $A(r, \phi)$  sur le rayon intérieur  $R_{sc}$ , exprimer l'induction radiale  $B_\phi(R_{sc}, \phi)$  en fonction de  $A(r, \phi)$  et des incréments.

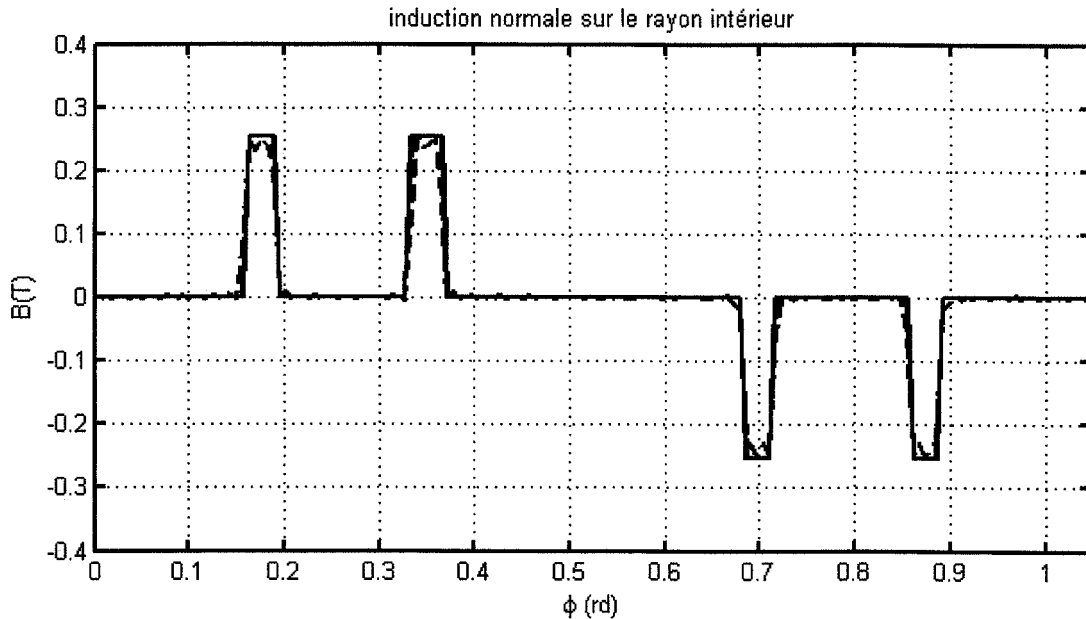


Figure 29 : représentation de l'induction radiale  $B_\phi(R_{sc}, \phi)$

D-8 Expliquer comment la forme de l'induction  $B_\phi(R_{sc}, \phi)$  représentée à la figure 29 pouvait être déduite des courants surfaciques engendrés par le bobinage triphasé,.

D-9 Étude du stator, dans cette partie, on considère que les courants surfaciques étudiés précédemment sont nuls ( $i_a=i_b=i_c=0$ ), et on s'intéresse uniquement aux aimants pour calculer le potentiel vecteur. On considère que  $B_a^r(r, \theta)$  est constant dans le matériaux magnétique et de direction radiale soit  $B_a^\theta(r, \theta)=0$  Les aimants possèdent une

caractéristique  $B_a^r(r, \theta) = f(H_a^r(r, \theta))$  linéaire soit  $H_a^r(r, \theta) = \frac{B_a^r(r, \theta) - B_{ra}^r}{\mu_0 \cdot \mu_a}$ .

Énoncer les conditions aux limites de l'entrefer pour  $r = R_{sc}$  et pour  $r = R_r$ .

D-10 Énoncer les conditions aux limites des aimants :  $r = R_a$  entre l'induction dans l'entrefer  $\vec{B}_e(R_a, \theta)$  et l'induction dans les aimants  $\vec{B}_a(R_a, \theta)$

D-11 Montrer que l'aimantation dans les aimants peut s'écrire sous la forme :

$$B_a^r(R_a, \theta) = \frac{B_{ra}^r}{1 + \mu_a \frac{\varepsilon}{H_a}}$$

D-12 On négligera l'induction  $B_a^\theta(r, \theta) = 0$ , et l'induction  $B_a^r(r, \theta)$  sera assimilée à la courbe représentée en trait plein sur la figure 6.

- Calculer le couple électromagnétique à partir de  $B_\phi$  représentée à la figure 29 en trait plein) et l'induction  $B_n$  représentée à la figure 30 (en trait plein).
- Montrer que le couple électromagnétique peut s'écrire :

$$C_e = \frac{1}{\mu_0} L_{fer} \cdot R_{sc}^2 \int [B_\phi(R_{sc}, \phi) \cdot B_a^r(r, \theta)] \cdot d\theta$$

- Calculer le couple électromagnétique dans le cas d'un courant  $I_1 = 20A$  et d'un autopilotage parfait

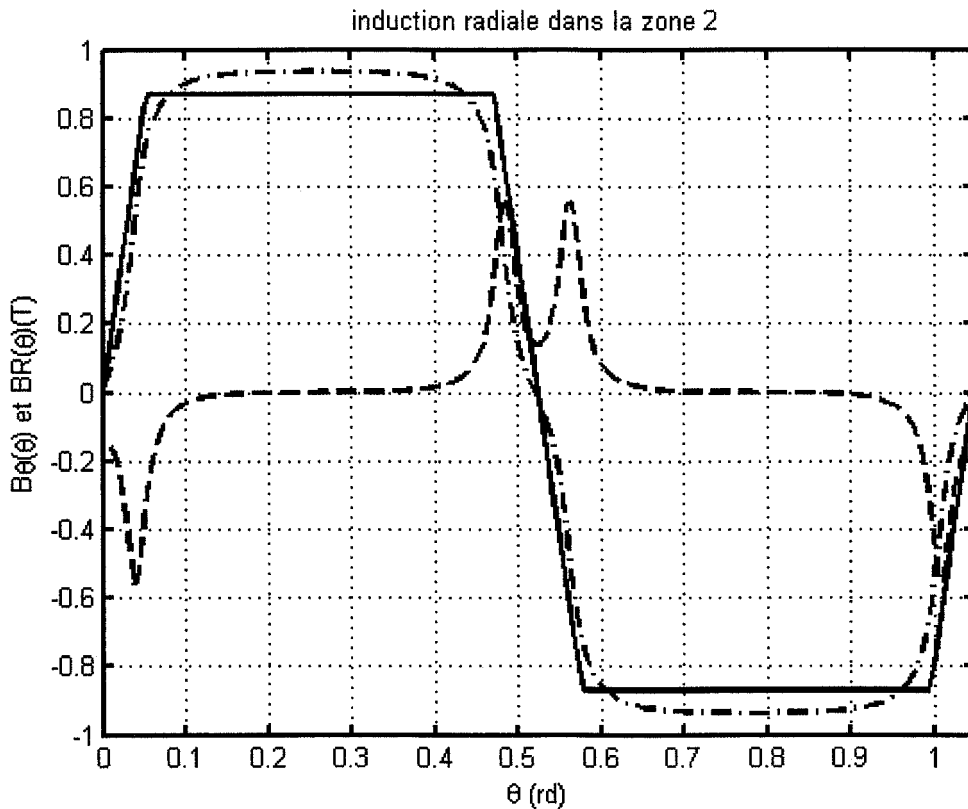


Figure 30 : représentation de l'induction  $B_a^r(R_a, \theta)$  dans l'entrefer pour  $r = R_a$

## ANNEXE 1

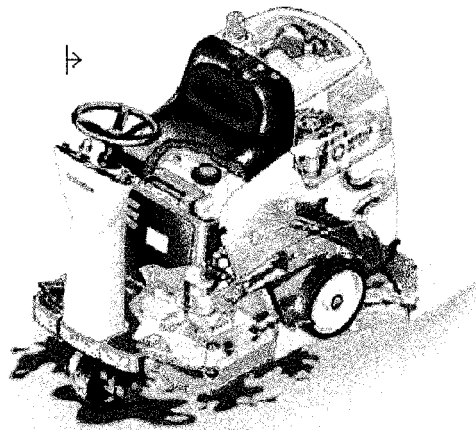
# Plus de fonctions, un plus grand confort

Le fonctionnement en mode ECO permet d'économiser de l'eau et d'utiliser moins de produits chimiques, pour un respect total de l'environnement.

Un seul bouton pour mettre en oeuvre toutes les fonctions de lavage.

Le réducteur de vitesse automatique s'active dans les virages pour plus de sécurité.

Volant inclinable pour une utilisation plus pratique et plus ergonomique.



Le système de plateau interchangeable est rapide et facile à mettre en place.

Le réservoir de récupération et de solution en polyéthylène super résistant aux produits chimiques.

Le réservoir de récupération est doté d'un tuyau de vidange EasyFlow pour une utilisation plus facile.

Système de freinage automatique pour plus de sécurité.

Les bavettes latérales réglables limitent les éclaboussures et accélèrent le séchage.

## SPECIFICATIONS TECHNIQUES

Description	Unité	BR 601	BR 651	BR 751	BR 751C
Tension	V	24	24	24	24
Puissance nominale	W	1900	1900	1900	2300
Niveau de pression sonore à 1,5 m	dB(A)	67.5	67.5	67.5	67.5
Taux de productivité, théorique/pratique	m <sup>2</sup> /h	3700/2570	4000/2780	4300/3000	4300/3000
Largeur de nettoyage	mm	610	660	710	710
Vitesse max	km/h	6	6	6	6
Réservoir de solution/récupération	l	75/75	75/75	75/75	75/75
Diamètre de brosse/disque	mm	305	330	355	cyl.
Pression de brosse	kg	35/50	35/50	35/50	35/50
Vitesse de brosse	Tr/min	190	190	190	613
Dimensions (LxIxH)	cm	145x66x131	145x68x131	145x75x131	145x77x131
Poids en ordre de marche	kg	391	391	391	391

☒ Les détails et spécifications peuvent être modifiés sans avis préalable.

 **Nilfisk**  
setting standards

Nilfisk-Advance  
SAS au Capital de 150.000 EUR  
B.P. 246 - 91944 Courtabœuf Cedex  
Tél. : 01 69 59 87 00  
Fax : 01 69 59 87 01  
RCS Evry 966 202 376  
www.nilfisk.fr

Nilfisk-Advance n.v.-s.a.  
Riverside Business Park  
Internationalelaan 55, Gebouw C3/C4  
1070 Brussel  
Tel. +32 (0)2 463 44 16  
Fax +32 (0)2 463 44 16  
e-mail: mail.be@nilfisk-advance.com  
www.nilfisk.be

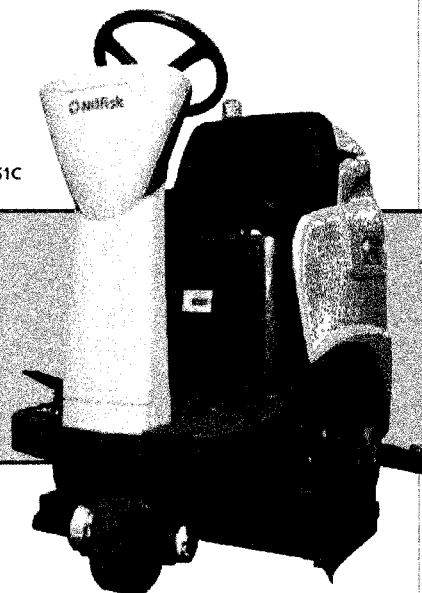
Nilfisk-Advance AG  
Ringstraße/Industrie Stelz  
CH-9533 Kirchberg/Wil  
Tél. : 0041 71 923 84 44  
Fax : 0041 71 923 52 83  
www.nilfisk.ch

# Une machine à conducteur porté qui se faufile partout !

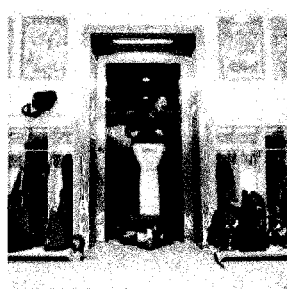
- Le plateau de brossage interchangeable vous permet d'adapter la machine à vos besoins.
- Etonnamment compacte et d'une très grande maniabilité, elle offre une largeur de brossage allant jusqu'à 71cm.
- La série BR 601 comprend 3 modèles de disque (61cm, 66cm et 71cm) ainsi qu'un modèle cylindrique de 71cm.
- Il suffit de charger la batterie une seule fois pour nettoyer une surface allant jusqu'à 9000m<sup>2</sup>.
- Le mode ECO permet une utilisation interrompue pendant plus de 1h15, grâce au grand réservoir de 75 litres. Il limite la consommation en eau et détergent et contribue ainsi au respect de l'environnement.
- Le faible niveau sonore permet de nettoyer dans des zones sensibles au bruit.
- Le réducteur de vitesse automatique dans les virages et le système de freinage automatique offrent une plus grande sécurité.



Nilfisk BR 751C



Le système EDS (ECO Dosage Solution) garantit une mesure précise du détergent. Le dosage du mélange eau/détergent est toujours précis et jamais approximatif. De plus, le mélange se fait au niveau de l'outil et non dans le réservoir, ce qui évite de devoir vider et nettoyer le réservoir puisque celui-ci ne contient que de l'eau. Avec une seule bouteille de détergent très concentré, vous pouvez utiliser jusqu'à 39 réservoirs d'eau (de 40 litres) avant de devoir la changer ou la remplir à nouveau. Le système EDS offre une plus grande productivité en diminuant la durée de nettoyage. De plus, en mode ECO Solution, la consommation d'eau est réduite de moitié.



**CARACTERISTIQUES TECHNIQUES**

Caractéristiques techniques générales			
Description	BR 601	BR 651	BR 751/BR 751C
Largeur de nettoyage	610 mm	660 mm	740 mm
Largeur embouchure	830 mm		860 mm
Capacité réservoir solution ou eau de lavage	75 litres		
Capacité réservoir eau de récupération	75 litres		
Diamètre roues arrière sur essieu fixe	300 mm		
Pression spécifique au sol roues	Inférieure à 1,0 N/mm <sup>2</sup>		
Diamètre roue avant de direction, de traction et de freinage	250 mm		
Puissance moteur système d'aspiration	500 W		
Puissance moteur système de traction	600 W		
Vitesse de traction (variable)	de 0 à 6 km/h		
Pente maximum franchissable	16%		
Niveau pression acoustique (opérateur)	67,5 dB(A)		
Niveau de vibrations transmises aux bras de l'opérateur (*)	0,23 – 7,5 m/s <sup>2</sup>		
Niveau de vibrations transmises au corps de l'opérateur (*)	Inférieur à 1,2 m/s <sup>2</sup>		
Batteries	Boîte de 24 V, 240 Ah/5 h (WET) 240 Ah C5		
	Boîte de 24 V, 240 Ah/5 h (GEL) (optionnelles) 240 Ah C5		
	4 batteries de 6 V, 180 Ah/5 h (WET) 180 Ah C5		
	4 batteries de 6 V, 180 Ah/5 h (GEL) (optionnelles) 180 Ah C5		
Dimensions logement batteries	Boîte de 24V: 355 x 606 x 370 mm		
	4 batteries de 6V, avec conteneur: 530 x 380 x 300 mm		
Dépression système d'aspiration	1.800 mm-H <sub>2</sub> O		
Hauteur machine	1.250 mm		
Longueur maximum machine	1.450 mm		
Largeur machine sans embouchure	658 mm	681,5 mm	758 mm

Caractéristiques techniques avec tête porte-brosses/plateaux support disque			
Description	BR 601	BR 651	BR 751
Diamètre brosse	305 mm	330 mm	370 mm
Poids sans batteries et avec réservoirs vides	140 Kg		
Poids maximum avec batteries et réservoirs pleins	385/470 Kg		
Puissance moteur des brosses/plateaux support disque	400 W		
Vitesse de rotation brosse/plateau support disque	190 tr/mn		
Pression brosse/plateau support disque sans extra-pression activée	30 Kg		
Pression brosse/plateau support disque avec extra-pression activée	50 Kg		
Caractéristiques techniques avec tête porte-brosses cylindriques			
Description	BR 751C		
Dimensions brosse cylindrique (diamètre x longueur)	145 x 690 mm		
Poids sans batteries et avec réservoirs vides	140 Kg		
Poids maximum avec batteries et réservoirs pleins	385/470 Kg		
Puissance moteur brosse cylindrique	600 W		
Vitesse de rotation brosses cylindriques	748 tr/mn		
Pression brosses cylindriques	33,4 Kg		

(\*) En conditions de travail normales, sur une surface horizontale d'asphalte

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

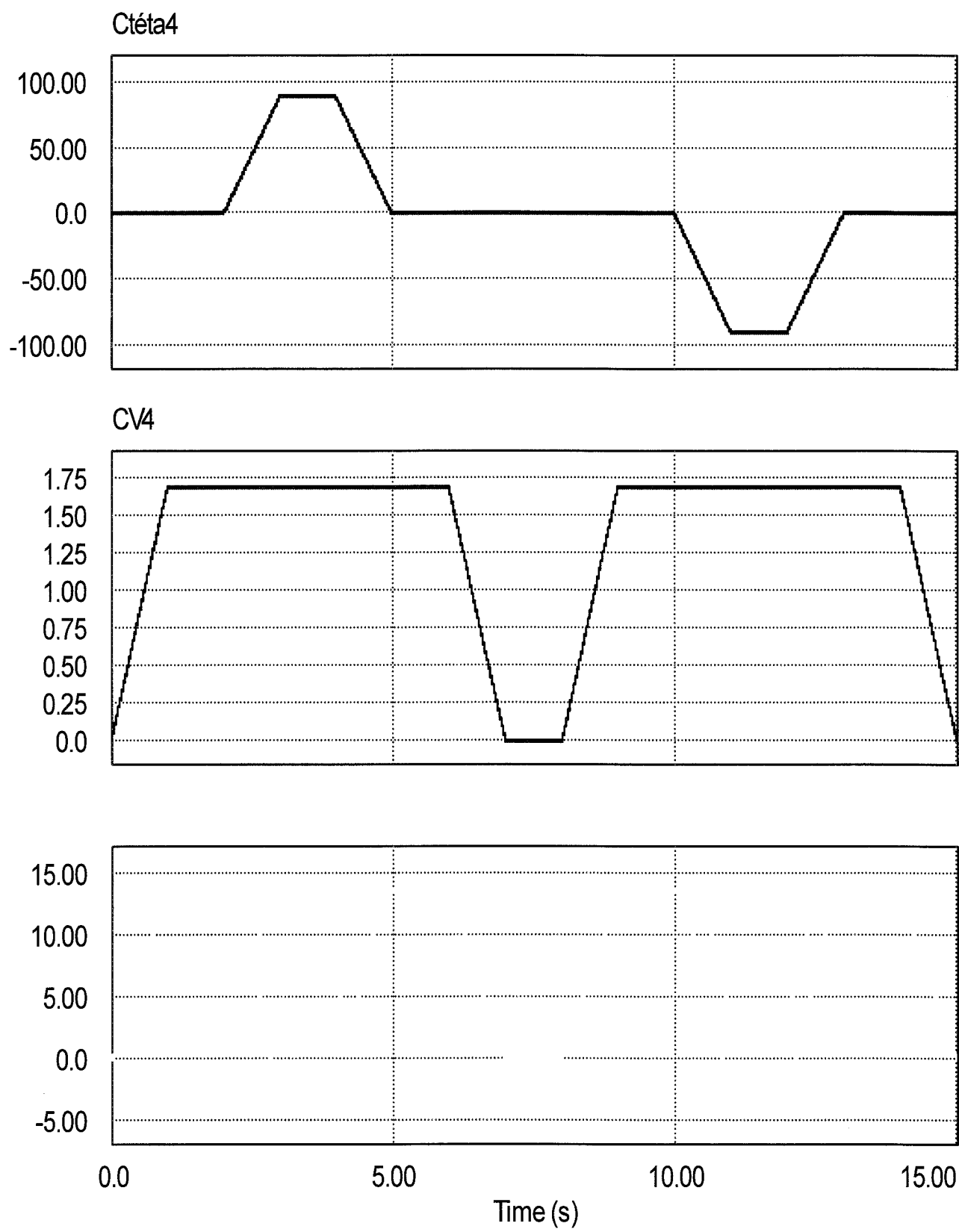
Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)  
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GEE 3

Document réponse 1

Réponse à la question A-2-6



ⓓ

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GEE 3

Document réponse 2

Réponse à la question C-1  
Tableau 1 signes des courants

Hall a	Hall b	Hall c	Signe de $i_a$	Signe de $i_b$	Signe de $i_c$
0	0	0			
0	0	1			
0	1	0			
0	1	1			
1	0	0			
1	0	1			
1	1	0			
1	1	1			

Réponse à la question C-3  
Tableau 2 commande des interrupteurs

Hall a	Hall b	Hall c	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$
0	0	0						
0	0	1						
0	1	0						
0	1	1						
1	0	0						
1	0	1						
1	1	0						
1	1	1						

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

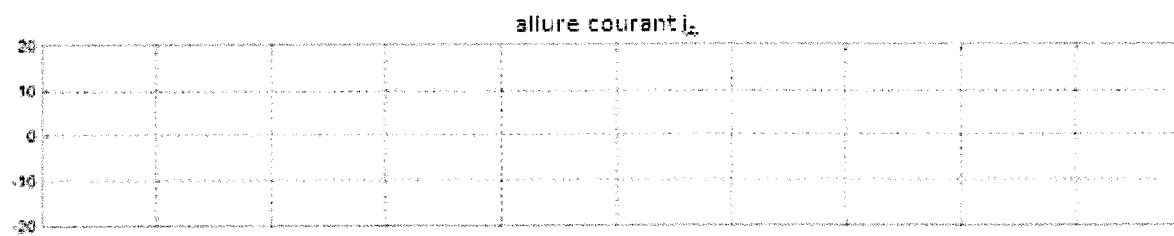
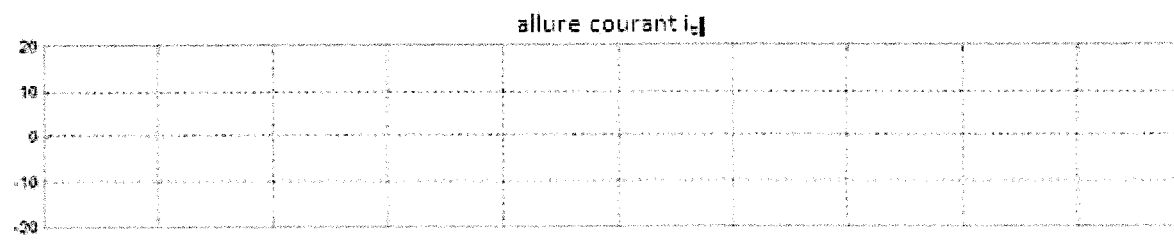
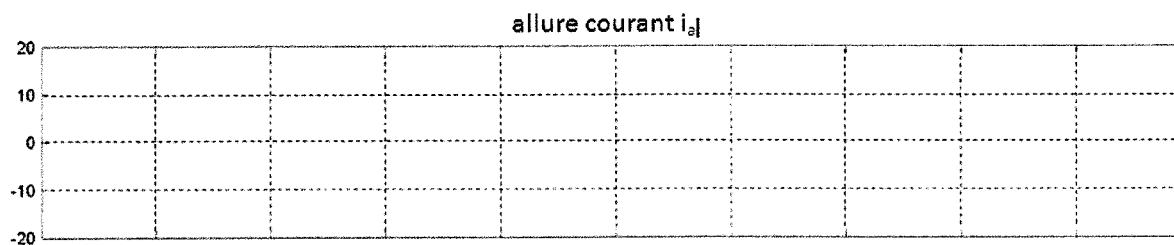
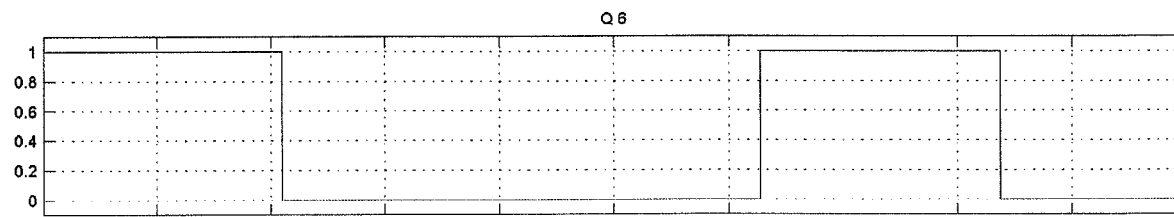
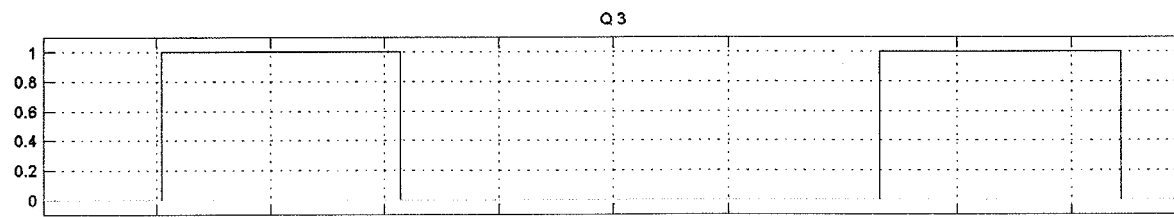
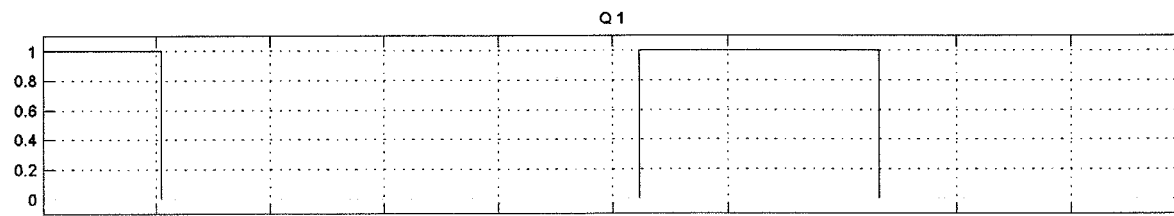
Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GEE 3

Document réponse 3

Réponse à la question C-4





NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

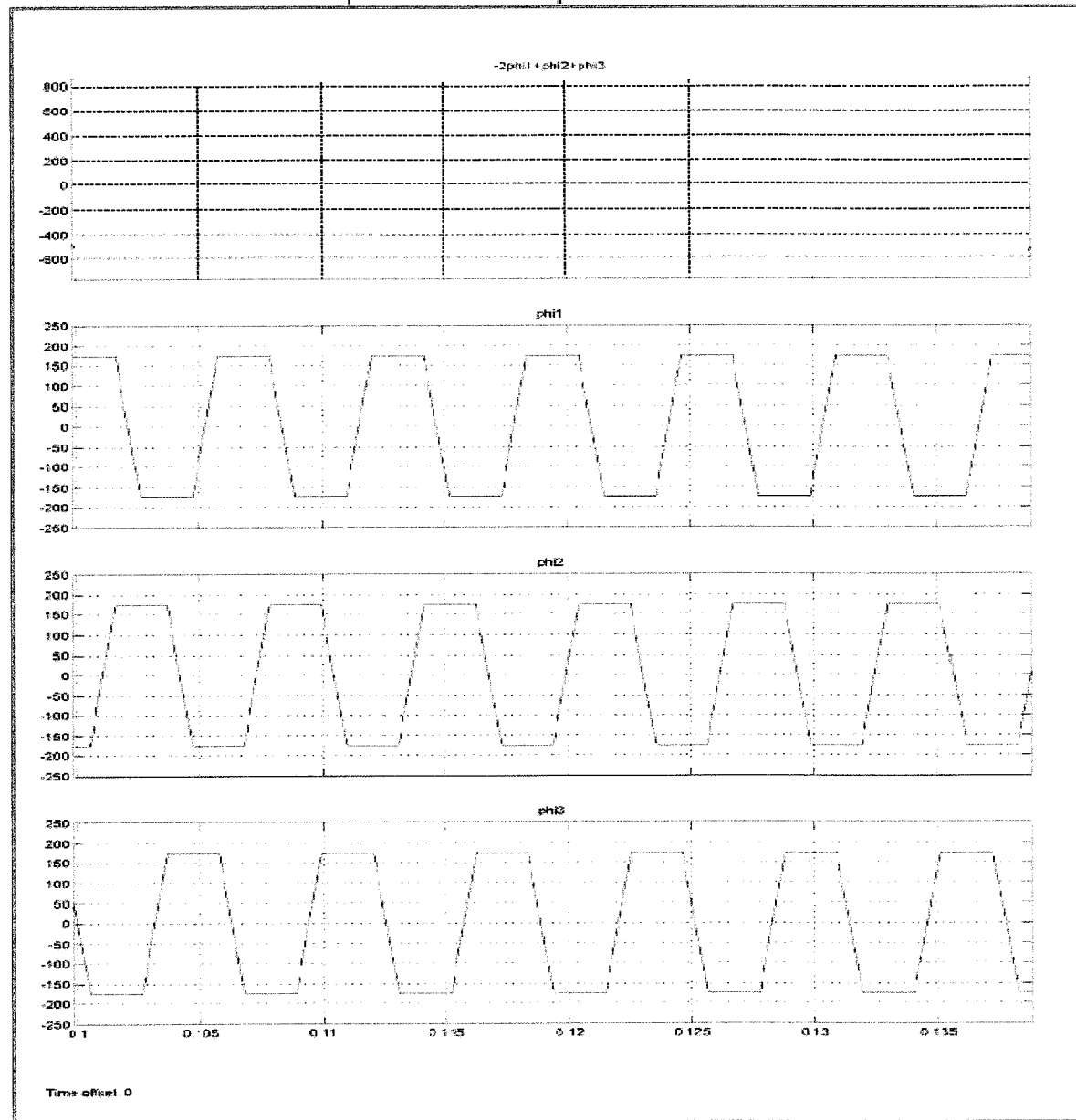
Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GEE 3

Document réponse 4

Réponse à la question C-13



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

Prénoms : \_\_\_\_\_

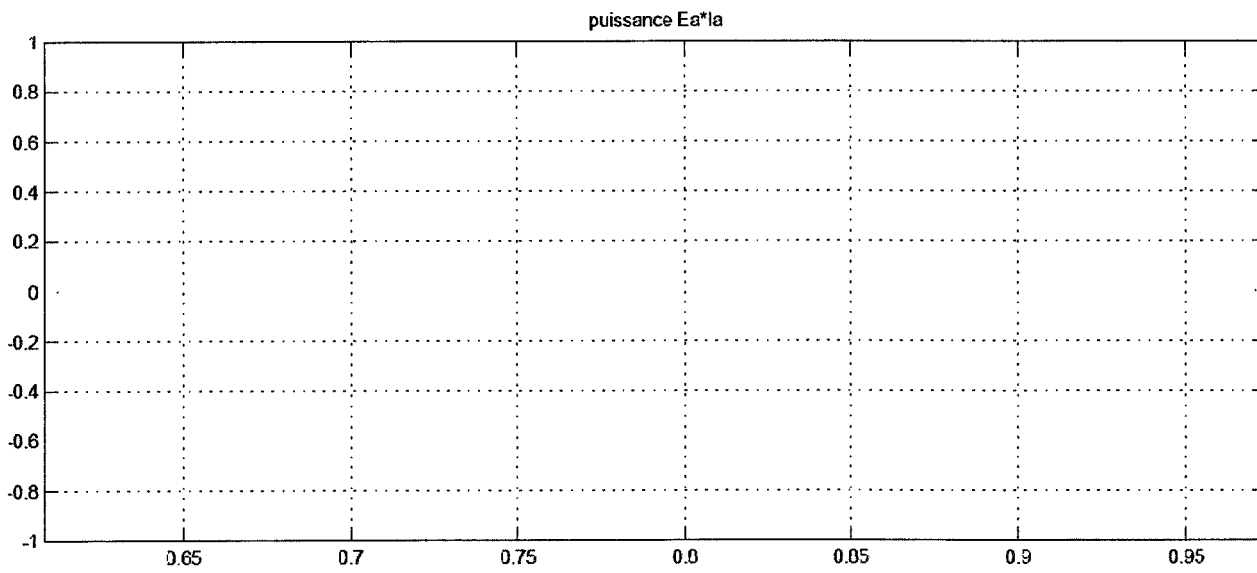
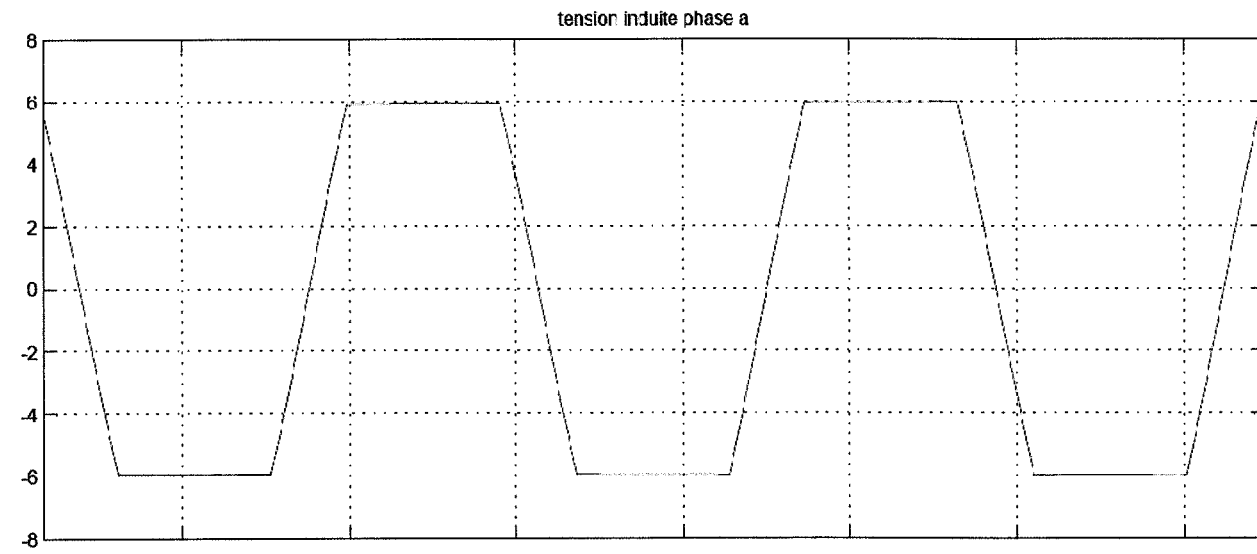
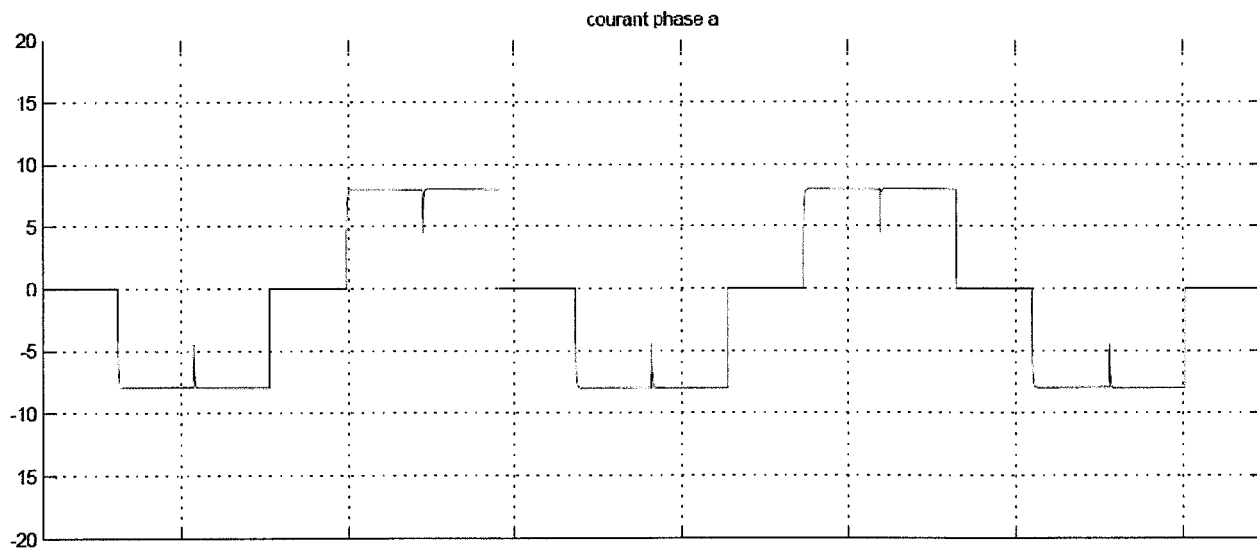
N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAE GEE 3

Document réponse 5

Réponse à la question D-3



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

*(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)*

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

*(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)*

EAE GEE 3

Document réponse 6

Réponse à la question D-4

