

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2011

## ÉTUDE D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

Série S – Sciences de l'Ingénieur

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient : 4

## ÉTUDE D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

Coefficient : 4

Durée de l'épreuve : 4 heures

*Aucun document n'est autorisé.*

*Le matériel autorisé comprend toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante, conformément à la circulaire n°99-181 du 16 novembre 1999.*

*Les réponses seront communiquées sur les documents réponses et des feuilles de copie. Il est conseillé de traiter les différentes parties dans l'ordre.*

### GYROPODE ELEKTORWHEELIE



#### Composition du sujet et sommaire :

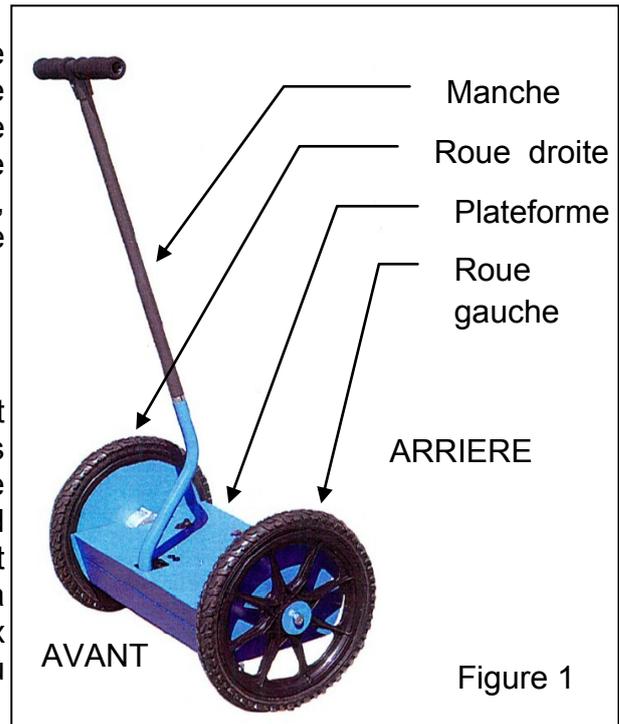
- Un « TEXTE DU SUJET » comprenant 12 pages numérotées de 1 à 12 comportant :
  1. Présentation du système
  2. Principe de fonctionnement
  3. Limitation du rayon de braquage
  4. Comportement dans une pente de 10%
  5. Autonomie du gyropode « ElektorWheelie »
  6. Bilan et conclusion
- Quatre « DOCUMENTS RÉPONSES » repérés DR1 à DR4
- Six « DOCUMENTS TECHNIQUES » repérés DT1 à DT6

# 1. PRÉSENTATION DU SYSTÈME

L'objet de cette étude est le gyropode « ElektorWheelie » (cf. figure 1) produit par la société ELEKTOR.

Par définition, le gyropode est un véhicule électrique monoplace (cf. DT1), constitué d'une plateforme munie de deux roues sur laquelle l'utilisateur se tient debout, d'un système de stabilisation gyroscopique (calculateur, accéléromètre et gyromètre) et d'un manche de maintien et de conduite.

La conduite du gyropode ElektorWheelie se fait par inclinaison du corps vers l'avant ou vers l'arrière, afin d'accélérer ou freiner le mouvement (comme pour la marche à pied dans laquelle le piéton s'incline vers l'avant pour débiter le mouvement). Les virages à droite et à gauche sont quant à eux commandés par l'inclinaison latérale du manche de conduite.



Le gyropode permet de se déplacer rapidement, silencieusement et sans émission polluante dans l'espace dévolu aux piétons. D'abord considérés comme un véhicule de loisirs, les gyropodes sont désormais utilisés au sein de certaines entreprises, publiques et privées, et autres institutions.

Le concepteur de l'ElektorWheelie a souhaité proposer ce gyropode à un prix abordable pour le particulier. Néanmoins, ce véhicule est soumis aux mêmes dispositions réglementaires de sécurité afin de prévenir les chutes graves, cela passe par :

- la limitation du rayon de braquage pour éviter au conducteur qui souhaite prendre un virage de basculer sur le côté ;
- la mise en sécurité (arrêt) du conducteur dans le cas où celui-ci s'insère à vitesse maximale dans une pente supérieure à la pente maximale que le gyropode peut gravir ;
- la limitation de la durée d'action du gyropode afin de garantir la disponibilité de la source d'énergie (tout en évitant une décharge profonde des batteries).

## PROBLÉMATIQUE

**Le présent sujet se propose de jeter un regard critique sur les solutions retenues pour des raisons de coût, puis d'envisager quelques améliorations pour accroître la disponibilité du véhicule, à la fois pour ce qui est de son autonomie et de ses dispositifs de mise en sécurité du conducteur.**

## 2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le document DT1 représente la constitution du gyropode.

Le calculateur gère les vitesses et sens de rotation des deux moteurs à courant continu de 24 V grâce à deux sorties commandées en MLI (modulation en largeur d'impulsion) et deux ponts en H. Le gyropode est alimenté à partir de deux batteries 12V reliées en série.

En outre, le calculateur :

- surveille, grâce à un capteur de courant, le courant fourni par l'ensemble des deux batteries. Lors d'une surcharge, il y a coupure de l'alimentation des moteurs ;
- reçoit les informations en provenance du gyromètre et de l'accéléromètre afin de déterminer la vitesse et le sens de déplacement ;
- reçoit les informations en provenance du potentiomètre de recopie, relié au manche de l'ElektorWheellie, afin de déterminer la direction (gauche / droite) ;
- surveille aussi la tension des batteries au moyen de son convertisseur analogique numérique.

Le gyromètre fournit une tension proportionnelle à la vitesse angulaire de la plateforme. Si celle-ci s'incline rapidement, il donnera une grande variation de tension par unité de temps.

L'accéléromètre fournit sur la plage de fonctionnement une tension proportionnelle à l'angle d'inclinaison de la plateforme.

Le potentiomètre fournit une tension proportionnelle à l'orientation (gauche / droite) du manche par rapport à la plateforme.

Q.1) À partir des informations ci-dessus et du schéma bloc (DT5 C), indiquer sur feuille de copie les éléments constituant la fonction « acquérir ».

Q.2) Préciser le rôle de la fonction « distribuer » et indiquer le type et les caractéristiques des énergies se trouvant à l'entrée et à la sortie de la fonction « distribuer ».

Q.3) Que se passe-t-il en cas de coupure d'électricité ? Justifier la nécessité de surveiller en permanence l'état de charge de la batterie.

### 3. LIMITATION DU RAYON DE BRAQUAGE

La fonction contrainte FC3 (cf. DT4) : « rester manœuvrable dans la circulation » fait état de critères de non dérapage et de non basculement ainsi que de trois rayons de virage minimaux suivant l'utilisation faite de l'ElektorWheelie (à la vitesse d'un homme qui marche :  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , à la vitesse d'un homme qui court :  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  et à vitesse maximale :  $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ).

L'objectif de cette partie est de vérifier ces critères de non dérapage et de non basculement et d'utiliser ces études afin d'élaborer un programme (algorithme) pour que le conducteur puisse prendre des virages en toute sécurité quelle que soit sa vitesse.

#### 3-1. Condition de non dérapage : aucun glissement entre les roues et le sol

Avant de s'engager dans un virage (sur la gauche dans ce cas d'étude, voir figure 2), l'ensemble « Conducteur + ElektorWheelie », qui sera noté {S}, se déplace en translation suivant  $\vec{y}_0$  à vitesse constante  $\|\vec{V}_{G \in S / R_0}\| = V$ .

Le conducteur oriente alors le manche afin de prendre le virage.

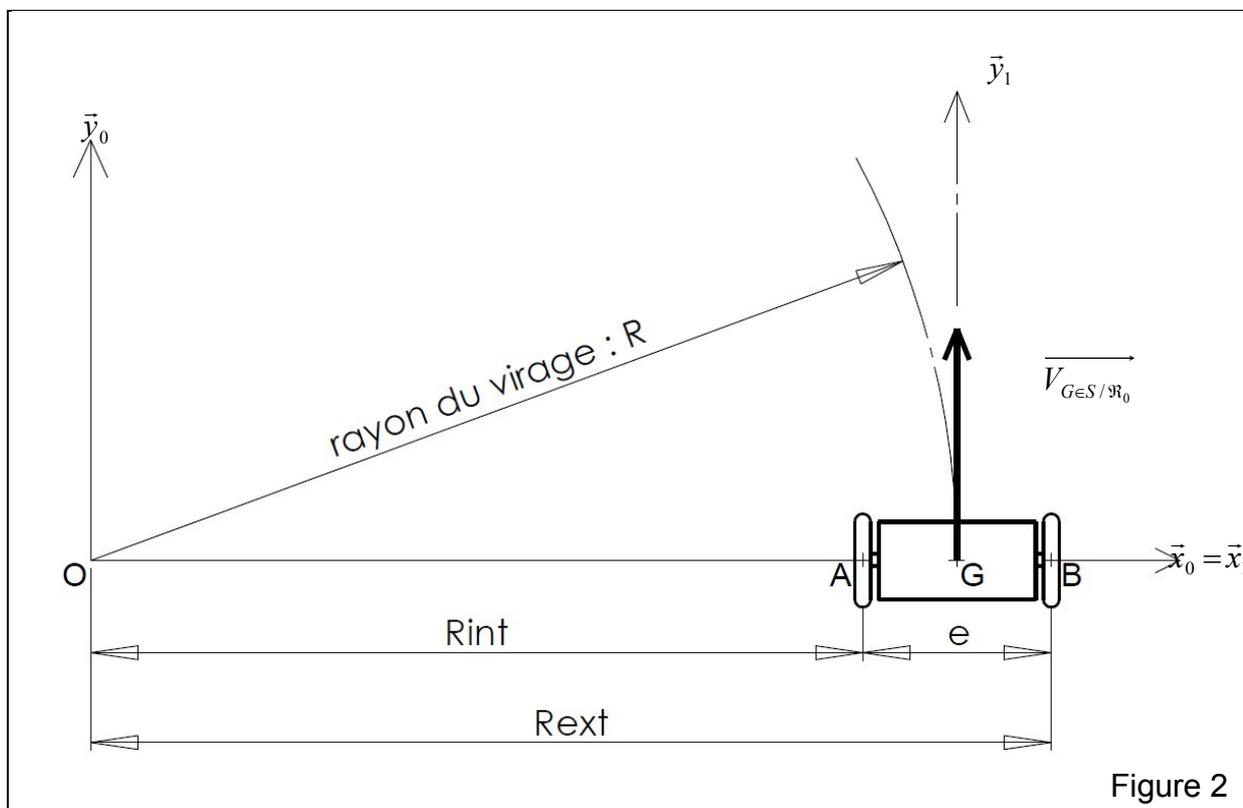


Figure 2

Pour prendre le virage sans déraper (roulement sans glissement en A et B), la roue extérieure et la roue intérieure doivent tourner à des vitesses différentes. On se propose de vérifier la relation entre ces fréquences de rotation donnée ci-dessous :

$$\frac{N_{mot.G}}{N_{mot.D}} = \frac{2 \cdot R - e}{2 \cdot R + e}$$

Avec :  $N_{mot.G}$  : Vitesse de rotation du moteur gauche ( $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ )  
 $N_{mot.D}$  : Vitesse de rotation du moteur droit ( $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ )  
 $R$  : Rayon du virage (m)  
 $e$  : Distance entre les points de contact des deux roues avec le sol (m).

Hypothèses et données :

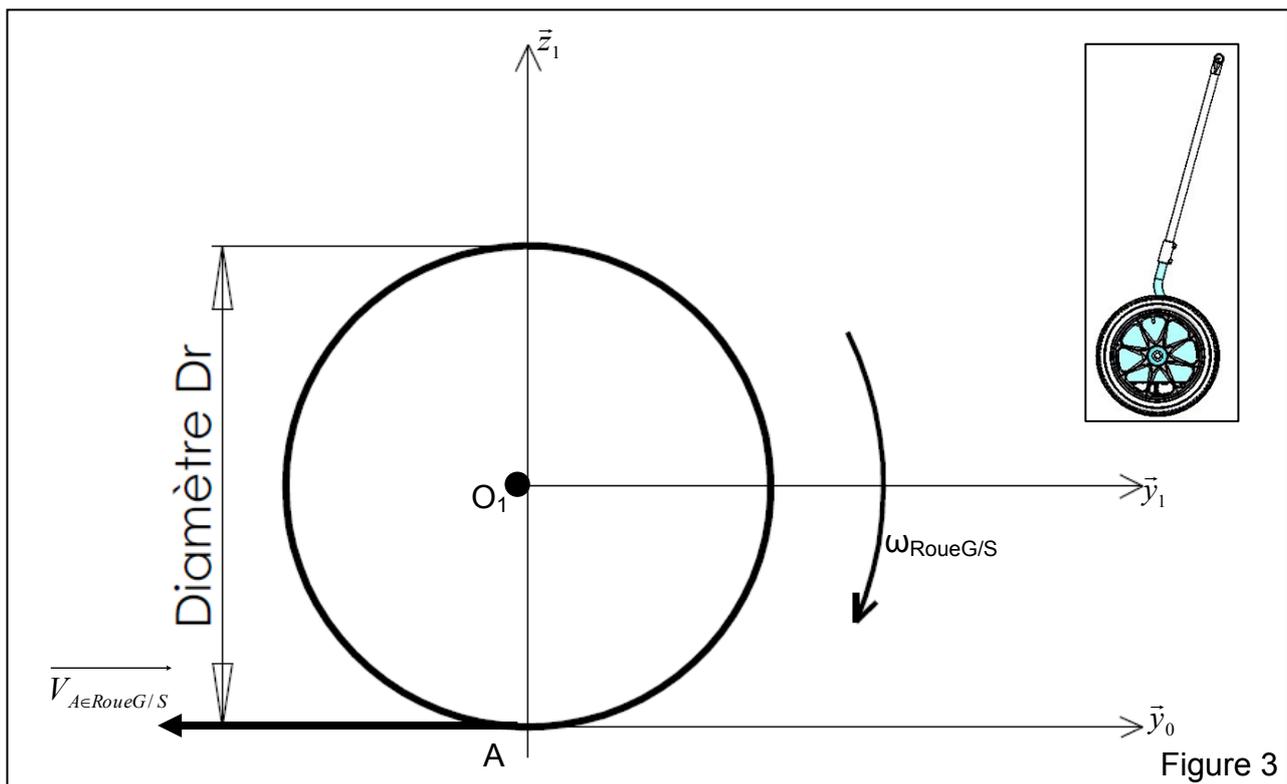
- $\mathfrak{R}_0(O, \bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$  est un repère fixe lié au sol ;
- $\mathfrak{R}_1(G, \bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_1)$  est un repère lié à l'ensemble  $\{S\}$ , avec  $\bar{z}_0 = \bar{z}_1$  ;
- $G$  est le centre de gravité de  $\{S\}$  ;
- l'étude porte sur la phase où le mouvement de  $\{S\}$  par rapport à  $\mathfrak{R}_0$  est un mouvement de rotation d'axe  $(O, \bar{z}_0)$  ;
- la trajectoire de  $G$  appartenant à  $\{S\}$  dans son mouvement par rapport à  $\mathfrak{R}_0$  est un cercle de centre  $O$  et de rayon  $R$ , rayon du virage.

Q.4) Exprimer le rayon du virage de la roue gauche noté  $R_{int}$  et le rayon du virage de la roue droite noté  $R_{ext}$  en fonction de  $R$  et de  $e$ .

Q.5) En utilisant la figure 2, exprimer  $\|\vec{V}_{A \in S / R_0}\|$  en fonction de la vitesse  $V$  de  $\{S\}$ , de  $R_{int}$  et de  $R$ .

Q.6) En faire de même pour la vitesse  $\|\vec{V}_{B \in S / R_0}\|$  en fonction de la vitesse  $V$  de  $\{S\}$ , de  $R_{ext}$  et de  $R$ .

Pour la suite, seul le mouvement de la roue gauche sera étudié et les résultats seront extrapolés pour la roue droite.



En considérant l'hypothèse de roulement sans glissement au point de contact  $A$  entre la roue gauche et le sol, on montre que :

$$\|\vec{V}_{A \in S / R_0}\| = \|\vec{V}_{A \in RoueG / S}\|$$

Q.7) Déterminer l'expression littérale de la vitesse angulaire de la roue gauche par rapport à l'ensemble  $\{S\} = \{\text{Conducteur+ElektorWheelie}\}$  noté  $\omega_{\text{RoueG}/S}$  en fonction de  $R_{int}$ , de  $R$ , de  $V$  et de  $Dr$ .

Q.8) En utilisant le document technique DT3, déterminer le rapport de transmission  $r_{\text{RoueG}/\text{moteurG}}$  en fonction de  $Zm$  et  $Zr$ .

Rappel : 
$$r_{\text{RoueG}/\text{moteurG}} = \frac{\omega_{\text{RoueG}}}{\omega_{\text{moteurG}}}$$

Q.9) En déduire l'expression littérale de la vitesse angulaire ( $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ) du moteur gauche  $\omega_{\text{moteurG}}$  puis de la fréquence de rotation ( $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ ) du moteur gauche  $N_{\text{moteurG}}$  en fonction de  $R_{int}$ , de  $R$ , de  $V$ , de  $Dr$ , de  $Zm$  et de  $Zr$ .

Q.10) Sachant qu'une démarche identique aurait pu être conduite avec la roue droite (roue extérieure), donner l'expression littérale de la fréquence de rotation du moteur droit  $N_{\text{moteurD}}$  en fonction de  $R_{ext}$ , de  $R$ , de  $V$  de  $Dr$ , de  $Zm$  et de  $Zr$ .

Q.11) Vérifier alors la relation suivante liant les fréquences de rotation des moteurs gauche et droit :

$$\frac{N_{\text{moteurG}}}{N_{\text{moteurD}}} = \frac{2 \cdot R - e}{2 \cdot R + e}$$

Q.12) Justifier la nécessité de connaître la valeur précise du rapport entre  $N_{\text{moteurG}}$  et  $N_{\text{moteurD}}$  afin de garantir la condition de non-dérapiage de l'ElektorWheelie en virage.

### 3-2. Condition de non basculement : maintien du contact des deux roues avec le sol

L'ensemble « Conducteur + ElektorWheelie » est engagé dans le virage à vitesse constante, il est soumis à une accélération normale susceptible de le faire basculer vers l'extérieur du virage.

On se propose de vérifier les valeurs des rayons des virages minimaux à imposer à l'ensemble  $\{S\}$  permettant d'éviter ce risque (cf. fonction contrainte FC3 dans le document technique DT4).

Hypothèses et données :

- $\mathfrak{R}_0(O; \vec{x}_0; \vec{y}_0; \vec{z}_0)$  est un repère fixe lié au sol ;
- l'étude porte sur la phase où le mouvement de  $\{S\}$  par rapport à  $\mathfrak{R}_0$  est un mouvement de rotation d'axe  $(O, \vec{z}_0)$  ;
- accélération de pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  ;
- $M = 135 \text{ kg}$  : masse de l'ensemble  $\{S\} = \{\text{Conducteur+ElektorWheelie}\}$  ;
- $h = 0,95 \text{ m}$  ;
- $e = 0,568 \text{ m}$ .

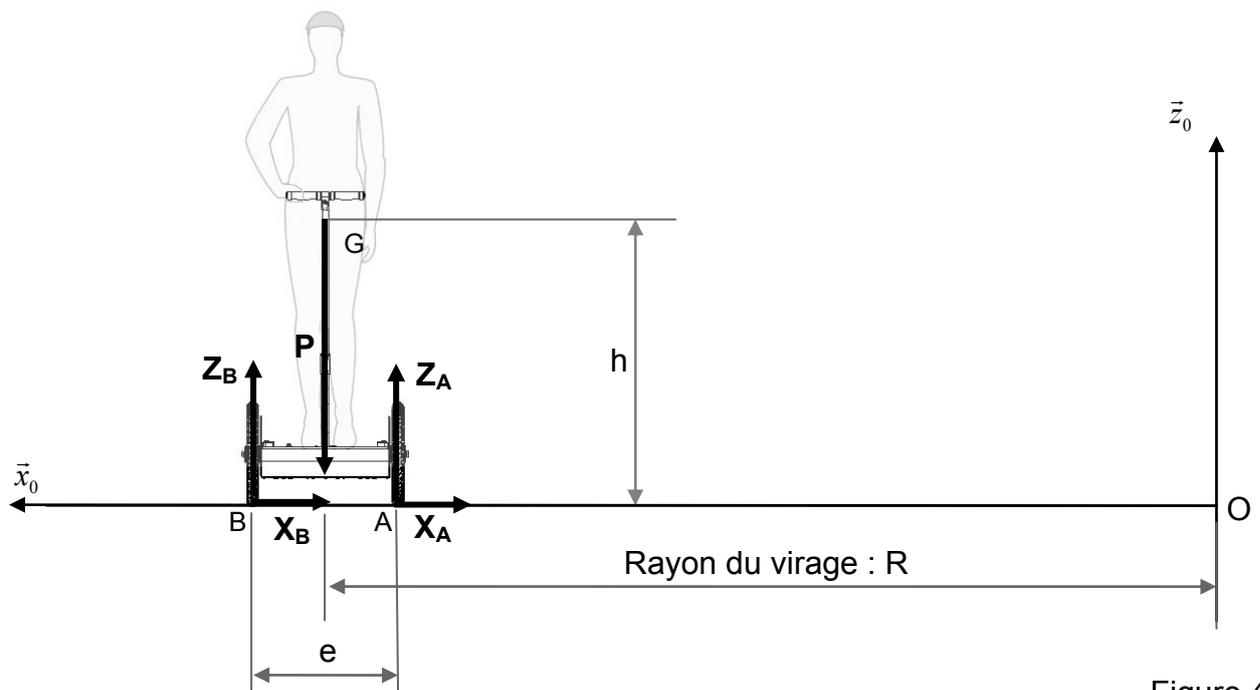


Figure 4

L'inventaire des actions mécaniques extérieures appliquées à l'ensemble  $\{S\}$  est le suivant :

- en A, action de liaison ponctuelle avec frottement :  $\overrightarrow{A_{sol/S}} (-X_A, 0, Z_A)_{\mathcal{R}_0}$  ;
- en B, action de liaison ponctuelle avec frottement :  $\overrightarrow{B_{sol/S}} (-X_B, 0, Z_B)_{\mathcal{R}_0}$  ;
- en G, action de la pesanteur.

Q.13) Montrer que le théorème du moment dynamique, en B, appliqué à l'ensemble  $\{S\}$  en projection suivant  $\vec{y}_0$  s'écrit :  $-M \cdot \frac{V^2}{R} \cdot h = -P \cdot \frac{e}{2} + Z_A \cdot e$ .

Q.14) Le basculement de l'ensemble  $\{S\} = \{\text{Conducteur} + \text{ElektorWheelie}\}$  vers l'extérieur a lieu lorsque la roue intérieure n'est plus en contact avec le sol. Indiquer la conséquence pour la composante  $Z_A$ .

Q.15) En utilisant l'expression du théorème du moment en B, déterminer alors l'expression littérale du rayon du virage  $R$  en fonction de la vitesse  $V$ , de  $h$ , de  $e$  et de  $g$ .

Conformément à cette expression, l'évolution de  $R$  en fonction de  $V$  peut être représentée par le graphe fourni dans le document réponse DR1.

Q.16) En utilisant ce graphe et en laissant apparaître les tracés, déterminer, pour les trois conditions de fonctionnement (à la vitesse d'un homme qui marche :  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , à la vitesse d'un homme qui court :  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  et à la vitesse maximale :  $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), les rayons de virage minimaux que l'ensemble  $\{S\} = \{\text{Conducteur+ElektorWheelie}\}$  doit prendre pour ne pas basculer. À cet effet, compléter le tableau fourni sur le document réponse DR1.

Q.17) Vérifier que ces valeurs correspondent aux valeurs préconisées par le constructeur en FC3 et indiquer ce qu'il pourrait advenir si le conducteur ne respectait pas ces préconisations.

### 3-3. Mise en sécurité du Conducteur

Dans le cas où le conducteur s'engage, à vitesse maximale, dans un virage, il faut que le programme du calculateur limite les consignes du manche de conduite afin d'éviter le basculement de l'ensemble.

L'objectif de cette partie est donc d'élaborer un programme (algorithme) qui permettra d'assurer la sécurité du conducteur lorsque celui-ci prend un virage.

Q.18) En utilisant les courbes fournies dans les documents réponses DR1 et DR2 et en laissant apparaître les tracés, déterminer, pour les trois conditions de fonctionnement, les fréquences de rotation des moteurs gauche et droit (intérieur et extérieur) à commander pour éviter tout dérapage et basculement de l'ensemble  $\{\text{Conducteur+ElektorWheelie}\}$  en courbe. Compléter le tableau fourni sur le document réponse DR1.

La fréquence de rotation de chaque moteur est gérée par programme à l'aide d'une modulation à largeur d'impulsion. On supposera la fréquence directement proportionnelle à la valeur moyenne de la tension aux bornes du moteur. De plus, la fréquence nominale d'un moteur est de  $3982 \text{ tr}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Q.19) À l'aide du document technique DT5-D, compléter le document réponse DR3 en précisant les valeurs des consignes CD et CG ainsi que l'écart entre ces consignes :  $\Delta p$ ,  $\Delta c$ ,  $\Delta w$ .

On propose d'élaborer un programme qui va surveiller la consigne de vitesse du gyropode (CV) calculée en faisant la moyenne entre les consignes vitesses des deux moteurs (CG et CD). Selon la gamme de vitesse à laquelle se déplace le gyropode, le programme déterminera ensuite la différence entre les deux consignes ( $\Delta$ ) et la comparera avec les différences maximales déterminées dans la question précédente (constantes  $\Delta p$ ,  $\Delta c$ ,  $\Delta w$ ).

Si cette différence  $\Delta$  dépasse  $\Delta p$ ,  $\Delta c$  ou  $\Delta w$  selon la vitesse du gyropode, le programme devra limiter la vitesse de la roue extérieure afin de respecter le rayon minimal de braquage.

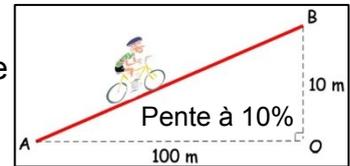
Q.20) Compléter l'algorithme sur le document réponse DR3.

## 4. COMPORTEMENT DANS UNE PENTE À 10%

La fonction contrainte FC1 : « donner au conducteur une sensation de stabilité » du cahier des charges fonctionnel (cf. DT4) fait état d'une pente maximum de 10 % à vitesse maximale ( $18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

L'objectif de cette partie est donc de vérifier ce critère puis, de s'assurer que le calculateur contrôle correctement la mise en sécurité du conducteur.

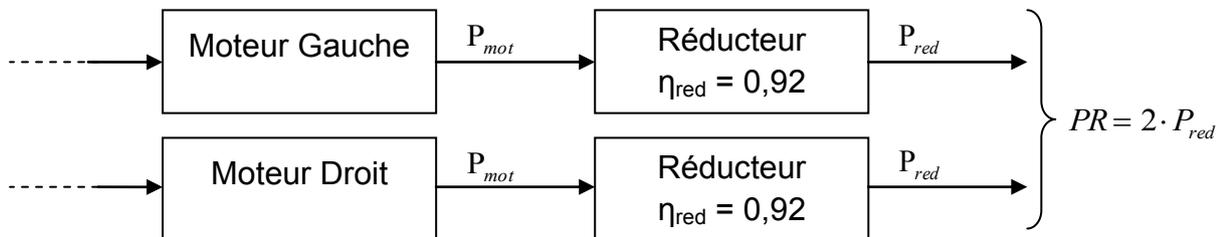
Rappel : Exprimée en pourcent, la pente (d'une route) est le rapport de la hauteur par la distance horizontale parcourue.



### 4-1. Vérification du critère de la fonction contrainte FC1

L'objectif de cette partie est de vérifier que la pente maximale que peut gravir l'ensemble  $\{S\} = \{\text{Conducteur} + \text{ElektorWheelie}\}$  à vitesse maximale est de 10%.

Le synoptique de la transmission de puissance est donné ci dessous :



Avec :  $P_{mot}$  : Puissance délivrée par le moteur électrique  
 $P_{red}$  : Puissance à la sortie du réducteur, délivrée à la roue  
 $PR$  : Puissance à fournir aux roues pour vaincre le couple résistant total.

Dans le cas d'un mouvement rectiligne uniforme de l'ensemble  $\{S\}$ , trois paramètres interviennent principalement pour s'opposer à son déplacement :

- la valeur de la pente à gravir ;
- le coefficient de roulement au contact sol/pneumatique ;
- le coefficient de pénétration dans l'air.

Le graphe fourni sur le document réponse DR4 représente l'évolution de la puissance à fournir pour vaincre ces résistances en fonction de la vitesse de  $\{S\}$  pour des pentes variant de 0 % (terrain plat) à 20 %.

Q.21) À l'aide de ce graphe et en laissant apparaître les tracés, indiquer pour le cas de la pente correspondant au critère FC1 du cahier des charges, la valeur de la puissance nécessaire à vitesse maximale à délivrer aux roues pour la gravir. En déduire la valeur de la puissance à délivrer à chaque roue :  $P_{red}$ .

Q.22) En étudiant le synoptique de la transmission de puissance fourni ci-dessus, indiquer la valeur de la puissance délivrée par un moteur électrique :  $P_{mot}$ .

Q.23) En fonction des caractéristiques des moteurs qui équipent le gyropode ElektorWheelie (cf. DT4), conclure quant au respect de la fonction contrainte FC1.

Q.24) Que se passe-t-il si le conducteur s'engage à vitesse maximale dans une pente de 15% ?

#### 4-2. Vérification des paramètres du calculateur

Lorsque l'ElektorWheelie commence à gravir une pente, le conducteur risque de chuter s'il reste incliné comme dans la partie plate.

On suppose qu'en position repos, à l'arrêt, le gyropode est incliné de  $5^\circ$  vers l'avant.

Le concepteur de l'ElektorWheelie précise bien que les moteurs n'auront pas la puissance nécessaire pour empêcher la chute de l'utilisateur dès lors que l'inclinaison excèdera  $7,5^\circ$  par rapport à la verticale.

Ce risque de chute peut être détecté par la surveillance combinée de deux paramètres : à la fois une inclinaison de  $7,5^\circ$  et un courant élevé au niveau du moteur.

Nous allons déterminer la tension délivrée par l'accéléromètre qui informera le calculateur d'arrêter le gyropode dans ce cas de figure.

Q.25) Préciser sur la caractéristique du capteur (document réponse DR4), le point de repos du gyropode. On notera ce point « **Repos** ». En déduire la tension délivrée par ce capteur lorsque le gyropode est au repos.

Q.26) Placer ensuite le point pour une inclinaison de  $7,5^\circ$  : on le notera « **Pente** ». En déduire la tension délivrée par ce capteur lorsque le gyropode gravit une pente maxi.

Nous souhaitons améliorer la sensibilité du dispositif en ajoutant un conditionneur de signal derrière le capteur.

Q.27) Comparer l'écart des valeurs fournies par le capteur entre la position **Repos** et la **Pente** de  $7,5^\circ$ . Justifier la nécessité d'améliorer la sensibilité du dispositif et indiquer le nom de la fonction à assurer par le conditionneur.

Q.28) Décrire la procédure que devra mettre en œuvre le calculateur afin de surveiller le gyropode puis le placer en sécurité dans le cas où ce dernier se mettrait à gravir une pente trop importante.

## 5. AUTONOMIE DU GYROPODE « ELEKTORWHEELIE »

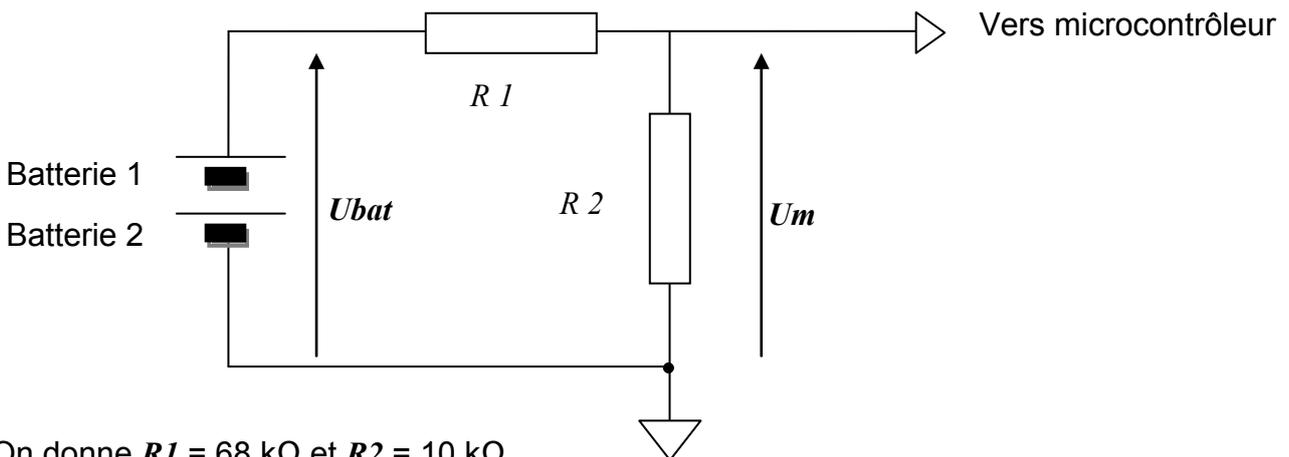
Le gyropode se trouve en permanence dans un équilibre dynamique. En cas de défaillance de la source d'énergie, la chute est assurée.

Cette défaillance risque de se produire lorsque la tension aux bornes de chacune des batteries chute de plus de 10 % par rapport à leur valeur nominale (dans ce cas la tension risque de décroître très rapidement, et la tension d'alimentation des moteurs risque de ne plus être suffisante; en outre les batteries risquent de ne plus pouvoir être rechargées).

On souhaite donc prévenir une décharge trop importante en surveillant la tension à leurs bornes.

Lorsque cette tension descendra au dessous du seuil limite, le calculateur donnera l'ordre de ralentissement puis d'arrêt du gyropode.

On donne le schéma électrique qui permet au microcontrôleur présent sur le calculateur de surveiller les deux batteries :



On donne  $R1 = 68 \text{ k}\Omega$  et  $R2 = 10 \text{ k}\Omega$ .

Q.29) À partir des informations ci-dessus, donner la valeur de la tension  $U_{bat}$  qui doit déclencher le signal d'arrêt du gyropode.

On rappelle la relation entre  $U_{bat}$  et  $U_m$  :  $U_m = U_{bat} \times \frac{R2}{R1 + R2}$

Q.30) En déduire la valeur de la tension  $U_m$  qui doit déclencher le signal d'arrêt.

Le microcontrôleur possède un convertisseur analogique-numérique 10 bits et de tension pleine échelle 3V.

Q.31) Calculer la valeur numérique que le programme doit détecter afin de donner l'ordre d'arrêt du gyropode.

Q.32) À partir du document technique DT6-E, donner la valeur du courant moyen fourni par les batteries à  $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Q.33) À partir du document technique DT6-F, en déduire dans ces conditions le temps maximal d'utilisation du gyropode.

Q.34) D'après le document technique DT4, indiquer le rayon d'action estimé par le constructeur et en déduire son autonomie estimée. Comparer cette valeur avec celle déterminée à la question précédente.

Q.35) Proposer en justifiant une solution afin d'augmenter l'autonomie du gyropode.

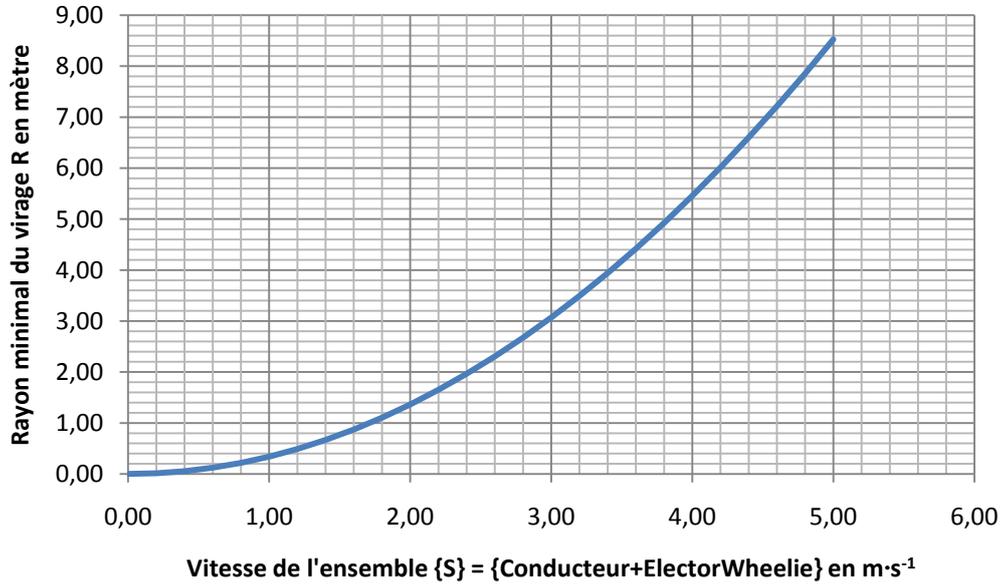
## **6. BILAN ET CONCLUSION**

On a pu constater que des améliorations simples du gyropode, dépendant principalement des capteurs et du calculateur, permettraient d'assurer une plus grande sécurité (contrôle dans les virages, surveillance des batteries, contrôle lors d'une montée).

Q36) Analyser les résultats obtenus et proposer d'autres améliorations simples qui pourraient être apportées à l'ElektorWheelie.

Q.16) Valeurs minimales des rayons des virages :

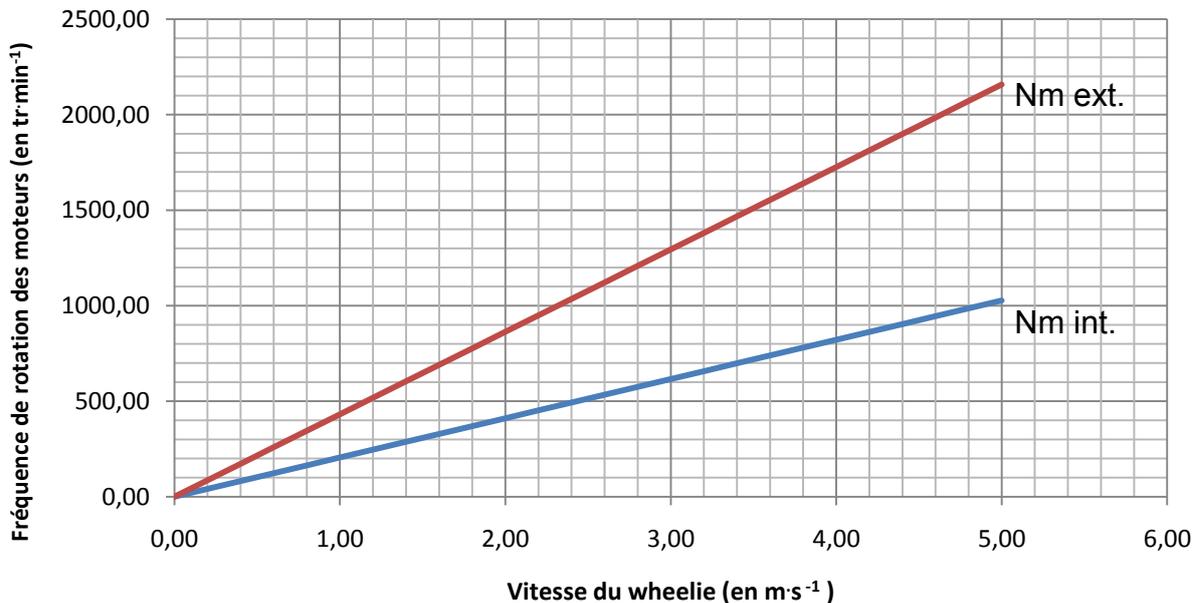
Conditions de fonctionnement	Vitesse (en km h <sup>-1</sup> )	Vitesse (en m s <sup>-1</sup> )	Rayon (en m)
Homme qui marche	5		
Homme qui court	10		
Vitesse maximale	18		



Q.18) Fréquences de rotation des moteurs (gauche et droite : roue intérieure et extérieure) :

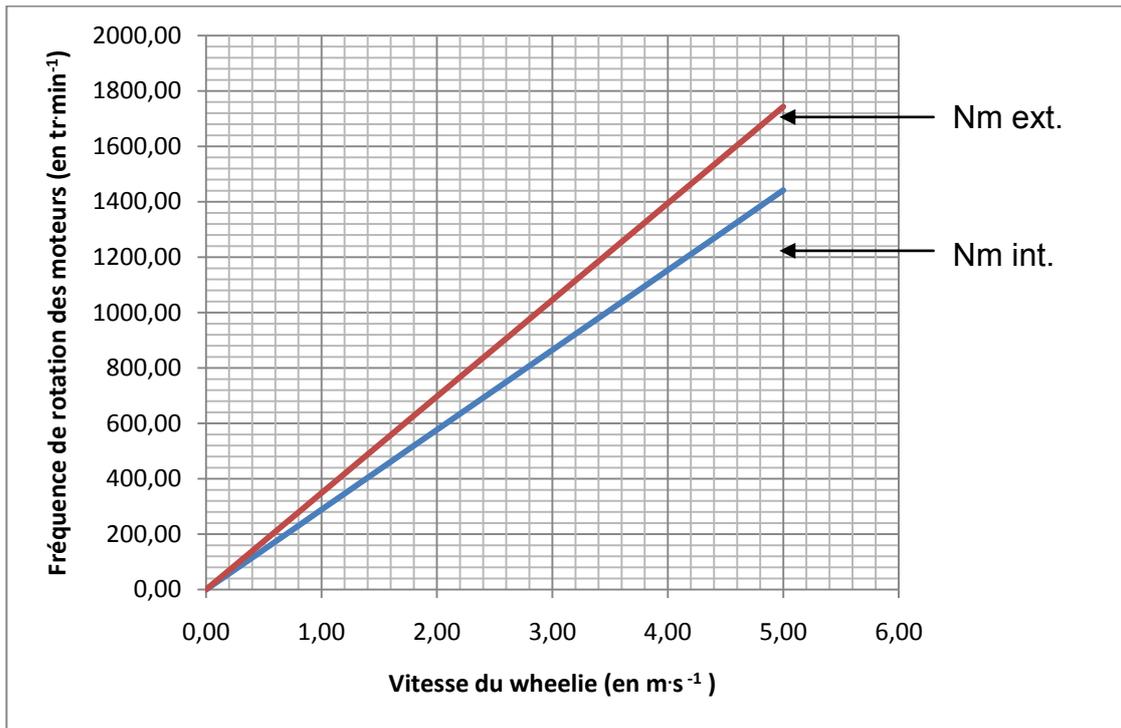
Conditions de fonctionnement	Vitesse (en km h <sup>-1</sup> )	Vitesse (en m s <sup>-1</sup> )	Rayon (en m)	Nm int (en tr·min <sup>-1</sup> )	Nm ext (en tr·min <sup>-1</sup> )
Homme qui marche	5				
Homme qui court	10				
Vitesse maximale	18				

Courbe  $N_{\text{moteur}} = f(V)$  pour un rayon de virage de 0,8 m :

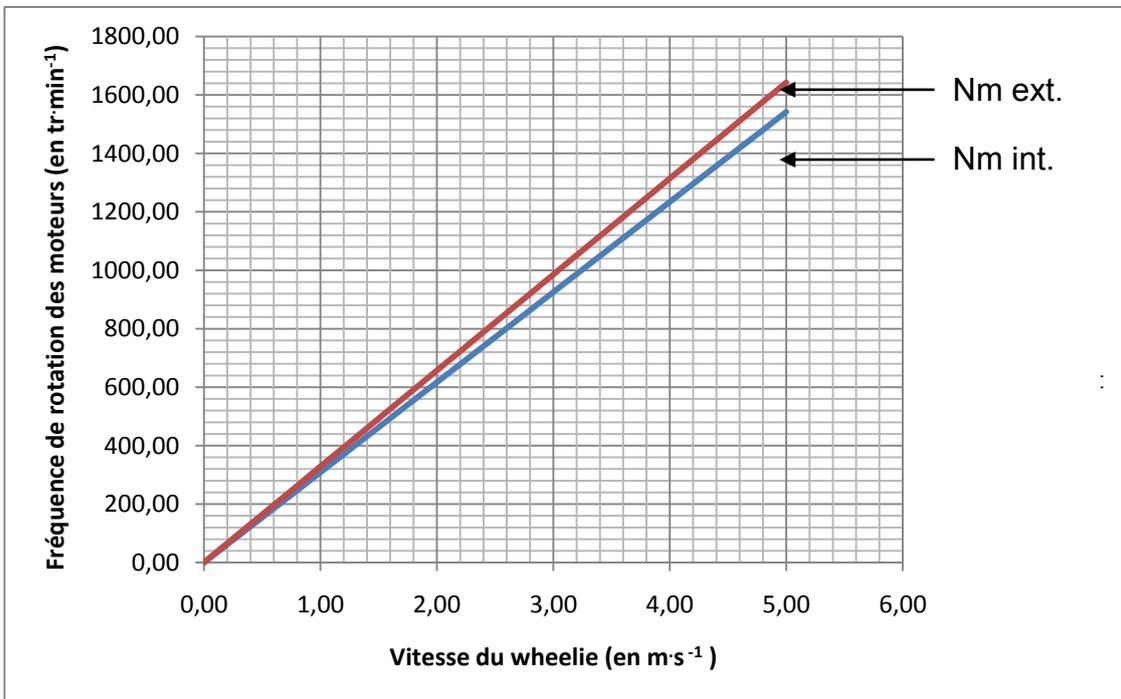


Courbe  $N_{\text{moteur}} = f(V)$  pour un rayon de virage de 3 m :

**DR2**



Courbe  $N_{\text{moteur}} = f(V)$  pour un rayon de virage de 9 m :



Q.19) Calcul des constantes  $\Delta p$ ,  $\Delta c$ ,  $\Delta w$ , dans le cas d'un virage à gauche :

Conditions de fonctionnement	$U_{\text{moteur Gauche}}_{\text{moyen}}$ (en V)	$U_{\text{moteur Droite}}_{\text{moyen}}$ (en V)	CD	CG	Différence MAXIMALE entre les deux consignes
Homme qui marche	1,7	3,6			$\Delta p =$
Homme qui court	4,8	5,7			$\Delta c =$
Vitesse maximale	9,3	9,9			$\Delta w =$

Q.20)

**Constantes :**

CP : consigne vitesse piéton

CC : consigne vitesse coureur

CWm : consigne vitesse max Wheelie

$\Delta p$  = différence maximale entre les consignes de vitesse Gauche et Droite en mode piéton

$\Delta c$  = différence maximale entre les consignes de vitesse Gauche et Droite en mode coureur

$\Delta w$  = différence maximale entre les consignes de vitesse Gauche et Droite lorsque le Wheelie avance à 18 km/h

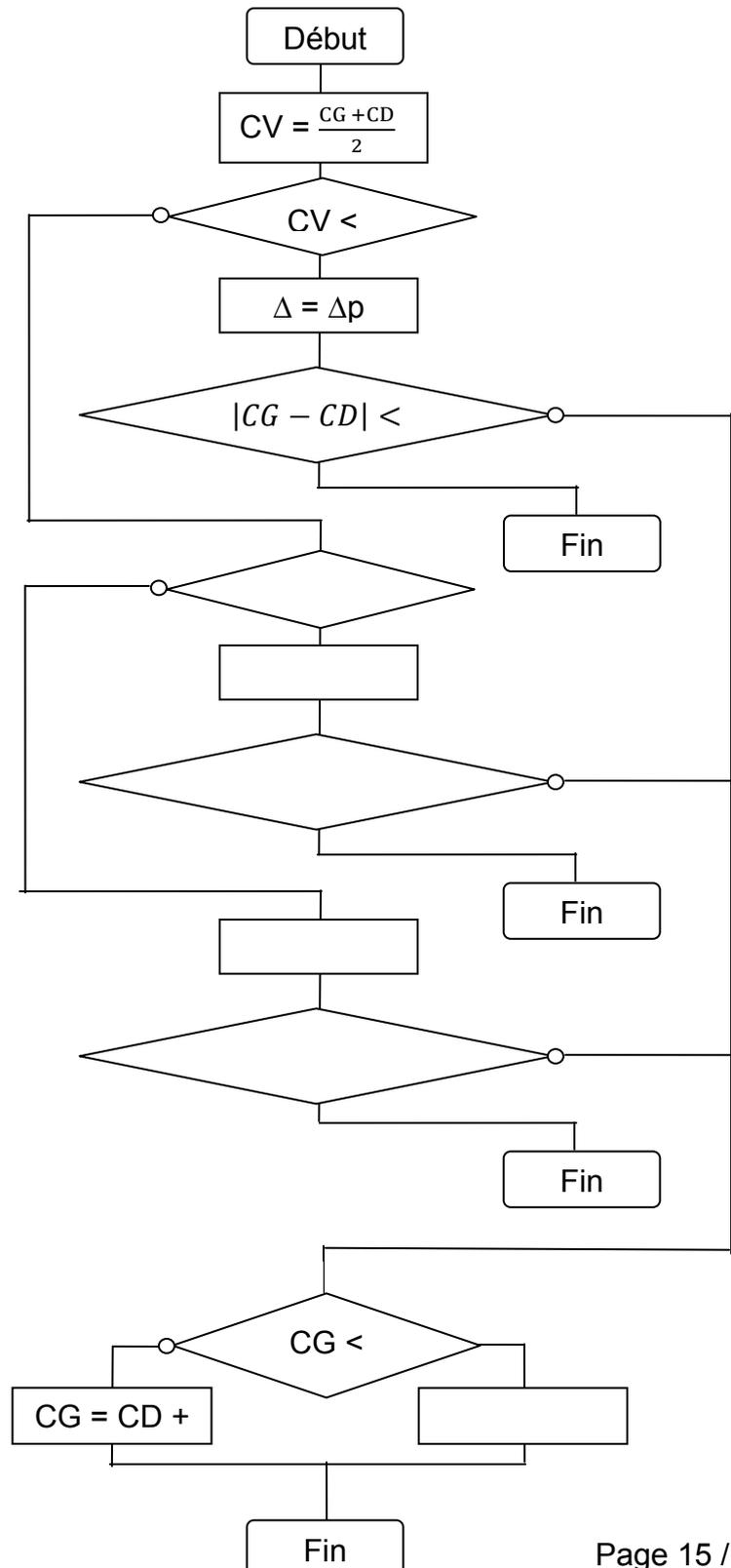
**Variables :**

CG : consigne vitesse moteur Gauche

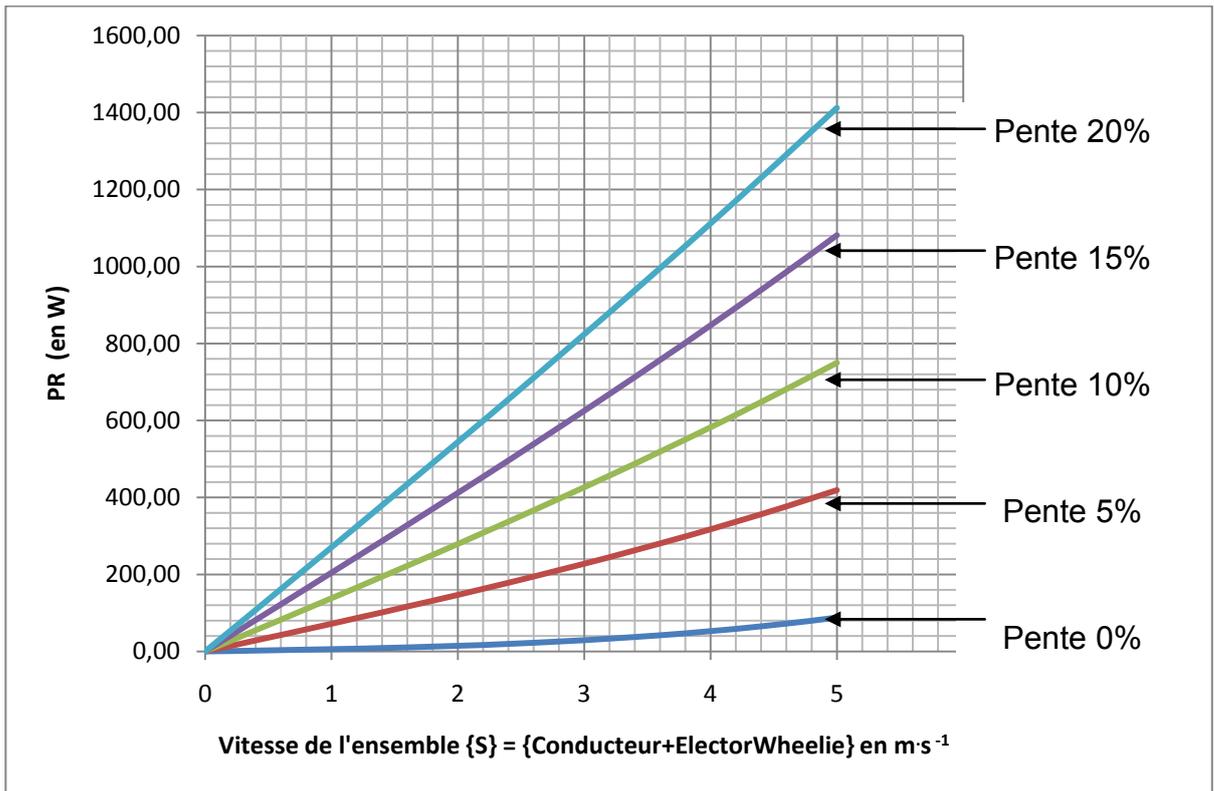
CD : consigne vitesse moteur Droite

CV : consigne vitesse moyenne du Wheelie

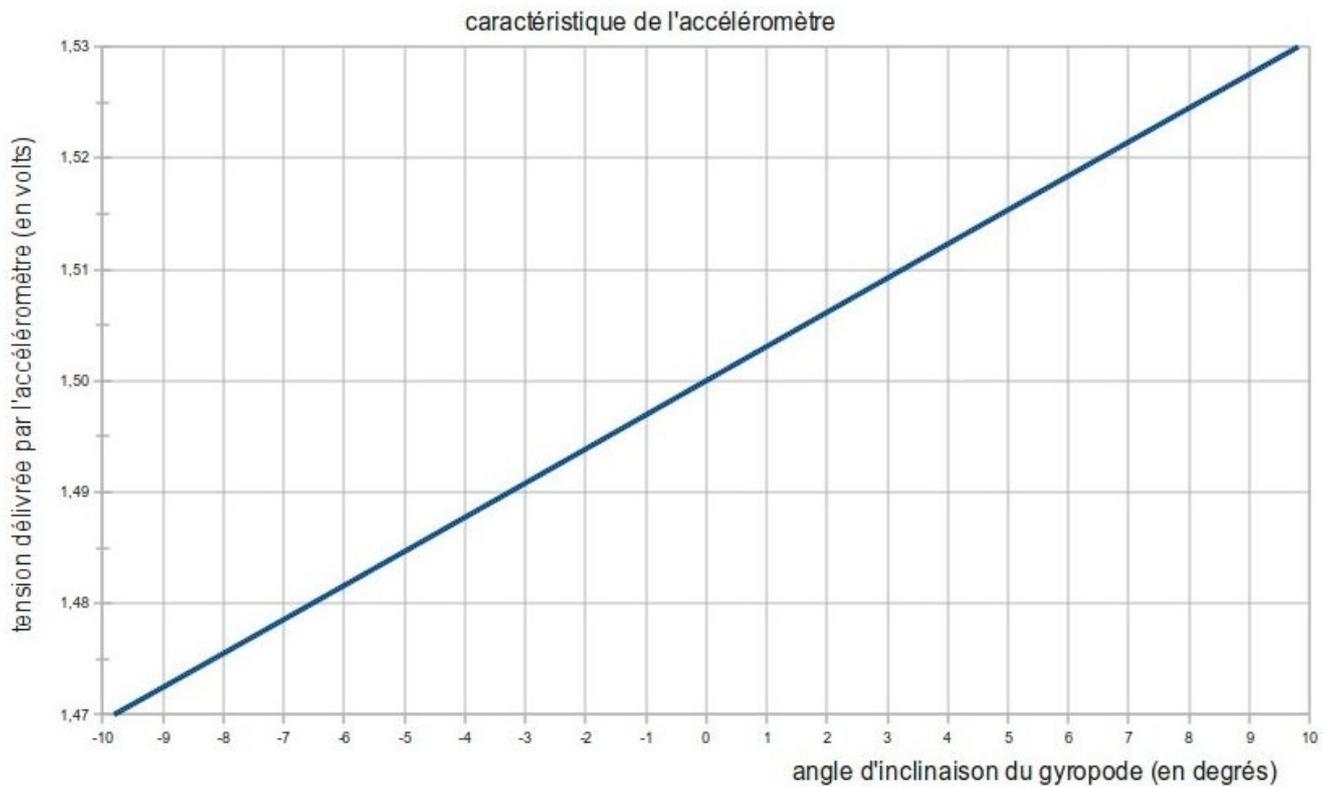
$\Delta$  = différence entre les consignes de vitesse Gauche et Droite



Q.21)



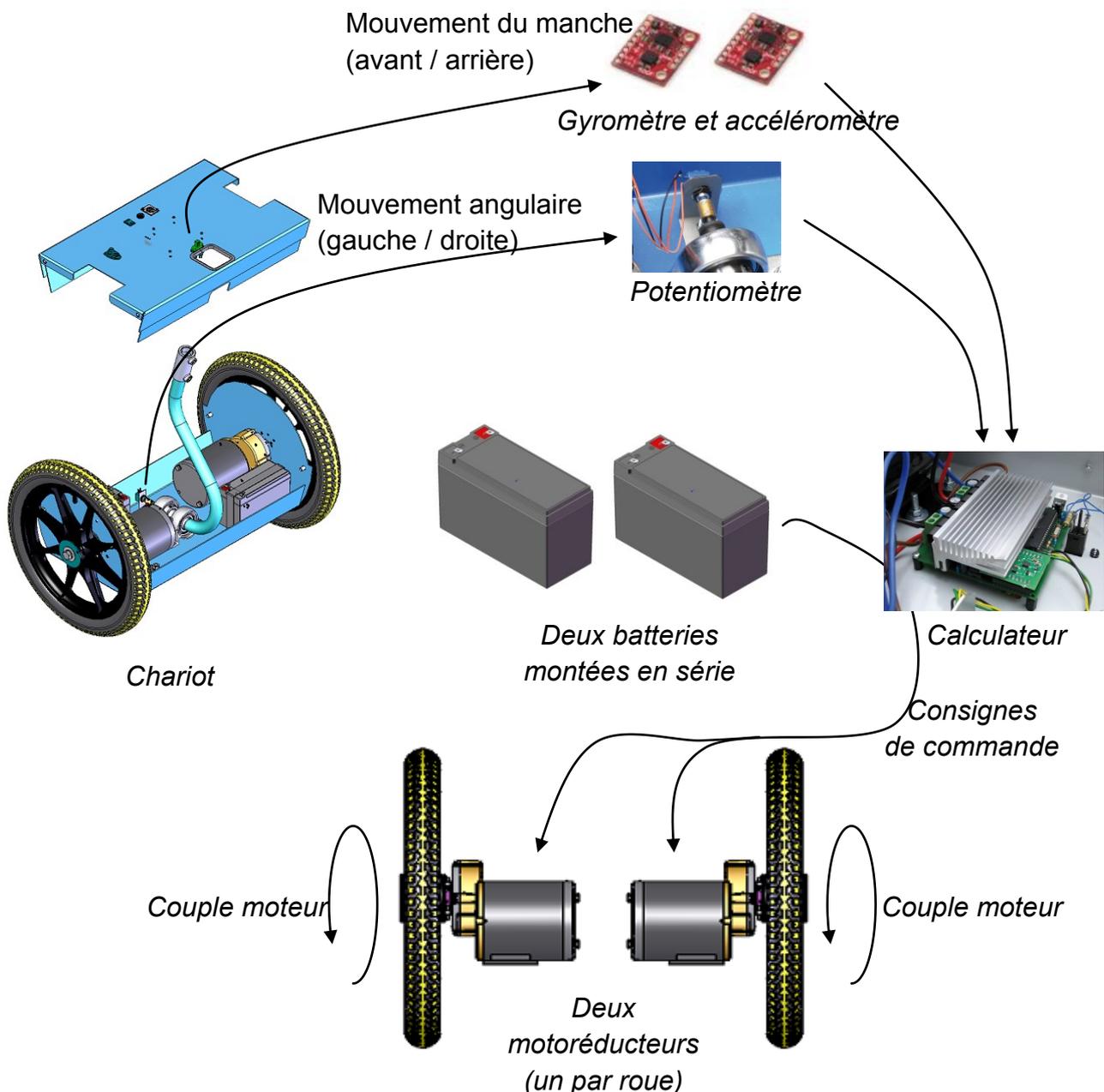
Q.25 et 26)



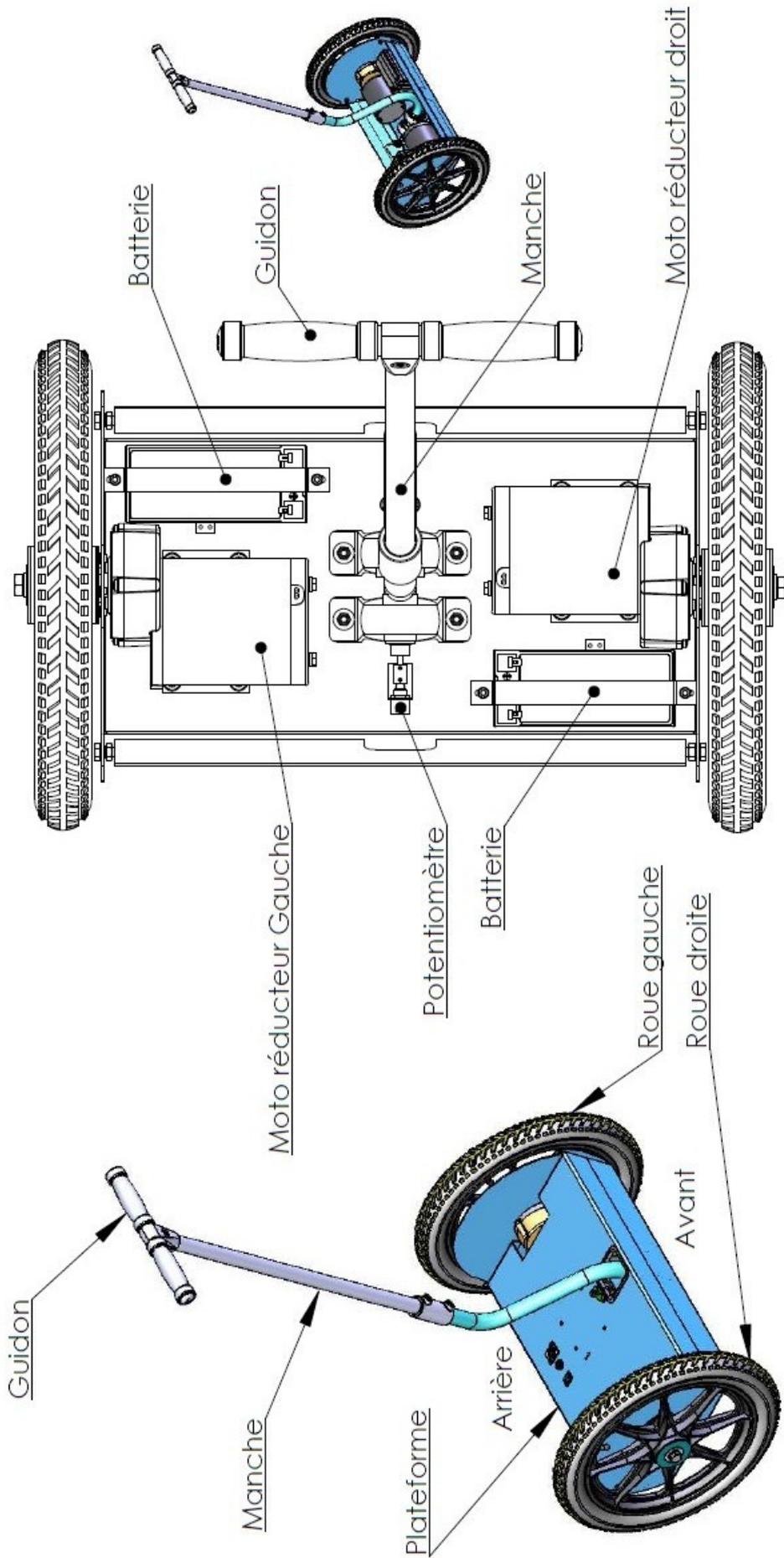
## A - DESCRIPTION STRUCTURELLE

L'ElektorWheelie se compose :

- d'un **chariot** (châssis + 2 roues uniquement), transportant le conducteur ;
- de deux **motoréducteurs** entraînant les roues (un par roue) ;
- d'un ensemble constitué d'un **gyromètre** (délivrant une information sur la vitesse d'angle de chute) et d'un **accéléromètre** (délivrant une information sur l'angle d'inclinaison du châssis par rapport à la verticale) ;
- d'un **potentiomètre** lié au manche délivrant une information sur l'inclinaison de ce manche par rapport à la verticale (virage) ;
- d'un **calculateur** (constitué de deux microcontrôleurs ATMEL) élaborant, à partir des informations issues des capteurs, les consignes de commande des groupes motoréducteurs ;
- de deux **batteries** fournissant l'énergie aux divers composants.



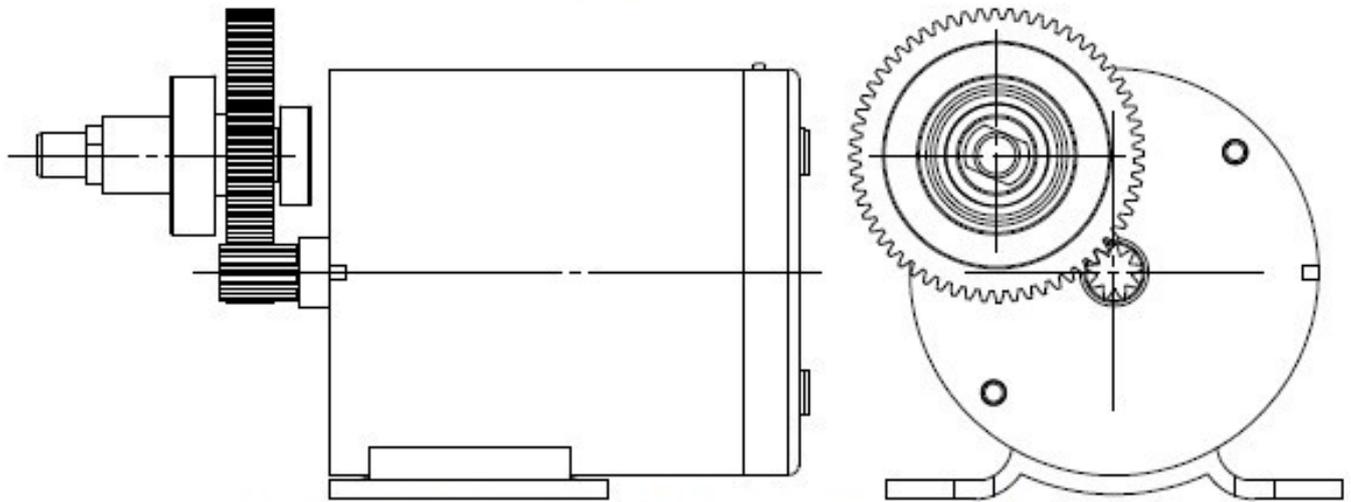
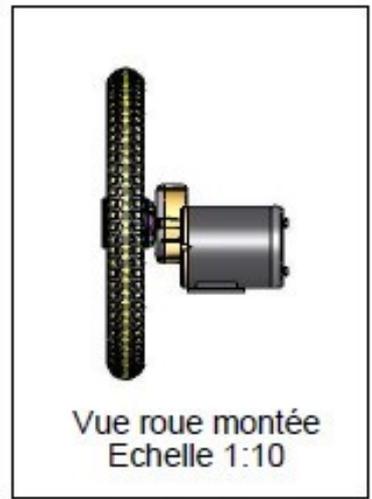
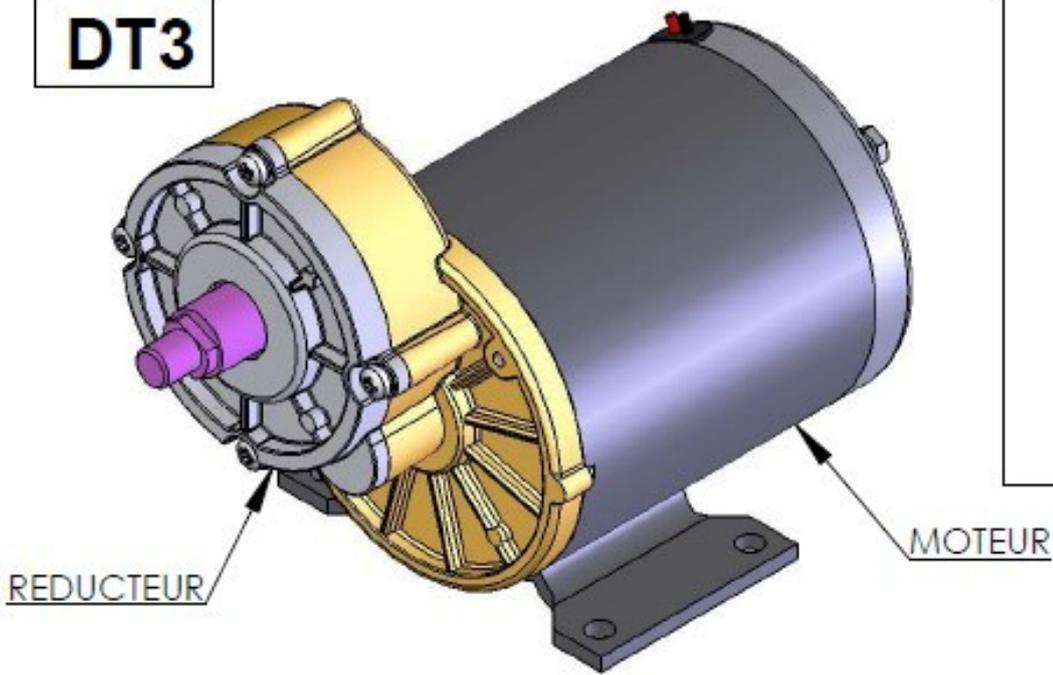
DT2



Vue de dessus de l'ElektorWheeler  
(sans le couvercle supérieure)

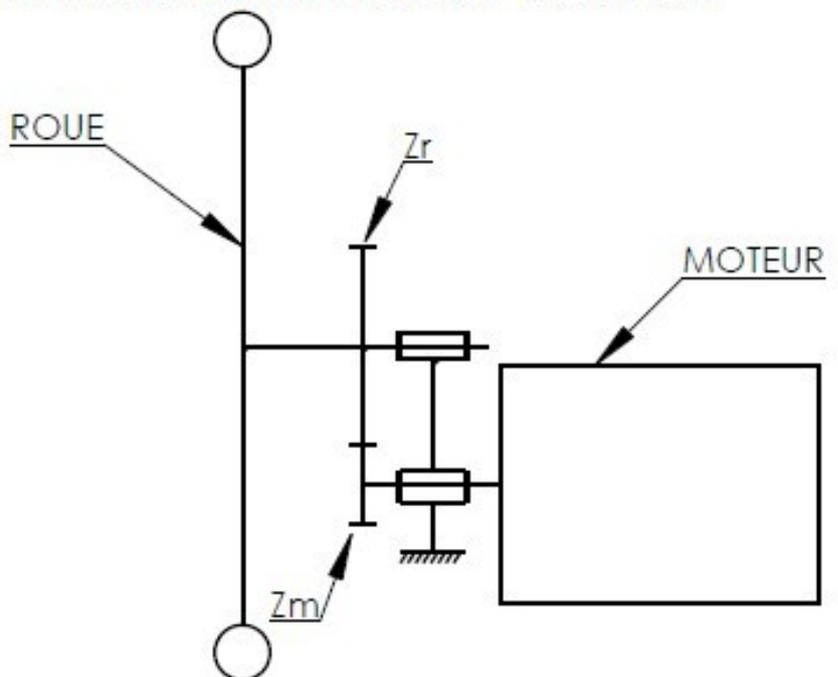
Echelle 1 : 5

**DT3**



VUES DU MOTO REDUCTEUR SANS SES CARTERS - Echelle 1 : 2

**Caractéristiques :**  
Moteur MY1020-500W-24V :  
Puissance nominale 500 W  
Tension nominale: 24 V  
Intensité nominale: 25,5 A  
  
Réducteur :  
 $Z_m = 9$  dents  
 $Z_r = 60$  dents



## B - EXTRAIT DU CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL

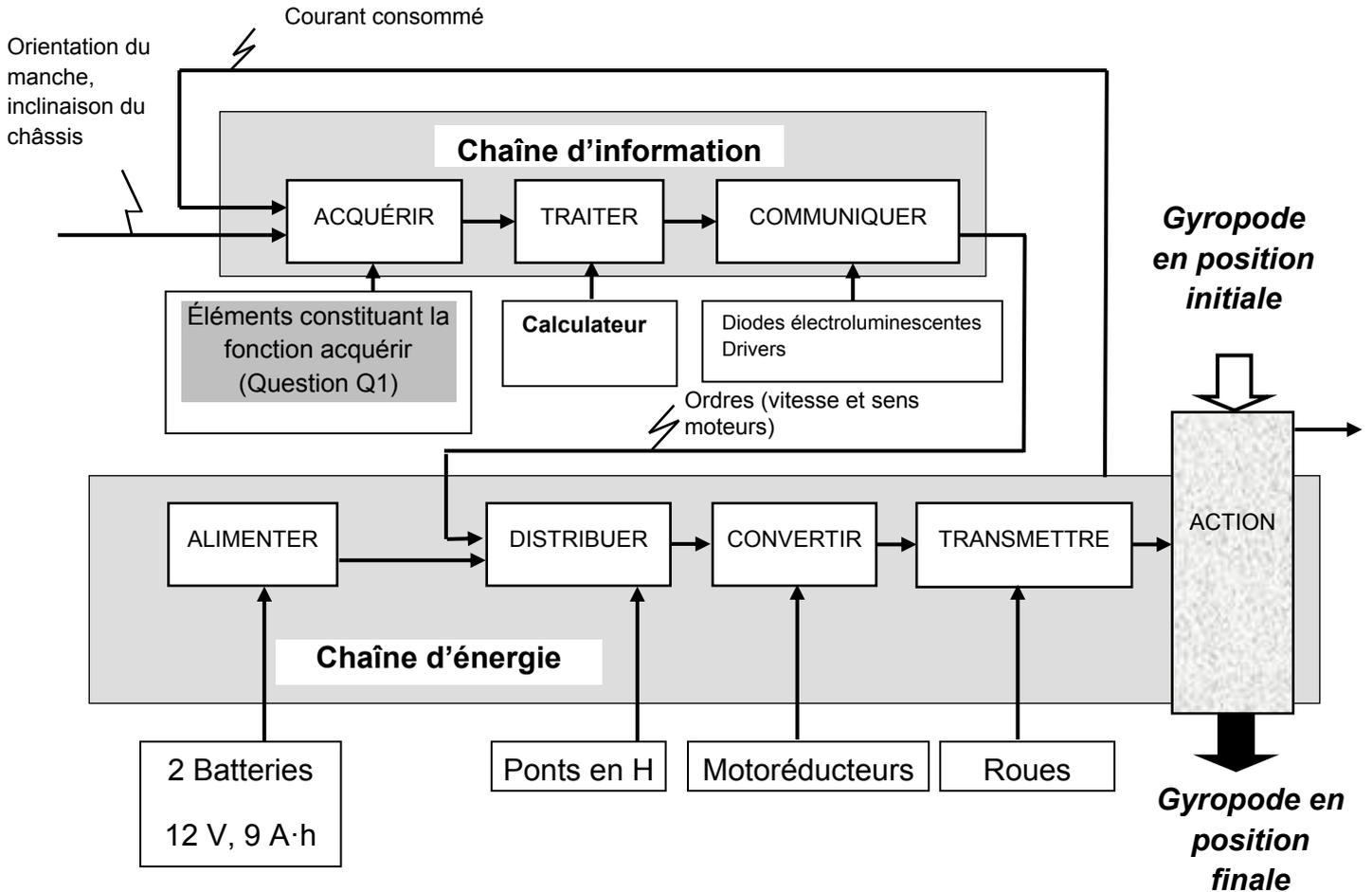
Fonction de service	Critères d'appréciation et niveaux	
FP1 : Transporter le conducteur	Vitesse : 0 à 18 km·h <sup>-1</sup>	
	Distance d'arrêt maximale : 3 m à 18 km·h <sup>-1</sup>	
	Manipulation intuitive : Commande naturelle pour les reflexes humains.	
FC1 : Donner au conducteur une sensation de stabilité	Temps de réponse de 0 à 5 km·h <sup>-1</sup> : 1 seconde maximum	
	Dépassement d'inclinaison : 10% à vitesse maximale	
FC2 : Rester insensible aux perturbations provenant de la route	Hauteur de la marche de trottoir franchissable à 5 km·h <sup>-1</sup> : 5 cm maximum	
FC3 : Rester manœuvrable dans la circulation	Dérapage : aucun	
	Basculement : aucun	
	Vitesse	Rayon de virage minimal admissible
	5 km·h <sup>-1</sup>	0,8 m
	10 km·h <sup>-1</sup>	3 m
	18 km·h <sup>-1</sup>	9 m

**Caractéristiques techniques :**

- 2 motoréducteurs à courant continu d'une puissance unitaire de 500 W
- 2 batteries au plomb de 12 V et d'une capacité de 9 A·h
- 2 roues de 14 pouces à pneu gonflé
- 1 commande pour chaque moteur en MLI avec pont en H jusqu'à 25 A
- 1 indicateur d'état de charge des batteries
- 2 microcontrôleurs ATMEL
- Capteurs :
  - 1 gyromètre Invensense
  - 1 accéléromètre Analog Device
  - 1 sonde de courant Allegro
  - 1 potentiomètre de recopie
- Vitesse maximum : 18 km·h<sup>-1</sup>
- Rayon d'action d'environ 8 km
- Poids : 35 kg

## C- Schéma bloc du Gyropode ElektorWheelie

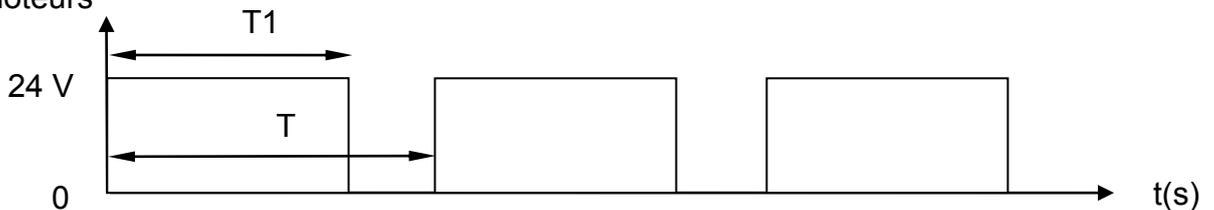
DT5



## D - Commande des moteurs par Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI)

Chaque moteur est alimenté à l'aide d'une tension de 24 V modulée selon le schéma ci-dessous :

Tension d'alimentation d'un des moteurs



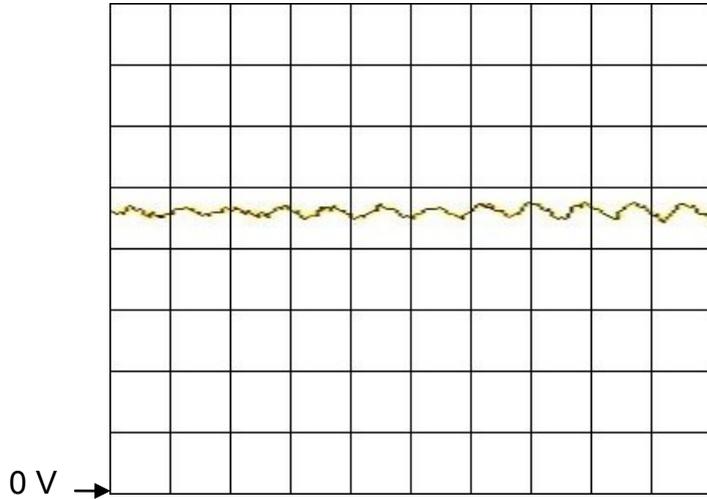
Le microcontrôleur calcule les valeurs des variables CG et CD permettant de modifier la valeur moyenne de la tension respectivement aux bornes du moteur gauche et du moteur droit et donc leur vitesse.

Ces deux variables sont codées sur 8 bits (en binaire naturel) et correspondent à la proportion de la durée T1 par rapport à la période T.

Exemples : - lorsque CG = 0, T1 = 0 et  $U_{\text{moteur Gauche moyen}} = 0 \text{ V}$  ;

- lorsque CG = 255, T1 = T et  $U_{\text{moteur Gauche moyen}} = 24 \text{ V}$ .

### E - Courant délivré par l'alimentation du gyropode à 18 km·h<sup>-1</sup>



Mesure réalisée avec une sonde de courant de sensibilité 100 mV/A avec un oscilloscope réglé sur un calibre de 200 mV/carreau

Echelle temporelle :  
20 ms/carreau

### F - Caractéristiques des batteries

Batteries au plomb gélifiées de tension nominale 12 V, 6 V et 4 V et de capacité 9A·h.

Tension aux bornes d'une batterie en fonction du temps d'utilisation et du courant consommé :

