

# VELO A ASSISTANCE AU PEDALAGE

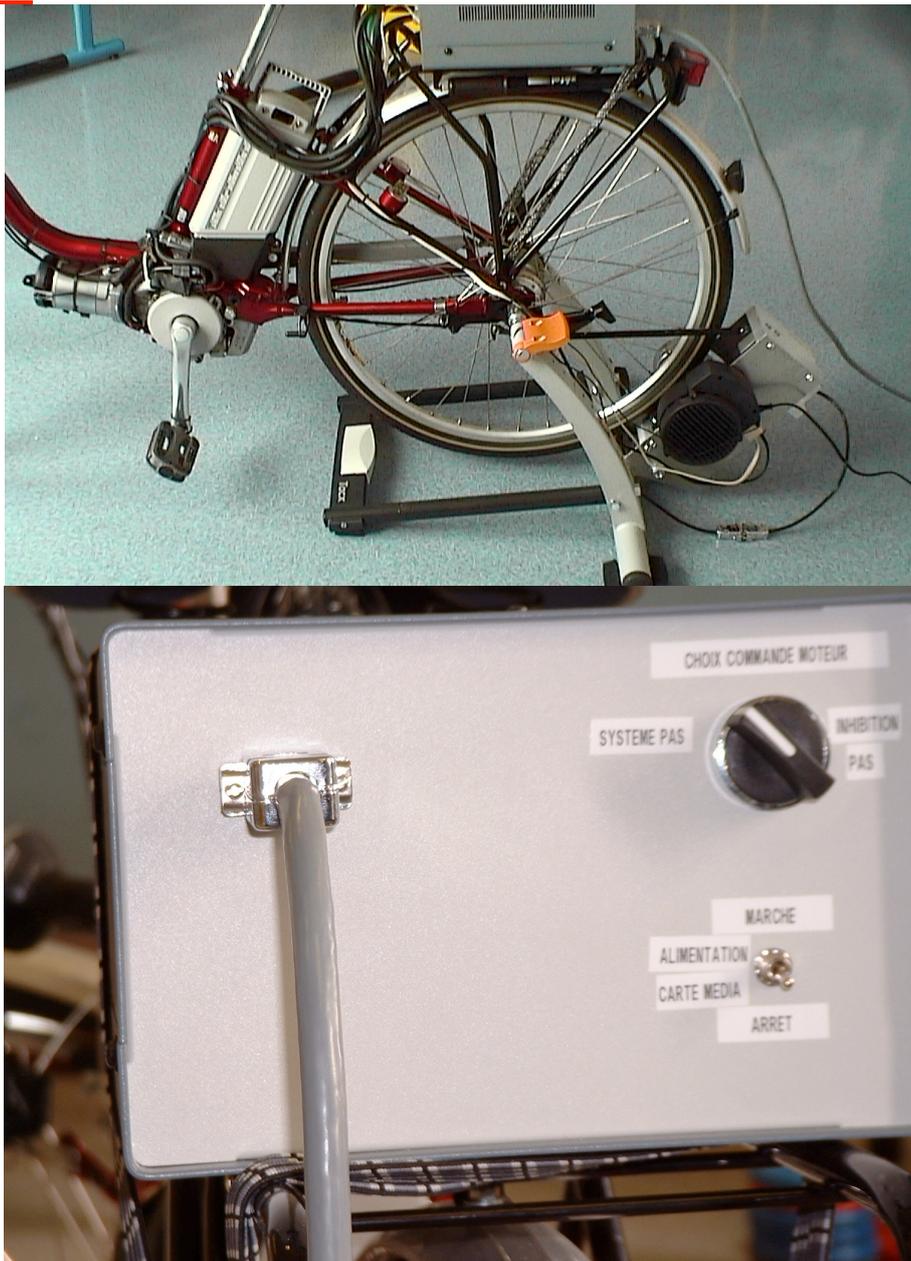
## ELEMENTS DE CORRECTION

### PREMIERE PARTIE

#### Activité 1

- Situer le trainer sur le système « Vélo électrique MEDIA » et exprimer sa (ou ses) fonction(s).
- Situer le système d'assistance électrique PAS sur le système « Vélo électrique MEDIA ».

#### Réponse 1 :

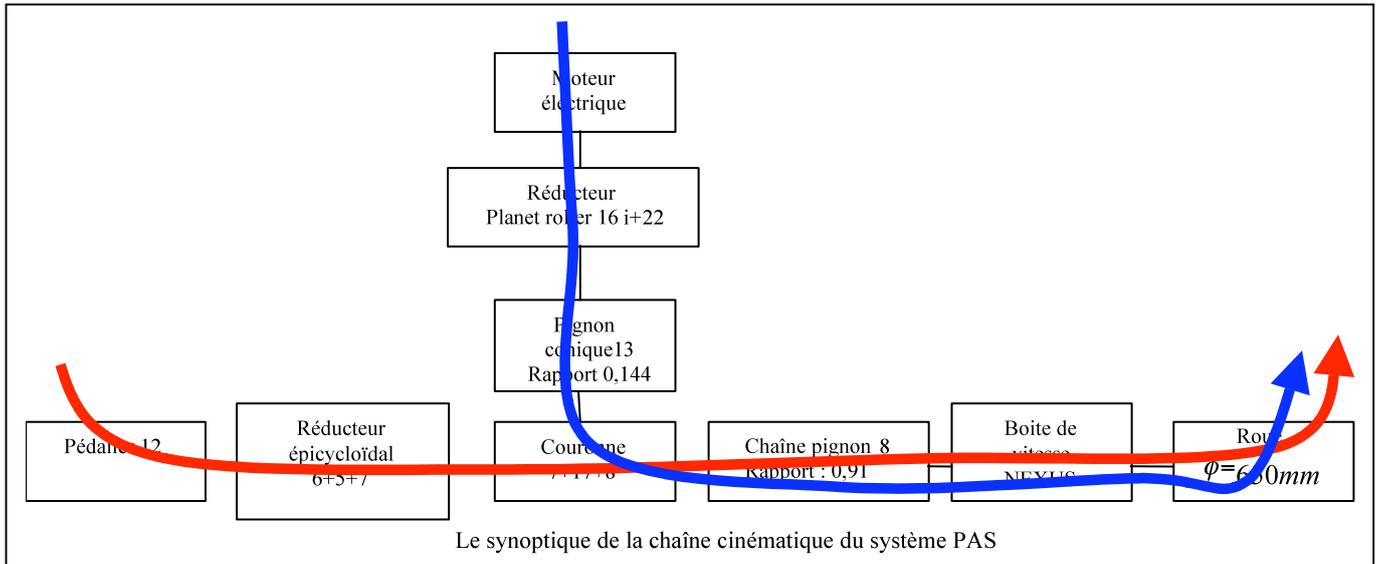


**Fonctions du trainer :**  
**Simuler un effort résistant pour simuler les pentes.**

### Activité 2

- En utilisant les outils de communication technique de votre choix, montrer les flux de puissance qui circulent dans le vélo Yamaha PAS lors de son fonctionnement en mode normal (sélecteur PAS sur On).

#### Réponse 2 :

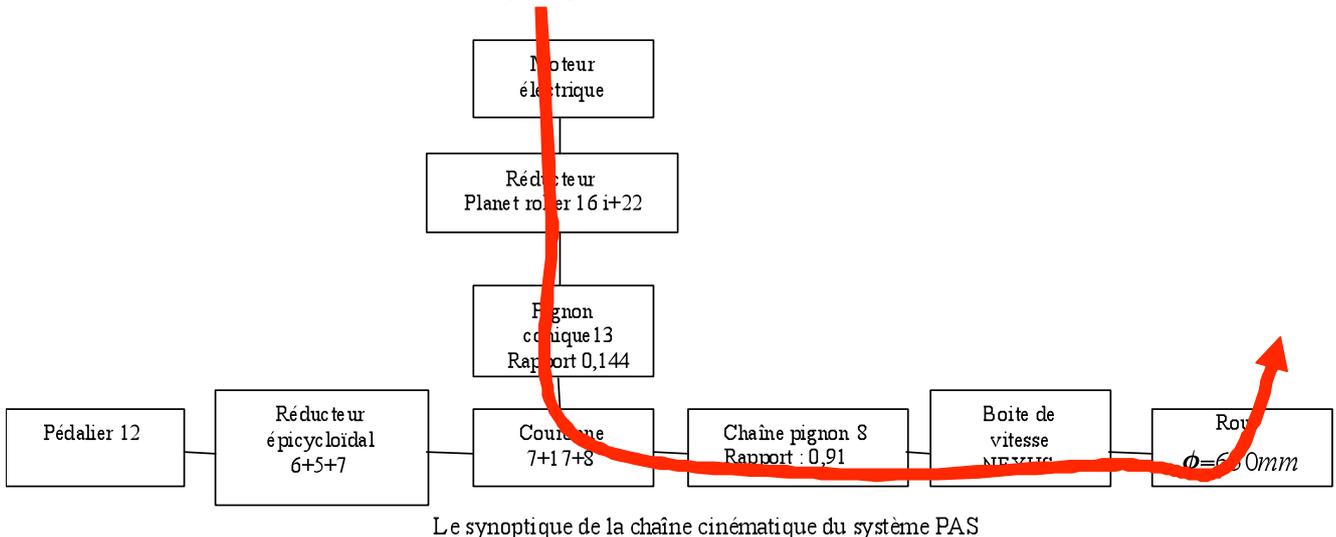


Les flux de puissance sont représentés ici par les courbes fléchées

La couronne est une pièce maîtresse des deux chaînes d'énergie, elle somme les deux puissances.

### Activité 3

- Quelle chaîne cinématique permet de vérifier cette fonction contrainte ?



### Activité 4

- Sachant que le moteur à courant continu du système PAS tourne au maximum à trois mille tours par minute, déterminer le rapport minimum entre la fréquence de rotation du rotor du moteur et celle de la roue arrière du vélo qu'il faudrait avoir pour respecter la fonction FC4.

#### Réponse 4 :

En faisant l'hypothèse de roulement sans glissement entre la roue et le sol, on obtient la relation suivante :  $V_V = R\omega_R$

$$V_V = R\omega_R$$

$$\text{D'où : } \frac{24.1000}{3600} = \frac{0,65}{2} \omega_R \quad \text{et}$$

$$\omega_R = 20,51 \text{ rad.s}^{-1}$$

$$\omega_M = \frac{3000.2.\pi}{60} = 314 \text{ rad.s}^{-1}$$

$$\frac{\omega_M}{\omega_R} = 15,3$$

**Le rapport minimum que l'on doit obtenir pour respecter la fonction FC4 est donc de**

$\frac{\omega_M}{\omega_R} = 15,3$
------------------------------------

### Activité 5

Appliquer la procédure « Mode SIMULATION – INHIBITION PAS » décrite dans le dossier ressources (DRES Annexe 2) avec les conditions suivantes :

- sélectionner la quatrième vitesse du dérailleur
- générer, à l'aide du logiciel DIGIVIEW, un signal carré sur la voie 5 d'amplitude 2,5 Volts, d'offset 2,5 Volt et de fréquence 0,05 Hz avec une phase de 45°.

Déduire des mesures effectuées le rapport entre la vitesse de rotation du rotor du moteur et celle de la roue arrière du vélo.

Conclure sur la validation de la fonction FC4

### Réponse 5 :

Par analyse des rapports, la fonction FC4 est respectée.

### Activité 6

- Quelle doit-être la valeur  $r_{att}$  du rapport de réduction du réducteur épicycloïdal pour que l'utilisateur retrouve les mêmes sensations de pédalage qu'avec un vélo classique ?

### Réponse 6 :

Le plateau 8 du système PAS possède 24 dents d'où  $r_{att}=36/24=1,5$   
 Pour garder le rapport habituel, il est possible que ce rapport soit de  $r_{att}=1,5$ .

### Activité 7

Appliquer la procédure « Mode PEDALAGE – SYSTEME PAS – avec acquisition » décrite dans le dossier ressources (DRES Annexe 2) avec les conditions suivantes :

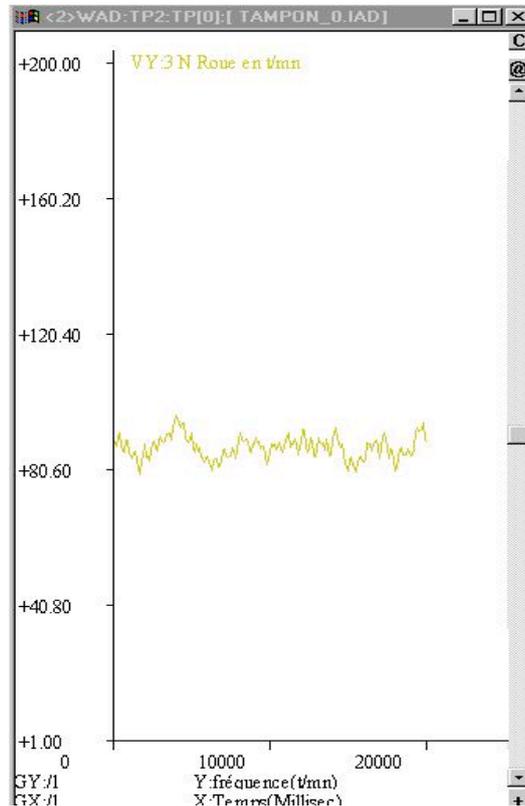
- sélectionner la première vitesse du dérailleur (rapport de transmission = 1)
- procéder à une séquence de pédalage à environ 60 tr.min<sup>-1</sup> (à lire sur l'ordinateur de bord du trainer)
- lire la vitesse de la roue arrière dans la fenêtre 4 du projet « velo » ( VY3 Nroue)

A partir des mesures effectuées précédemment (activité 4), compléter le tableau ci-dessous :

Comparer  $r_{mes}$  et  $r_{att}$ . Conclure et justifier le choix du constructeur d'installer un plateau de 24 dents.

**Réponse 7 :**

fréquence de pédalage $\omega_{12/0}$	fréquence de rotation de la roue $\omega_{roue/0}$	réduction chaîne-pignon-roue 1 <sup>ère</sup> vitesse : $KT_1 = \frac{\omega_{8/0}}{\omega_{roue/0}}$	fréquence de rotation pignon 8 $\omega_{8/0}$	$r_{mes} = \frac{\omega_{8/0}}{\omega_{12/0}}$
60 tr.mn <sup>-1</sup>	<b>Proche de 87 tr.min<sup>-1</sup></b>	<b>0,91</b>	<b>60/0,91=66</b>	<b>1,35</b>



La valeur mesurée est proche de celle attendue. Donc, dans les conditions de l'expérimentation, on peut dire que le cycliste ressentira les mêmes sensations que sur un vélo classique.

Le constructeur a sans doute choisi d'installer un plateau de 24 dents pour des raisons d'encombrement.

**Activité 8 :**

A l'aide du dossier technique « DT Vélo Yamaha » et de la mallette « Système PAS » fournie,

- Compléter, sur le document réponse fourni, le schéma cinématique plan du système PAS.
- Déterminer le rapport  $\frac{\omega_{7/0}}{\omega_{12/0}}$ . En déduire  $r_{cal} = \frac{\omega_{8/0}}{\omega_{12/0}}$ . Comparer  $r_{mes}$  et  $r_{cal}$ .

Conclure.

**Réponse 8 :**

A partir du rapport du train épicycloïdal et de la relation :  $\frac{\omega_{7/0} - \omega_{12/0}}{\omega_{6/0} - \omega_{12/0}} = -\frac{Z_6}{Z_7}$  on tire:

$$\frac{\omega_{7/0}}{\omega_{12/0}} = 1 + \frac{Z_6}{Z_7}$$

$$\frac{\omega_{7/0}}{\omega_{12/0}} = 1 + \frac{33}{69} = 1,478$$

$$r_{\text{cal}} = \frac{\omega_{7/0}}{\omega_{12/0}} = 1,48$$

**On trouve théoriquement un rapport de 1,48.**

**La différence entre  $r_{\text{mes}}$  et  $r_{\text{cal}}$  résulte sans doute de l'étalonnage des capteurs. L'hypothèse émise à l'activité 6 est vraie.**

**Par conséquent, le cycliste ressentira les mêmes sensations que sur un vélo classique.**

**Le choix du constructeur est probablement basé sur l'encombrement du pédalier.**

**FIN DE LA PREMIERE PARTIE**

# DEUXIEME PARTIE

## Activité 9 : Déterminer les expressions de :

- $P_{\text{élec}}$  puissance absorbée par le moteur en fonction de  $U_{\text{moteur}}$  et  $I_{\text{moteur}}$
- $P_{\text{cycliste}}$  puissance fournie par le cycliste en fonction de  $C_p$  et  $\Omega_p$

### Réponse 9 :

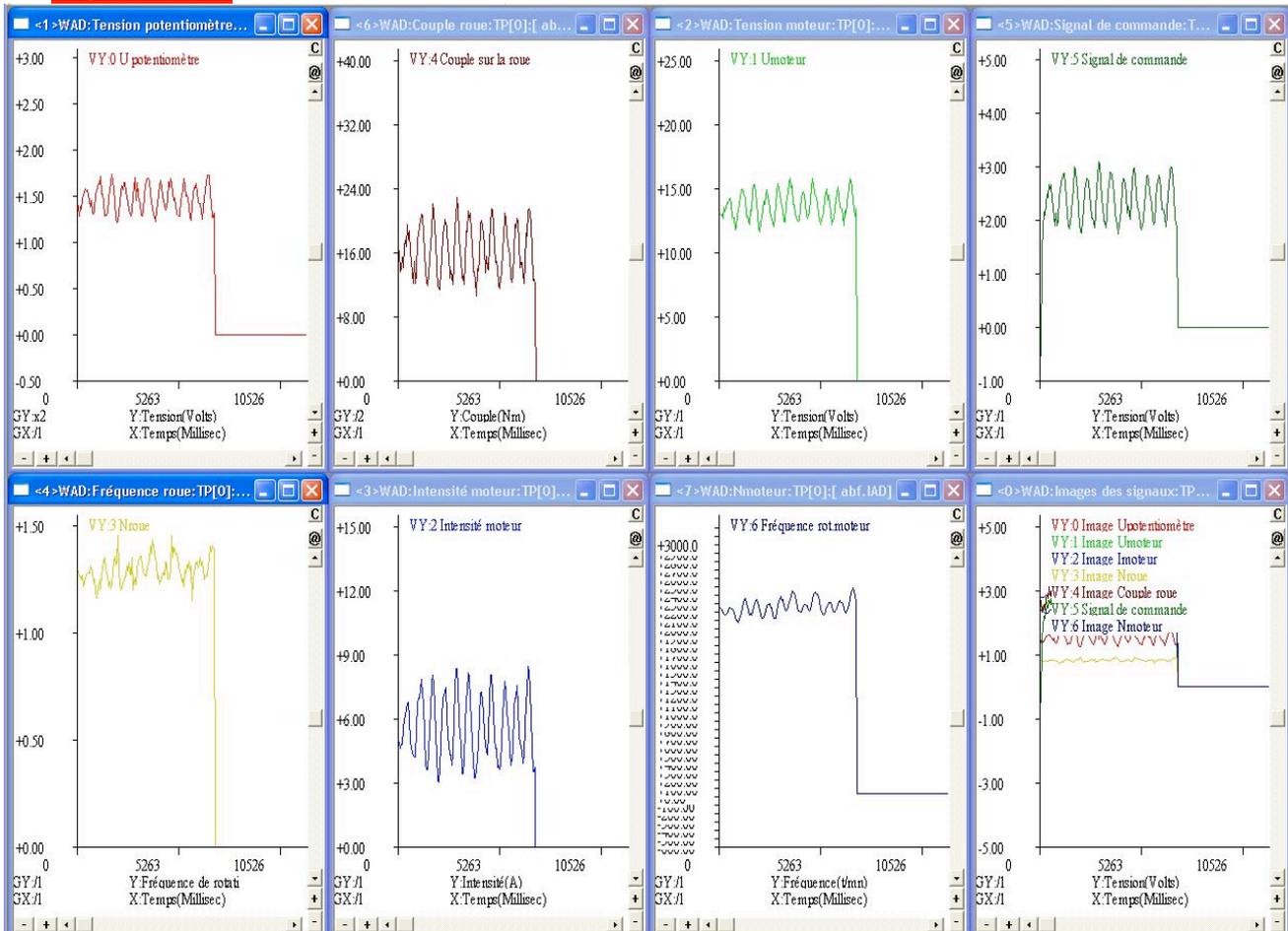
Dans le cas d'une tension et d'un courant continu (ou en valeur moyenne sur une période) la puissance électrique absorbée par la machine à courant continu peut s'exprimer sous la forme  $P_{\text{élec}}=U I$ .

La puissance fournie par le cycliste est celle au niveau du pédalier, elle peut donc s'exprimer par  $P_{\text{cycliste}}=C_p \Omega_p$ .

## Activité 10

Réaliser l'essai à la fréquence de pédalage de  $40 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  dans les configurations suivantes :

### Réponse 10 :



## Activité 11

Déterminer l'ensemble des caractéristiques électriques de la résistance permettant la mesure du courant. Calculer notamment la puissance dissipée par celle-ci.

Donner les avantages et les inconvénients de cette méthode.

**Réponse 11 :**

Les caractéristiques des résistances sont tout d'abord, la valeur ohmique de la résistance, la puissance maximale dissipée par celle-ci, et sa tolérance.

Valeur ohmique :

On souhaite avoir 5 V lorsque le courant est nominal. Or la puissance du moteur est de 240W pour une tension de 24V, donc le courant  $I$  vaut 10A.

La résistance ohmique aura donc pour valeur  $R=5/10=0,5\Omega$ .

La puissance dissipée par cette résistance est de  $0,5 \cdot 10^2 = 50W$ . Cette puissance est très importante devant celle mise en jeu sur le vélo ( $P_{\text{actionneur}} = 240W$ ).

Pour obtenir une image fiable du courant absorbé, il sera très certainement nécessaire de prendre une résistance de tolérance de l'ordre de 1%.

Avantages : Mise en place aisée. Linéarité de la mesure.

Inconvénients : Nécessité d'une mesure différentielle aux bornes de la résistance. Pertes de puissance trop importante. Modification du fonctionnement de la machine à courant continu, en terme de vitesse de rotation et de puissance absorbée.

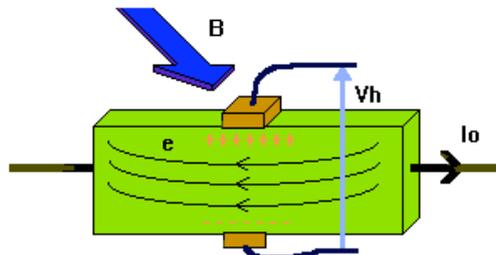
**Activité 12**

Rappeler le principe de fonctionnement d'une sonde à effet Hall.

Justifier l'utilisation de ce capteur pour mesurer le courant électrique consommé par le moteur, en précisant les avantages et les inconvénients de cette méthode.

**Réponse 12 :**

Un capteur à effet hall donne un signal lorsqu' il détecte un champ magnétique ou une pièce métallique. La tension de Hall (du nom de celui qui remarqua le phénomène en 1879) est amplifiée dans le capteur.



Si un courant  $I_0$  (parfaitement connu) traverse un barreau en matériau conducteur ou semi-conducteur, et si un champ magnétique d'induction  $B$  (créé par le courant  $i(t)$  à mesurer circulant dans un fil) est appliqué perpendiculairement au sens de passage du courant, une tension  $V_h$ , proportionnelle au champ magnétique  $B$  et au courant  $I_0$ , apparaît sur les faces latérales du barreau.

Les électrons sont déviés par le champ magnétique, créant une différence de potentiel appelée tension de Hall. Le champ magnétique  $B$  déforme la trajectoire des électrons car il engendre une force de LORENTZ .

$V_h = K_h \cdot B \cdot I_0$  avec  $K_h$ : constante de Hall.

La Constante de HALL étant inversement proportionnelle à la densité des porteurs, la tension de HALL est beaucoup plus importante dans les semi-conducteurs que dans les métaux.

**Activité 13**

Relever à partir du logiciel DIGIVIEW, les valeurs de la tension  $U_{\text{moteur}}$  aux bornes du moteur et le courant  $I_{\text{moteur}}$  absorbé par le moteur.

À partir des résultats de l'expérimentation, calculer la puissance électrique  $P_{\text{elec}}$  absorbée par le moteur.

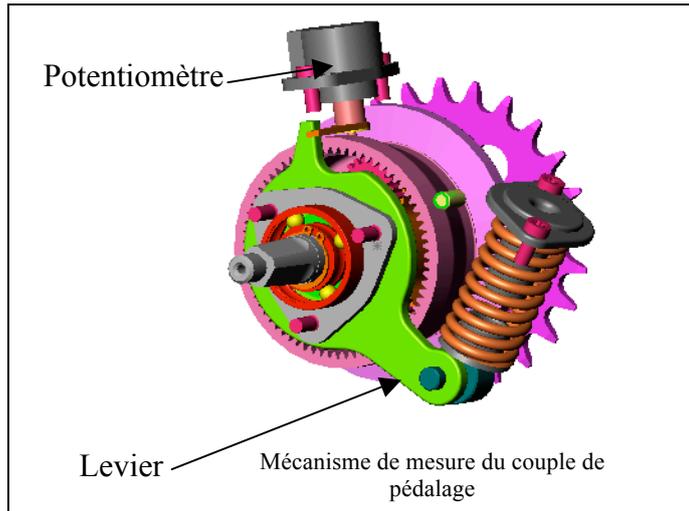
**Réponse 13 :**

A partir des relevés expérimentaux on trouve :  $U_{\text{moteur}} = 14V$  et  $I_{\text{moteur}} = 6A$   
La puissance absorbée par le moteur à courant continu est  $P_{\text{élec}} = U_{\text{moteur}} \cdot I_{\text{moteur}} = 84W$ .

**Activité 14**

Situer sur le système, le potentiomètre permettant de mesurer le couple de pédalage.  
Relever à partir du logiciel DIGIVIEW, la valeur de la tension aux bornes du potentiomètre.  
À partir des résultats de l'expérimentation, calculer la puissance mécanique  $P_{\text{cycliste}}$  fournie par le cycliste.

**Réponse 14 :**



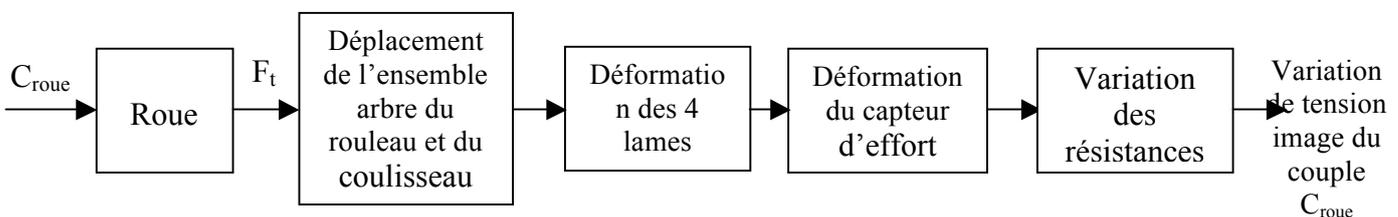
A partir des résultats expérimentaux on trouve  $U_{\text{pot}} = 1,5V$ .  
Le couple de pédalage  $C_p$  est donné par la relation  $C_p = 27,2 \cdot U_{\text{pot}} - 26,13$ . Donc  $C_p = 24,67N.m$ .  
L'essai a été réalisé en maintenant une fréquence de pédalage de  $40 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ .  
La puissance fournie par le cycliste est donc  $P_{\text{cycliste}} = C_p \cdot \Omega_p = 55W$ .

**Activité 15**

Rappeler le principe de fonctionnement des jauges de déformation qui permettent de mesurer un effort.  
Expliquer en utilisant une description sous forme de blocs fonctionnels, le principe de mesure de l'effort tangentiel  $F_t$  installé sur le Vélo instrumenté dont vous disposez.  
Justifier que seul l'effort tangentiel  $F_t$  est l'image du couple de la roue.

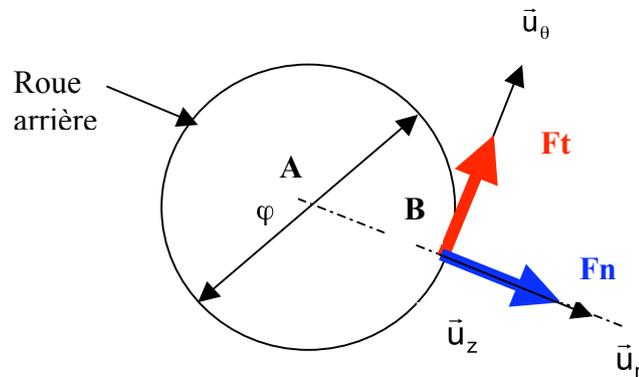
**Réponse 15 :**

Une jauge de déformation est un montage en pont de 4 résistances. Une ou deux de ces résistances sont sensibles à l'effort à mesurer, tandis que les deux autres sont insensibles. On peut démontrer que la tension générée par ce montage en pont est proportionnelle (par un développement limité au premier ordre) à l'effort.



L'effort tangentiel Ft image du couple au niveau de la roue est appliquée au rouleau du trainer. Cet effort provoque un léger déplacement du coulisseau car les 4 lames souples permettent un léger déplacement.

La translation du coulisseau vient déformer le capteur d'effort, et ainsi provoquer une variation des 2 résistances du pont. Ceci provoque ainsi une variation de tension image de l'effort tangentiel Ft.



$$\vec{M}(A, \text{roue} \rightarrow \text{rouleau}) = \vec{M}(B, \text{roue} \rightarrow \text{rouleau}) + \vec{AB} \wedge \vec{F}_{\text{roue} \rightarrow \text{rouleau}}$$

$$\vec{M}(A, \text{roue} \rightarrow \text{rouleau}) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ C_{\text{roue}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varphi/2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} F_n \\ F_t \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \varphi/2 \cdot F_t \end{pmatrix}$$

(composantes exprimées sur la base  $(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)$ )

Le couple au niveau de la roue n'est donc provoqué que par l'effort tangentiel Ft.

### Activité 16

Relever à partir du logiciel DIGIVIEW, la valeur de l'effort tangentiel au niveau de la roue et la vitesse de rotation de la roue.

À partir des résultats de l'expérimentation, calculer la puissance mécanique  $P_{\text{roue}}$  permettant de propulser le vélo et le cycliste.

#### Réponse 16 :

La valeur de l'effort tangentiel mesuré à partir de l'expérimentation est  $F_t = 54\text{N}$ .

La puissance mécanique au niveau de la roue Proue a pour expression  $P_{\text{roue}} = C_{\text{roue}} \cdot \Omega_{\text{roue}}$ . La vitesse angulaire est calculée à partir de  $N_{\text{roue}}$ , et vaut  $\Omega_{\text{roue}} = 7,85 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ .

La puissance au niveau de la roue vaut donc :  $P_{\text{roue}} = 141,5\text{W}$ .

### Activité 17

Analyser vos résultats par rapport à la figure donnant la répartition des puissances fournie par le constructeur.

Quantifier l'écart et discuter les variations notamment vis-à-vis des hypothèses formulées.

### Réponse 17 :

D'après la figure expliquant le principe de fonctionnement du vélo à assistance au pédalage, il apparaît que la puissance au niveau de la roue est proche de la somme de la puissance fournie par le cycliste et la puissance absorbée par le moteur à courant continu (aux rendements près).

En analysant plus précisément ces résultats, la puissance fournie par le cycliste représente 39% de la puissance au niveau de la roue, et la puissance fournie par la machine à courant continu représente 61% de la puissance au niveau de la roue.

D'après la documentation constructeur, la puissance fournie par l'assistance devrait être égale à 44% de la puissance à la roue. Il semble donc, que pour cet essai, le constructeur a légèrement surévalué les performances de l'assistance.

Les écarts sont très probablement dus au fait que les rendements de la machine à courant continu et de la chaîne cinématique entre la couronne 7 et la roue ne sont pas égaux à 1.

Il serait possible de déterminer le rendement de la machine à courant continu, en estimant la puissance mécanique fournie par la machine à courant continu. Celle-ci serait évaluée en calculant  $P_{\text{mécaMCC}} = C \cdot \Omega_{\text{moteur}}$  avec  $C = K \cdot I_{\text{moteur}}$  (en estimant que les pertes au rotor de la MCC soient nulles).

### Activité 18

Commenter ce graphe en le comparant aux données constructeur. Les performances de l'assistance annoncées par le constructeur sont-elles validées ?

### Réponse 18 :

L'allure du graphe expérimental est similaire à celui fourni par le constructeur.

Cependant, lorsque la vitesse du cycliste dépasse les 24 km.h<sup>-1</sup>, les proportions de l'assistance ne sont plus respectées. Sur le système industrialisé, au-delà de 24 km.h<sup>-1</sup>, l'assistance est nulle, comme l'impose la législation.

Cette différence est due au fait que la répartition de l'assistance est calculée à partir de la puissance électrique absorbée par la machine à courant continu (au lieu de la puissance mécanique fournie par celle-ci), et aux rendements supposés égaux à 1.

### Activité 19

Calculer la fréquence de pédalage permettant de dépasser une vitesse de déplacement du vélo de 24 km.h<sup>-1</sup>.

Procéder à une séquence de pédalage en dépassant 24 km.h<sup>-1</sup> en 4<sup>ème</sup> vitesse conformément à la procédure d'essai décrite ci-contre et ci-dessous.

Régler les autres paramètres sur l'ordinateur de bord qui permettent d'atteindre l'objectif.

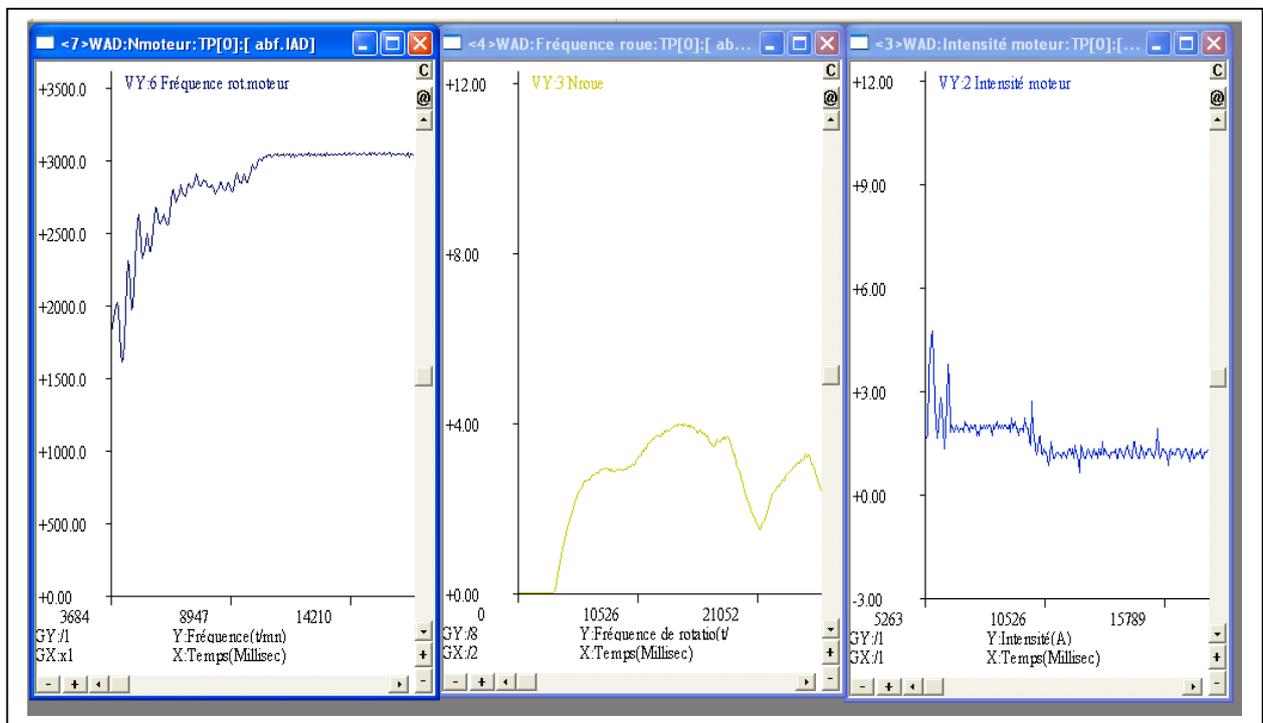
### Réponse 19 :

Vitesse du cycliste > 24 km.h<sup>-1</sup>, donc  $V > 6,67 \text{ m.s}^{-1}$ .

Par conséquent la vitesse angulaire de la roue doit être supérieure à 20,5 rad.s<sup>-1</sup> (=3,26 tr.s<sup>-1</sup> = 195,9 tr.min<sup>-1</sup>).

Le rapport de réduction entre la fréquence de pédalage et la vitesse de la roue en 4<sup>ème</sup> vitesse est de 0,54\*0,91, donc la fréquence de pédalage doit être supérieure à 96 tr.min<sup>-1</sup>.

Les résultats expérimentaux dans ces conditions sont donnés ci-dessous.



## Activité 20

Analyser la courbe du courant absorbé par le moteur, et déterminer l'instant où l'assistance devient inopérante.

Analyser la courbe de la fréquence de rotation de la roue, et vérifier que la législation est bien respectée.

### Réponse 20:

En analysant la courbe d'intensité du courant absorbé par la machine à courant continu, on observe que celui-ci chute de 2A à 1A pour  $T_d=11000$  ms.

A l'instant  $T_d$ , la vitesse de rotation de la roue est proche de 3,3 tours par seconde.

D'après les activités 3, 4 et 5, la vitesse du cycliste est donc proche de  $24 \text{ km.h}^{-1}$ .

La législation est donc bien respectée.

## Activité 21

Analyser la courbe de la fréquence de rotation du moteur et proposer une solution technologique permettant de justifier la déformation de la courbe au moment de la perte de l'assistance.

A l'aide de la mallette et du modèle numérique, détailler la solution technologique adoptée par le constructeur.

Analyser la courbe du courant absorbé par le moteur lorsque le cycliste pédale sans assistance.

Déterminer le mode de fonctionnement de la machine à courant continu lorsque l'assistance est inopérante.

### Réponse 21:

En analysant la courbe de la vitesse de rotation du rotor du moteur, il apparaît que celle-ci reste constante au voisinage de  $3000 \text{ tr.min}^{-1}$  lorsque la vitesse du cycliste dépasse les  $24 \text{ km.h}^{-1}$ .

La solution constructive permettant de respecter la législation est la présence de la roue libre en sortie du planet roller (réducteur à train épicycloïdal lié au moteur) et des bons rapports de réduction des chaînes d'énergie (entre le moteur et la roue, et entre le pédalier et la roue).

Le courant absorbé par la machine à courant continu n'est pas nul. Ceci signifie que le moteur reste alimenté sous 24V, et il absorbe par conséquent, une puissance égale à l'ensemble des pertes de la chaîne d'énergie (pertes de la machine à courant et pertes du planet roller).

Donc la machine à courant continu fonctionne en moteur mais à vide (elle n'aide plus le cycliste).

### Activité 22

Déterminer la structure de base du convertisseur statique permettant d'obtenir le fonctionnement analysé précédemment.

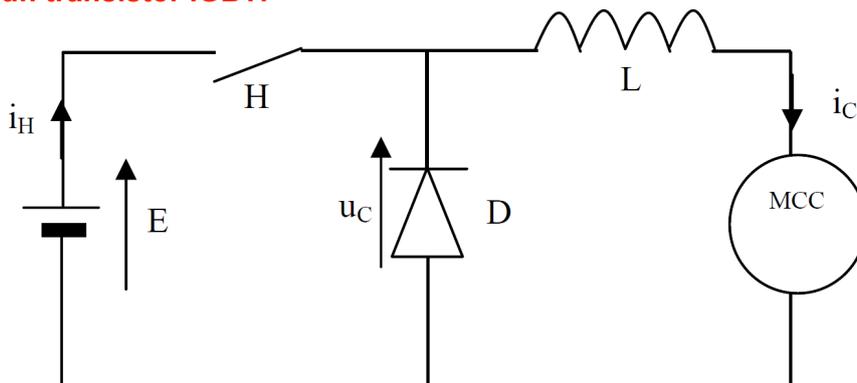
L'autonomie est-elle optimale avec les solutions technologiques retenues par le constructeur sur le vélo à assistance au pédalage dont vous disposez ?

#### Réponse 22:

Grace aux analyses faites précédemment, il apparaît que la machine à courant continu, ne fonctionne que dans un seul quadrant (U moteur toujours positif car vitesse toujours positive et  $I_{\text{moteur}}$  toujours positif car couple moteur toujours positif).

Il est donc nécessaire de placer un convertisseur statique non réversible en courant ni en tension. Il s'agit donc d'un hacheur série 1 quadrant.

Sa structure de base est donc celle proposée ci-dessous. L'interrupteur K peut être synthétisé par un transistor IGBT.



L'autonomie du vélo à assistance au pédalage n'est donc pas optimale.

### Activité 23

Proposer une première modification du système permettant d'optimiser la distance de déplacement du vélo à assistance au pédalage sans changer les solutions technologiques retenues.

Donner les avantages et les inconvénients de cette modification.

#### Réponse 23:

On conserve la roue libre. Sur le système industrialisé, il faudrait rajouter un capteur de vitesse de rotation du moteur. Celui-ci est présent sur le système instrumenté (réalisé par le capteur à fente). Il serait possible de couper l'alimentation du moteur à courant continu lorsque la vitesse du cycliste dépasse les 24 km.h<sup>-1</sup>. Ceci permettrait d'éviter que la machine à courant continu absorbe de la puissance même à vide.

**Avantage :** aucune perte de puissance lorsque la vitesse dépasse 24 km.h<sup>-1</sup>.

**Inconvénient :** lorsque la vitesse du cycliste repasse en dessous des 24 km.h<sup>-1</sup>, il peut y avoir des à-coups brutaux, ce qui doit être désagréable pour le cycliste.

## Activité 24

Proposer une seconde modification du système permettant d'optimiser la distance de déplacement du vélo à assistance au pédalage en changeant certaines des solutions technologiques retenues.

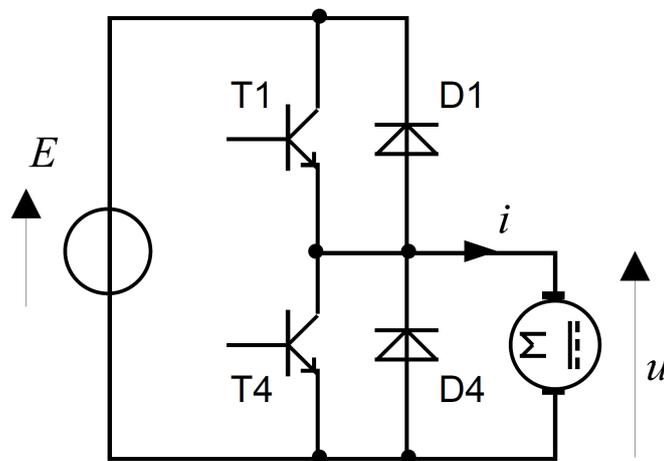
Préciser alors la structure de base du convertisseur statique à utiliser.

Quelles conséquences cela produirait-il au niveau des sensations du cycliste ?

### Réponse 24:

Il serait possible de supprimer la roue libre entre le moteur et le pignon 13. Par conséquent, lorsque la vitesse du cycliste dépasse les  $24 \text{ km.h}^{-1}$ , la machine à courant continu fonctionnerait en générateur (la vitesse de rotation de l'arbre du moteur est supérieure à celle imposée par la tension d'alimentation). Ceci permettrait de recharger la batterie. Il faudrait cependant placer un convertisseur statique réversible en courant (hacheur en pont ou réversible en courant) permettant de moduler la recharge de la batterie.

La structure d'un tel convertisseur statique est fournie ci-dessous.



Les interrupteurs statiques du hacheur installé sur le système pourraient être remplacés par des transistors MOS (bidirectionnel en courant). Cette solution aurait pour avantage de recharger la batterie, cependant, lorsque la vitesse du cycliste dépasse les  $24 \text{ km.h}^{-1}$ , la recharge de la batterie provoquera un « couple résistant » supplémentaire vis-à-vis du cycliste. Cette recharge se produirait lorsque le cycliste dépasse les  $24 \text{ km.h}^{-1}$ , en descente sans pédaler ou en pédalant sur le plat ou en montée.