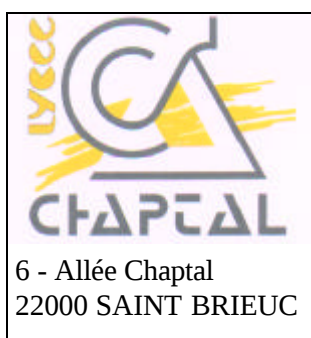


DOSSIER RESSOURCE

Vélo à assistance électrique

Axion - City



Aimé SCOLAN

Sommaire

PREMIERE PARTIE

Présentation

DEUXIEME PARTIE

Analyse du fonctionnement de l’Axion-City

21 Description

22 Etude des couples mis en jeu

23 Asservissement en vitesse et en couple du système (Etude statique)

ANNEXE

Documentation Yamaha (Système PAS)

VIDEO

Extrait d’une émission E=MC² de M6

Aimé SCOLAN

Agrégé de mécanique - Professeur en classe de BTSCPI

Lycée CHAPTAL - 22000 SAINT BRIEUC

Première partie

Présentation

Le vélo à assistance électrique de MBK

Historique :

- Premier modèle commercialisé en avril 1997 nommé : Ax-ion
- Inconvénient majeur : Prix public très élevé : 10780F TTC
- Profil assez éloigné du concept de “vélo”
- Le concept de la motorisation est validé et adopté pour les futurs modèles .
- Le démarrage du vélo électrique s'affirme

Publicité MBK :

MBK Ax-ion, le vélo contre la pesanteur !



Libérez-vous des lois de la pesanteur !

Conçu par MBK,

Ax-ion est le premier vélo à pédalage assisté proposé sur le marché. Grâce à son système électrique débrayable, Ax-ion utilise votre énergie pour fournir la sienne, et multiplie ainsi votre force.

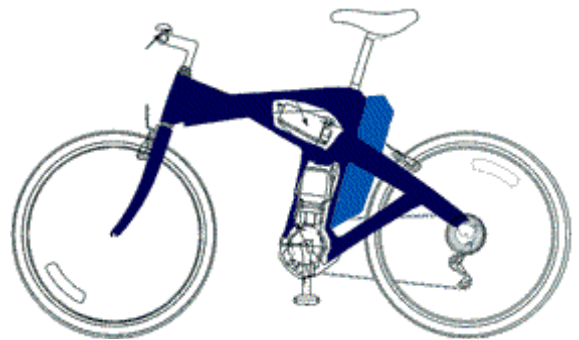
MBK Ax-ion, le vélo qui va plus loin.

Ax-ion **aplanit** les côtes, **neutralise** le vent contraire et **vous pousse** à aller beaucoup plus loin que vous ne pensiez.

Avec Ax-ion, tracez la voie **sans bruit, sans pollution, et presque sans effort.**

MBK Ax-ion, le vélo
qui pédale autant que vous.

Le système électrique de l'Ax-ion double la puissance de votre pédalage. Dès le démarrage, son énergie est disponible. A partir de **16 km/h**, le **cerveau de commande** diminue progressivement la puissance, pour se mettre en veille lorsque vous atteignez les **25 km/h**. Un simple interrupteur vous permet d'actionner ou non ce système, et d'utiliser Ax-ion comme un vélo normal, quand l'énergie d'appoint n'est pas nécessaire.



MBK Ax-ion, le **vélo des temps modernes.**

Ax-ion allie la technologie de pointe à l'esthétique la plus novatrice.

• Disponibilité :

Chez les concessionnaires MBK agréés Ax-ion

Evolution du modèle :

- Modèle Axion -City



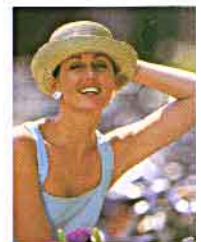
Le vélo

qui vous propulse au 21ème siècle



Le P.A.S. (Power Assist System), qui équipe Ax-ion City, est un système électrique débrayable, qui utilise votre énergie pour fournir la sienne, et double ainsi la puissance de votre pédalage.

Avec Ax-ion City, les côtes sont aplanies, les distances raccourcies, et vous arrivez à destination sans effort, sans tapage, sans pollution.



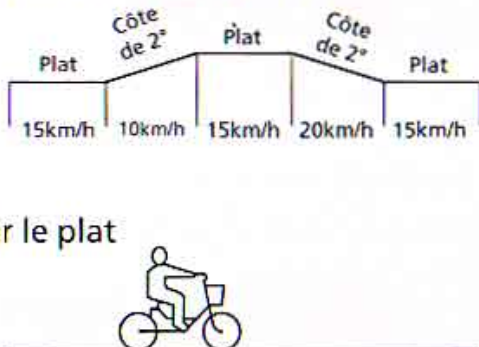
Ax-ion City – Spécifications

Cadre berceau monopoutre acier
 Fourche acier
 Transmission Shimano Nexus 4,
 freins intégrés dans le moyeu arrière
 Poignées tournantes Revo Shift
 Freins AV à mâchoires
 AR dans le moyeu (Roller Brake)
 Cintre type semi relevé, aluminium
 Potence aluminium
 Moyeux AV aluminium Sachs
 AR Shimano Inter 4 Nexus
 Jantes aluminium anodisées, Alesa
 Pneus Hutchinson
 P.A.S Power Assist System
 breveté par Yamaha

Batterie Nickel Cadmium 1.2 v X 20/5ah
 Chargeur de batterie ... automatique, à charge rapide
 Temps de charge 3.5 h maximum
 Moteur 235 w, courant continu
 Assistance ratio maximal (1:1)
 (50 %) jusqu'à 24 km/h
 Autonomie 40 km*
 Taille (standard) l'utilisateur mesure
 entre 1.50 et 1.80 m
 Poids 28 kg
 Equipement de série garde boue, porte-bagages,
 panier avant, antivol intégré,
 béquille double arrière
 à fermeture de sécurité,
 selle articulée.

* voir tableau explicatif des conditions d'utilisation ci-dessous.

Distance moyenne parcourue lorsque la batterie a été complètement chargée.

Les conditions de conduite	Distance	Les conditions d'utilisation
Schéma type de mesure MBK 	10km 20km 30km 40km 	Schéma type de mesure MBK En assistance continue sur terrain plat (vitesse de 15 km/h, et poignée de dérailleur sur le repère 4).

Bleu Perle



Lilas Métal



Dans un but d'amélioration constante, des modifications peuvent être apportées sans préavis, aux caractéristiques de ce modèle.

MBK 
TRACEZ LA VOIE
 BC-AXIONCITY-98E

MOTORISATION

Le vrai démarrage du vélo électrique

Grâce à des capteurs de vitesse et de couple, l'électronique calcule l'énergie d'appoint à fournir.

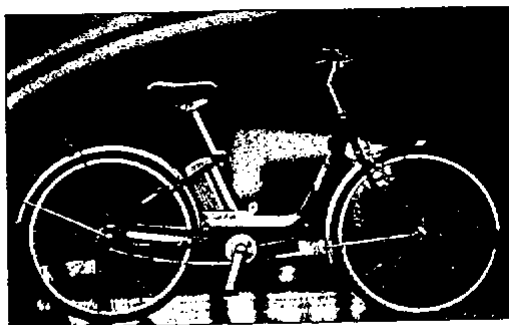
Une petite brise de face, un faux plat qui s'éternise, et le sympathique moyen de transport qu'est le vélo a vite fait de se transformer en véritable engin de torture, même pour les écologistes. Les fabricants l'ont compris et proposent depuis quelque temps des vélos "hybrides", à propulsion musculaire mi-électrique. Deux d'entre eux ont été présentés au dernier Mondial du deux-roues. L'Ax-Ion de MBK appartient à la catégorie des

"véhicules à pédalage assisté", incapables de rouler sans énergie musculaire et pour lesquels l'énergie électrique ne vient qu'en appoint, éventuel, de l'effort de pédalage.

Un moteur de 235 W

Ce deux-roues a été doté par Yamaha d'un système électronique débrayable, le PAS (*Power Assist System*), constitué d'un capteur de vitesse de rotation du pédalier et d'un capteur de couple permettant à l'électronique de contrôle de

doser l'énergie d'appoint à fournir par le moteur électrique de 235 W. La puissance électrique, délivrée à la roue arrière par une batterie NiCd de 24 V et 4 Ah, est disponible dès le démarrage et en quantité égale à la puissance musculaire jusqu'à 16 km/h. Au-delà, l'électronique diminue progressivement l'assistance pour se mettre en veille lorsque les 25 km/h sont atteints. De type traction avant cette fois, avec un moteur de 250 W logé non plus sur le pédalier mais dans le moyeu, le vélo Electra propulse son pilote à 20 km/h sans aucun pédalage (avec 40 km d'autonomie) et peut l'amener à 40 km/h s'il fait un petit effort. Avec cet engin, il paraît même qu'il est possible de réussir la redoutable ascension (8 %) de la côte de la rue Lepic sans pour cela s'appeler Jeanne Longo... ■ J.-C. G.



Le moteur de l'Ax-Ion divise l'effort musculaire par 2 jusqu'à 16 km/h.

TENDANCE OBSERVÉE SUR LES NOUVEAUX MODÈLES :

- Moteur actionnant le pédalier
 - Charger
 - Axion - City de MBK
 - Nouveau Vélectron de Peugeot
 - Pedcon
- Batterie sur le cadre arrière :
 - Axion -City
 - Vélectron



Nouveau Vélectron de Peugeot
Modèle 1999

Deuxième partie

Analyse du fonctionnement de l’Axion-City

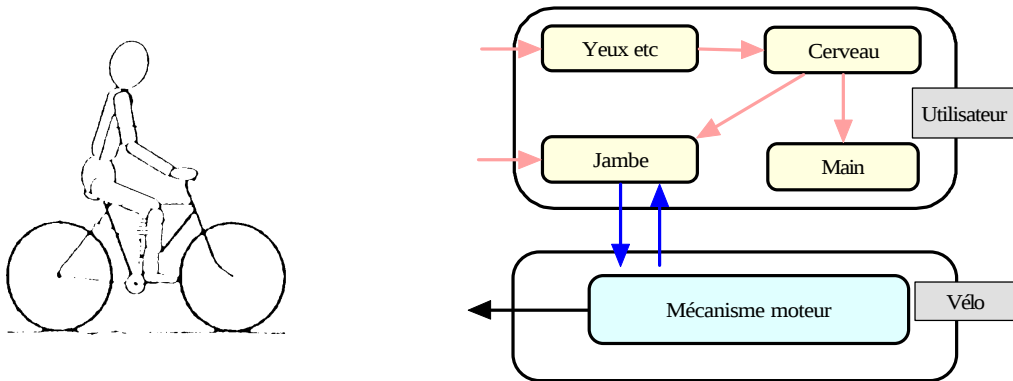
Description

Etude des couples mis en jeu

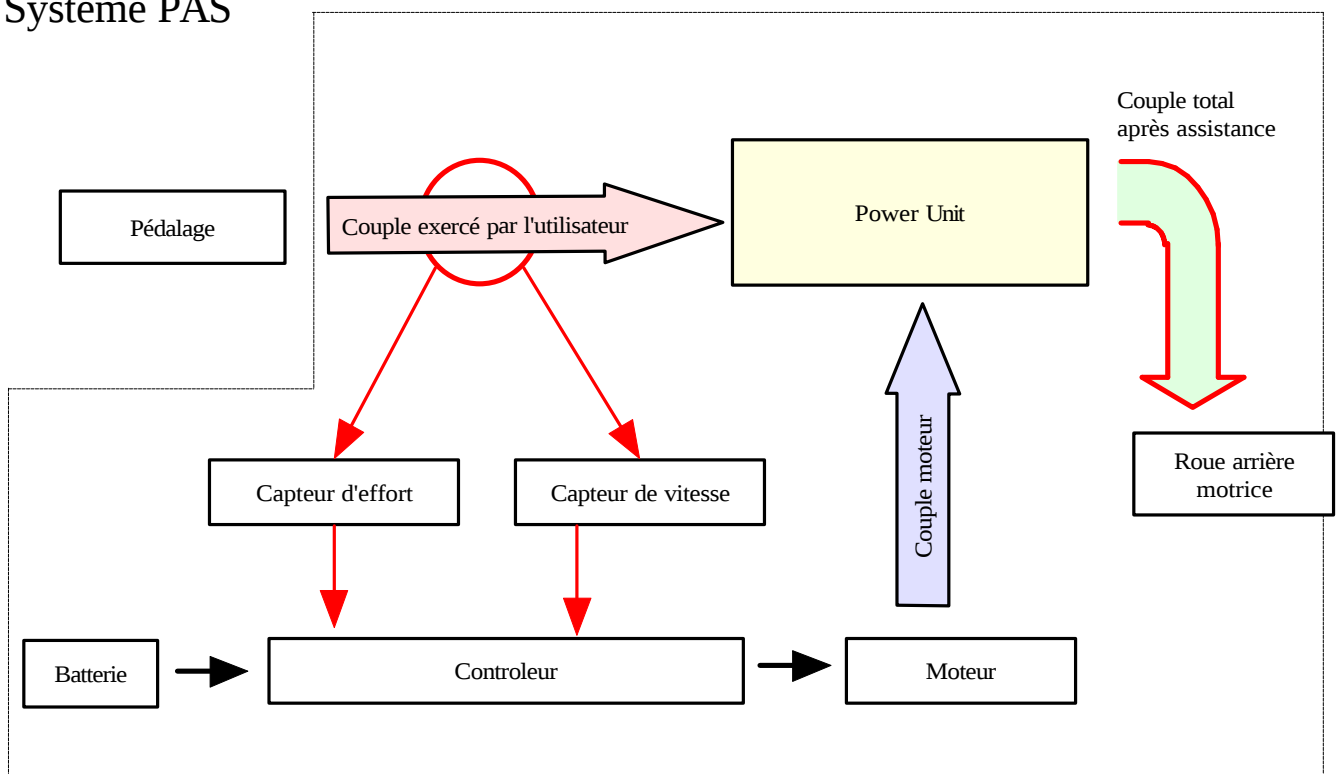
2-1 Description

Synoptiques comparés

Système classique



Système PAS





- [illegible]

28	1	Reuven 2036d			SR 600-E
29	1	Carle			
30	1	Lehr			
37	1	Blau exigue			
38	1	Trek (polydactyl)			Rehr
39	1	Carle			
44	1	Bancet de mouille			
45	1	Figen exigue			
46	1	Am phidole			
48	1	Méner		2M - 23 W	
49	1	Captain Force			
49	1	Carle exigue			

6	1	Pignon		Z:40 ; m:	
5	3	Pignon		Z:40 ; m:	
4	2	Arbre Inter			
3	1	Arbre Inter			
2	1	Reducteur ZH2542			SR 600-Z-
1	1	Reducteur ZH2548			SR 600-E
Rep.	Nb	Désignation	Mat'ère	Observation	Référence
					
Format : A2 Ech. 1:1					
AXION - CYTY ENSEMBLE MOTEUR - P. A. S.					

Cinématique du système P.A.S. (Yamaha)

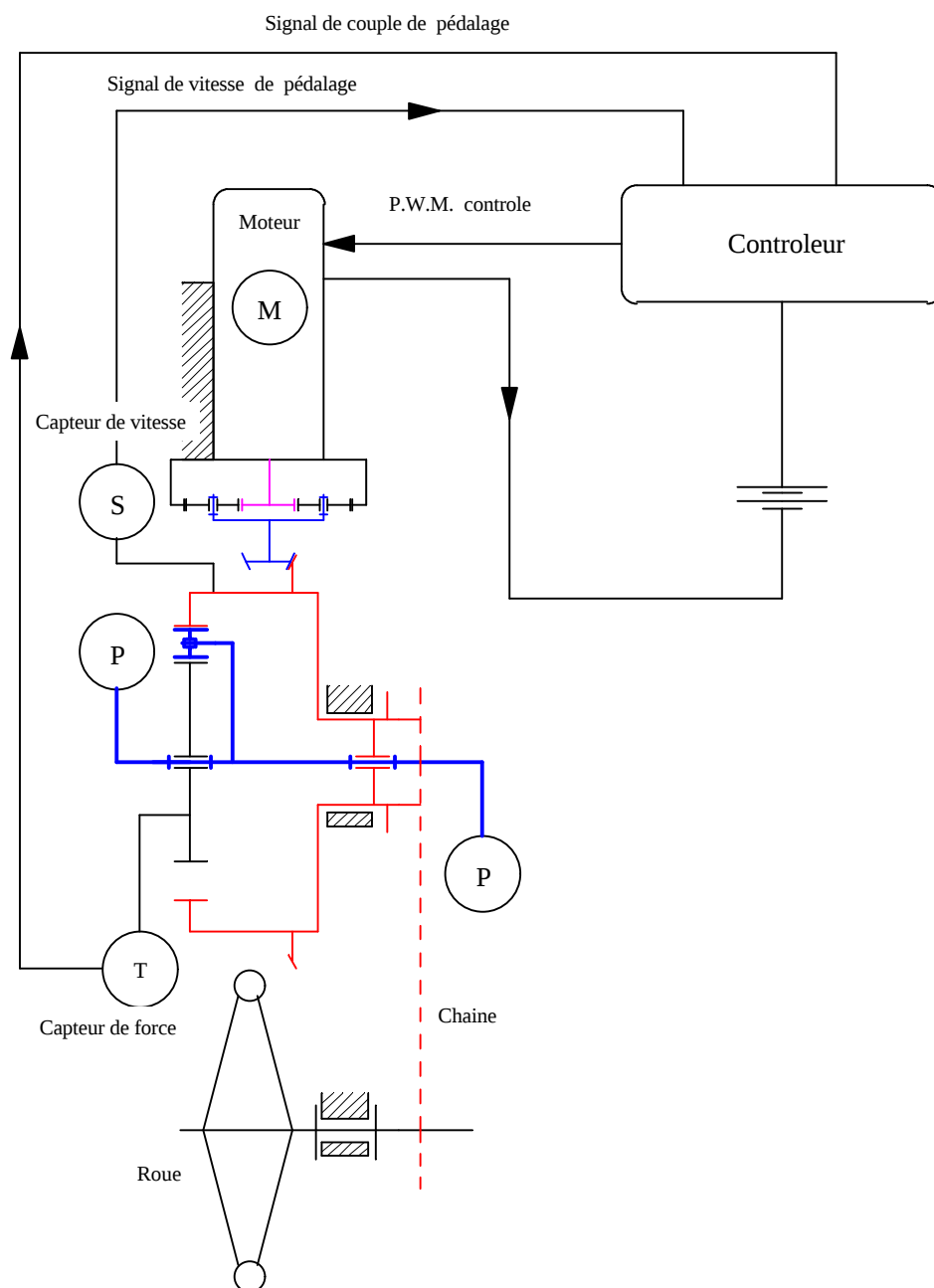
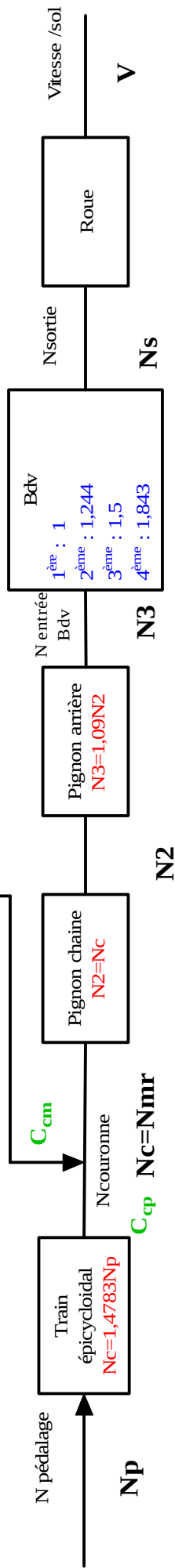
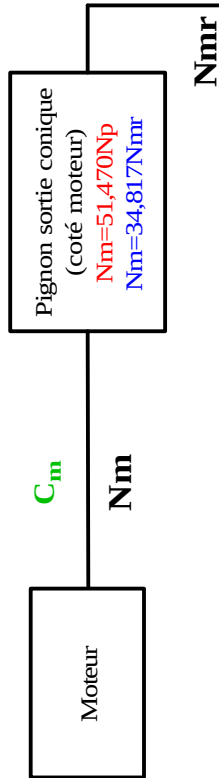
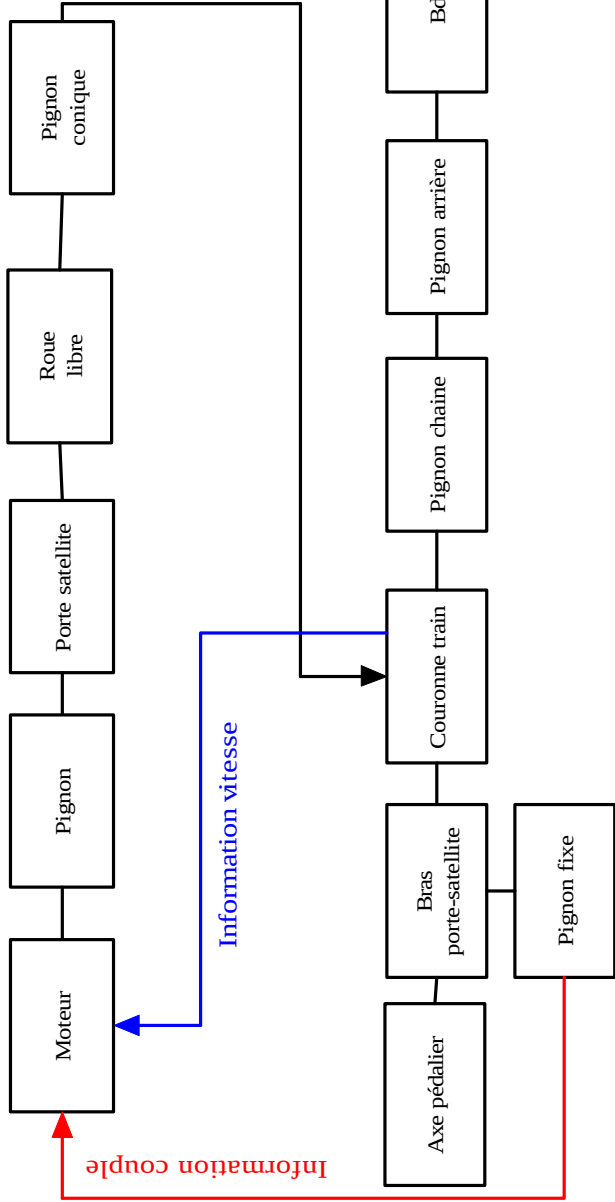


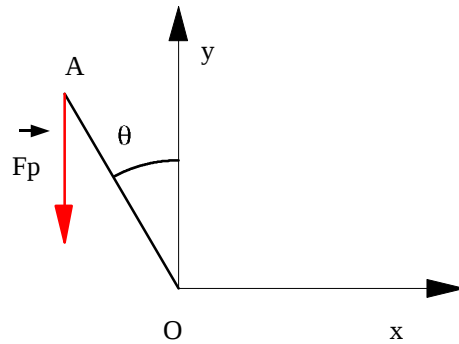
Schéma synoptique



2-2 Etude des couples n

Détermination des efforts mis en jeu .

Couple sur l'axe de la pédale



Hypothèses concernant l'effort de pédalage :

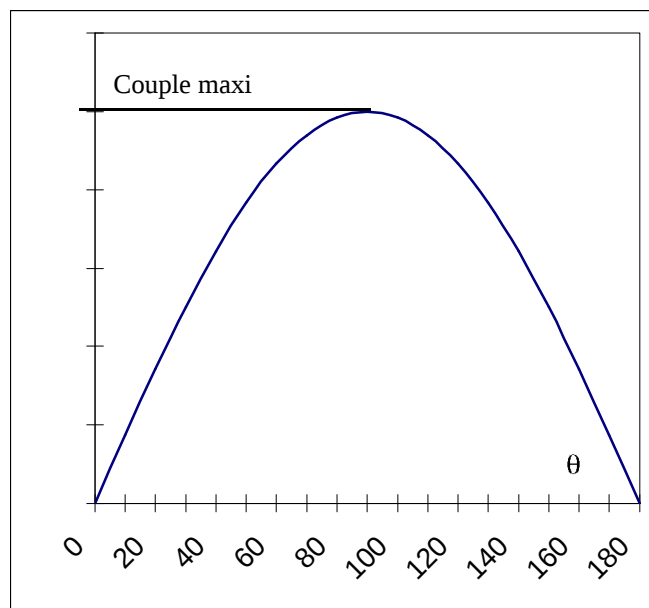
F_p toujours dirigée verticalement et non constante .

C_p maxi maxi pour $\theta = \pi/2$

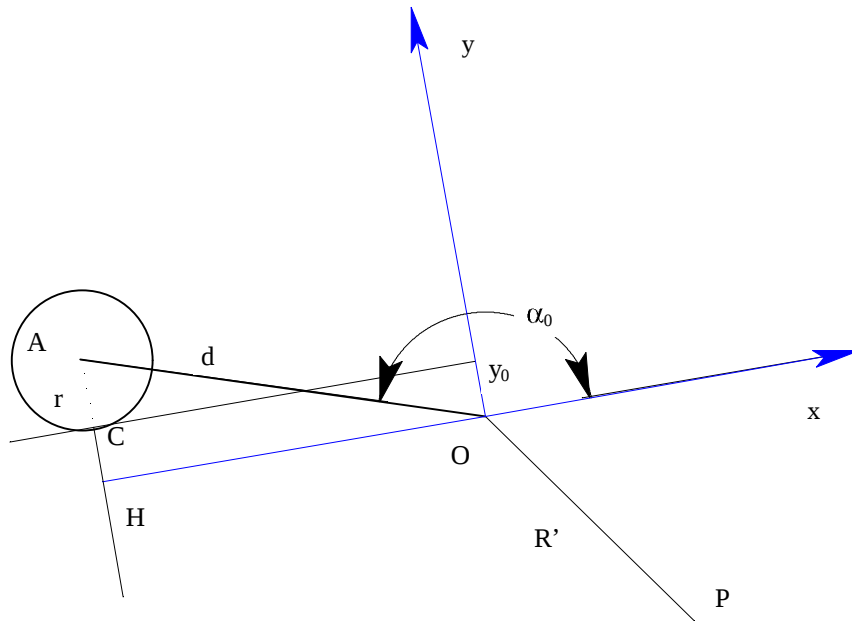
$OA = 170 \text{ mm} = L$

$\vec{C_p} = \vec{OA} \wedge \vec{F_p}$ soit en projection $C_p = F_p.L.\sin(\theta)$

Allure de la courbe du couple :



2-3 Relation d'étalonnage du capteur de force



$$\sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) = C_p \cdot R_1 / (2 \cdot 25,5 \cdot OH \cdot k \cdot d) - \sin(\alpha_0)$$

Déplacement du capteur de force :

$$\Delta L_{\text{capteur}} = R' \cdot \Delta\alpha = 42 \cdot \Delta\alpha \quad (R' \text{ est la distance du point de contact du capteur avec le bras}).$$

Cette relation permet d'étalonner le capteur en vue du ratio demandé.

Ensemble motorisation



Détermination des courbes de puis-

Hypothèses :

Analyse du système dans le cas de valeurs moyennes

Masse du cycliste : $m = 70 \text{ kg}$

Couple total : C_t

Couple d'accélération : C_{ad}

Couple permanent : C_{perm}

Relation entre les couples :

$$C_t = C_{ad} + C_{perm}$$

1) Détermination du couple en régime permanent

- a) - couple du au roulement du vélo sur la route
- b) - couple du à la résistance au vent .
- c) - couple du à la pente de la route

Méthode de détermination du coefficient de roulement : (par essais)

Modèle	Effort de traction	Poids
VTT	3N	12 kg
Vélo de course	1,2	11kg
Vélo normal	3,5 à 4,2	15kg
Axion-City	5,2 à 7,5	28 kg

Modèle	Diamètre de roue	Coefficient de roulement en mm
VTT	600 mm	8 à 10
Vélo de course	700 mm	1,2 à 1,5
Axion-City	650 mm	6 à 8,7

$$C_{perm1} = N \cdot \delta = 980 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 5,8 \text{ N.m pour un coefficient de } 6 \text{ mm}$$

$$C_{perm1} = 980 \cdot 8,7 \cdot 10^{-3} = 8,52 \text{ N.m pour un coefficient de } 8,7 \text{ mm}$$

b) Couple du à la résistance au vent

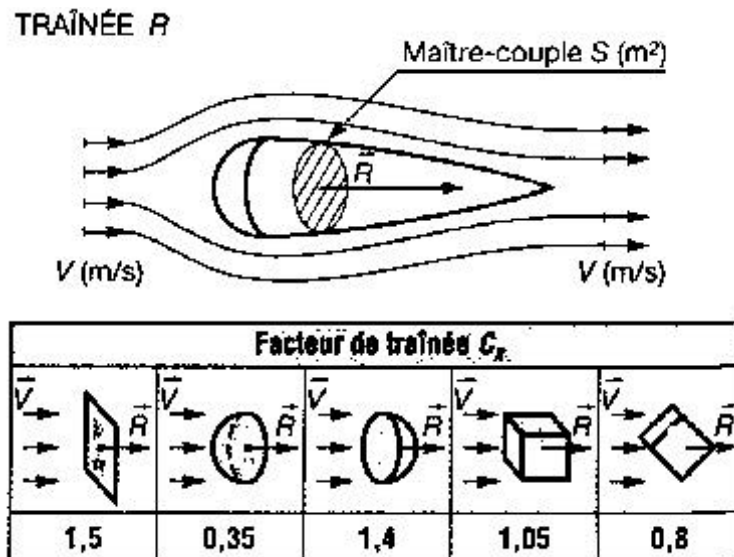
$$R = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$$

R = trainée ; C_x facteur de trainée

Application : $V = 15 \text{ km/h}$; $C_x = 1$; $\rho = 1,22 \text{ kg/m}^3$; $S = 0,75 \text{ m}^2$ (par essai et calculs) .
Soit $R = 7,9 \text{ N}$

$$V = 15 \text{ km/h} \Rightarrow C_{\text{perm2}} = 2,5 \text{ N.m}$$

$$V = 24 \text{ km/h} \Rightarrow C_{\text{perm2}} = 6,6 \text{ N.m}$$



c) Couple du à la pente .

Dessin d'une pente et de l'angle

$$F = P \cdot \sin(\alpha) \text{ avec } \tan(\alpha) = \text{pente}$$

Application numérique : pente de 3/100

$$F = 980 \cdot \sin(\alpha) = 29 \text{ N}$$

$$\text{Soit un couple } C_{\text{perm3}} = 9,5 \text{ N.m}$$

2) Détermination du couple du à l'accélération .

$$C_{\text{ad}} = J \cdot w' \text{ avec } J : \text{inertie de l'ensemble .}$$

Hypothèses :

- L'inertie due à la rotation de l'ensemble moteur est négligée devant l'inertie due à la masse mise en mouvement .
- Masse du vélo : 28 kg
- Boite de vitesse en position de 1ère

$$C_{\text{ad}} = J \cdot w' \text{ avec } J : \text{inertie de l'ensemble .}$$

Loi de l'énergie cinétique : $\frac{1}{2} J w^2 = \frac{1}{2} m V^2$

$$\text{soit } J_r = m R^2 = 10,3 \text{ kg.m}^2$$

Inertie ramenée à la couronne du train épicycloïdal (voir schéma cinématique) :

$$J_c = J_r \cdot (1,09)^2 = 12,3 \text{ kg.m}^2$$

$$C_{\text{ad}} = J_c \cdot w' = 12,3 \cdot w'$$

3) Détermination des puissances .

Hypothèses :

- accélération constante
- terrain plat (pas de couple du à la pente)
- rendement du mécanisme = 1
- vitesse à atteindre : 15 km/h
- vitesse initiale nulle

Cperm ramené à la couronne :

$$C_{\text{permt}} = (2,5 + 5,8) * 1,09 = 9 \text{ N.m}$$

Puissance sur la couronne :

$$P = (Jw')w + C_{\text{permt}} * w$$

$w = w' * t$; avec $w = 11,76 \text{ rd/s}$

$$\mathbf{P = J * w^2 / t + C_{\text{permt}} * w}$$

$$P = 1784/t + 105 : \text{ en Watt}$$

pour un temps de 10s , $P = 284 \text{ W}$ soit avec un ratio de 1 , un couple sur le pédalier moyen

$$C_{\text{pmoy}} = 284 / (2 * 7.9) = 17,8 \text{ N.m} \quad (w_{\text{péd}} = 11,76 / 1,478 = 7,9 \text{ rd/s})$$

Courbes de puissance sur la couronne (Route plate)

Codes utilisés dans les tableaux suivants :

P5 : Puissance totale à 5 km/h

H5 : Puissance développée par l'utilisateur (humain) à 5 km/h

M10 : Puissance développée par le moteur à 10 km/h

Sv5 : Puissance totale à fournir à 5 km/h dans le cas ou la résistance de l'air est négligée .

Svh10 : Puissance développée par l'utilisateur à 5 km/h (cas précédent) .

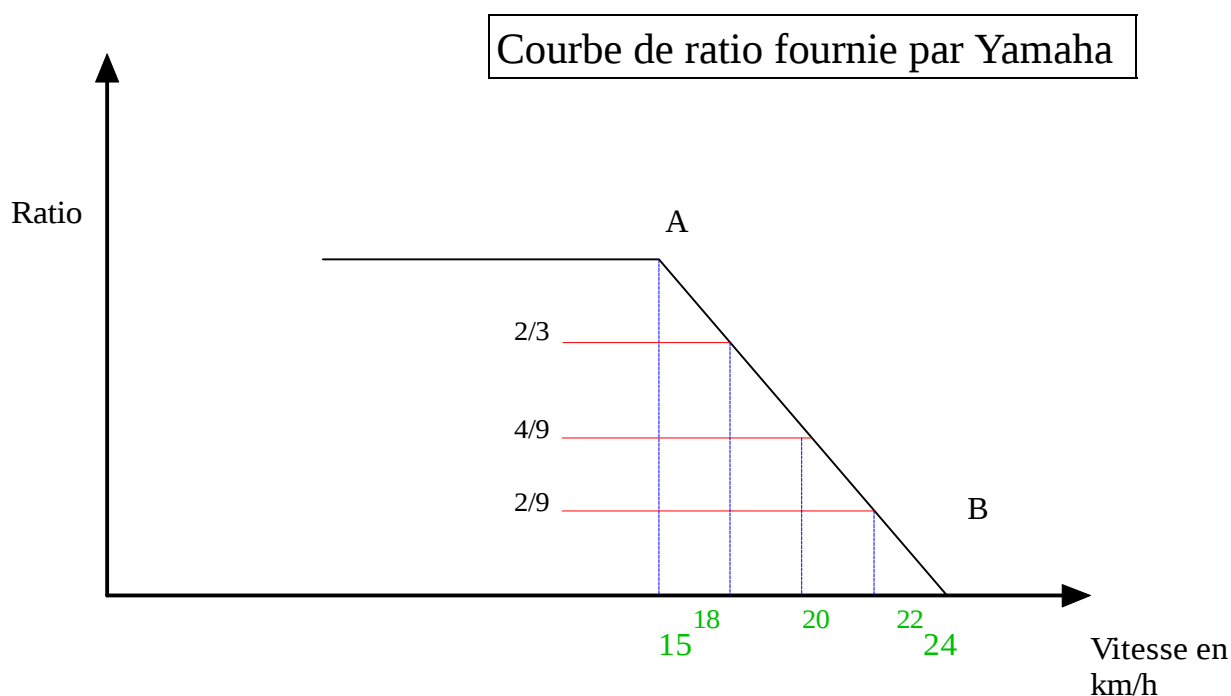
Vc5 : Puissance à 5 km/h , vitesse constante , sans vent .

Vvc5 : Puissance à 5 km/h , vitesse constante , avec prise en compte de la résistance de l'air .

70 Axion : Cas de l'utilisation de l'Axion - City par une personne de 70 kg .

50 Axion : Cas de l'utilisation de l'Axion - City par une personne de 50 kg .

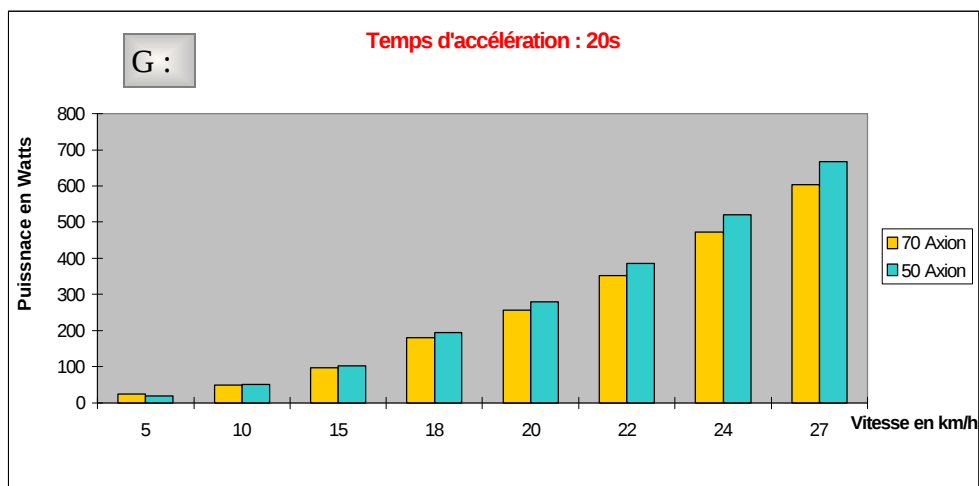
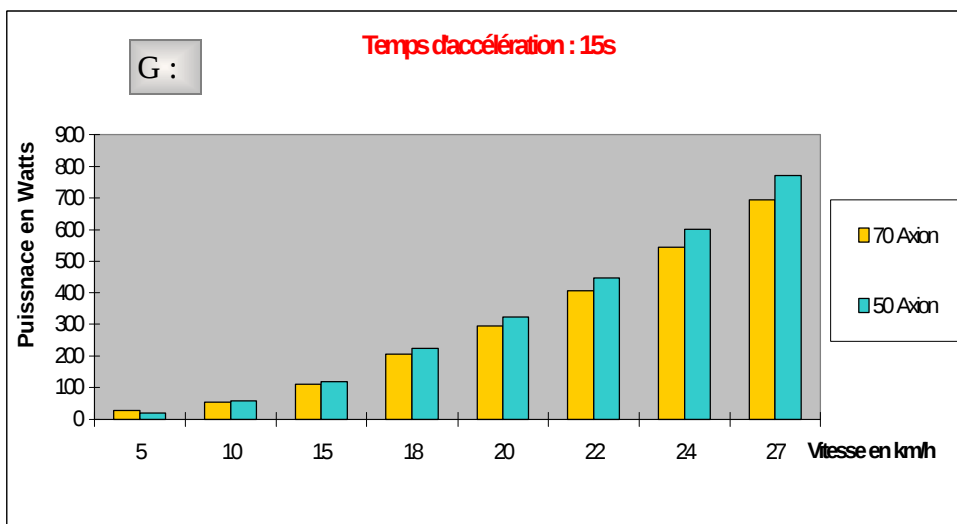
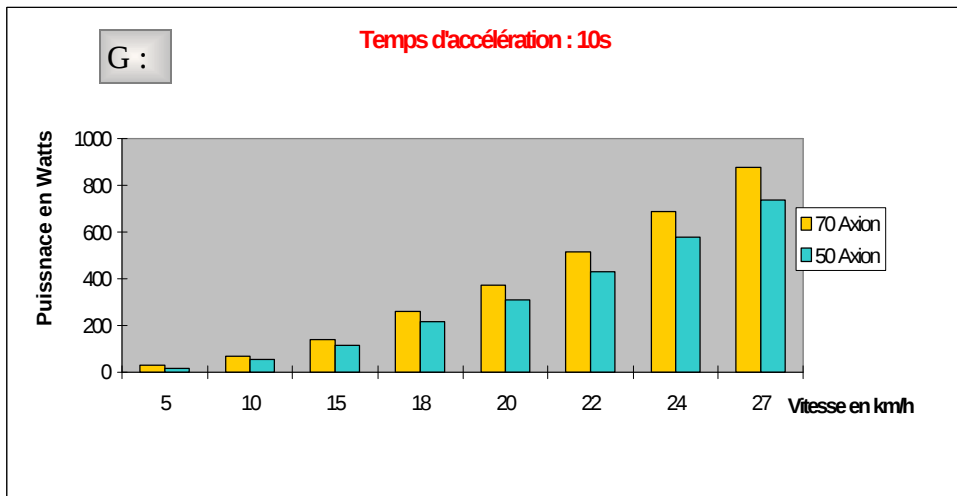
Détermination du ratio entre 15 km/h et 24 km/h



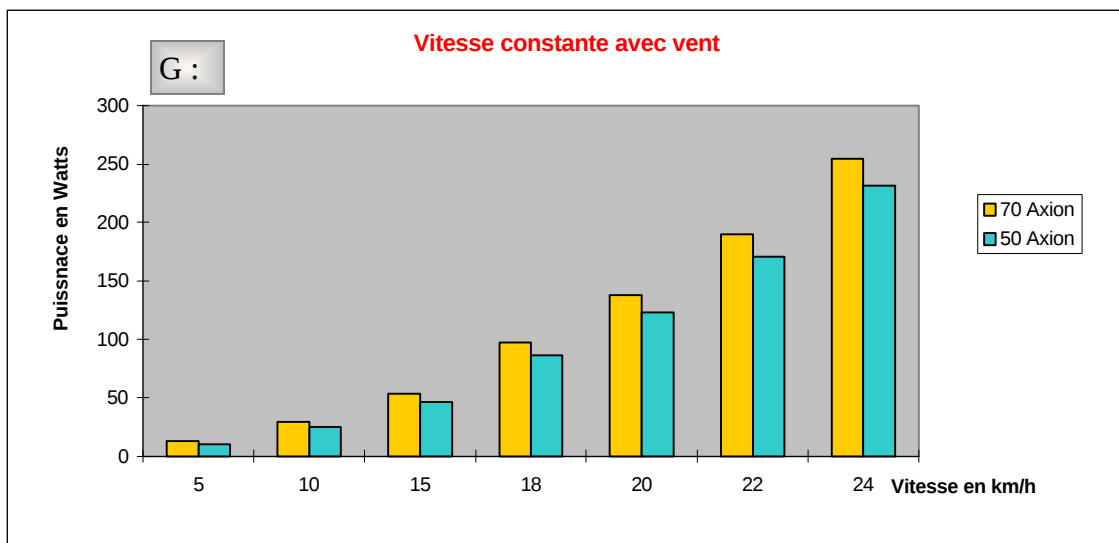
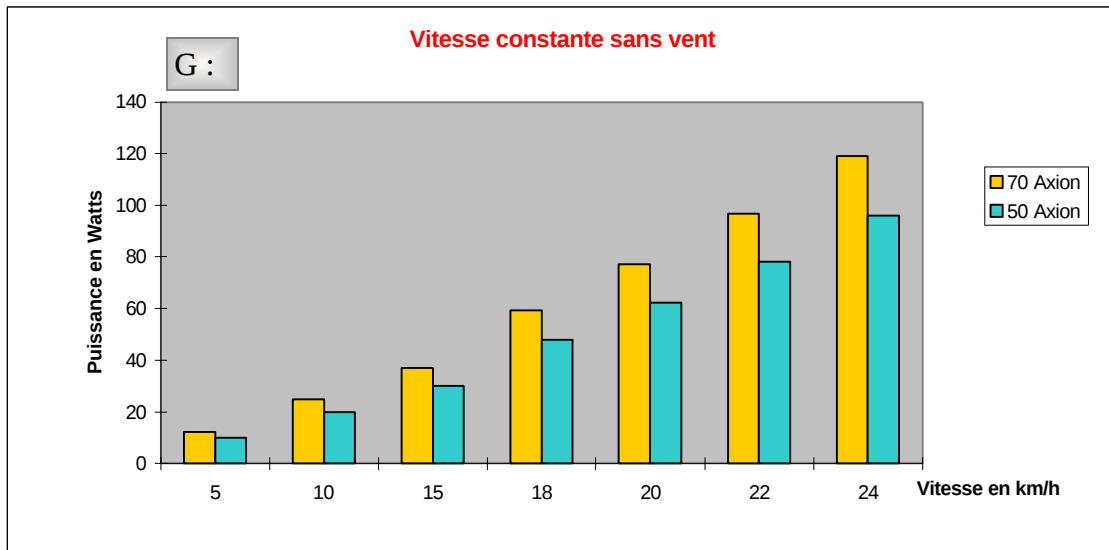
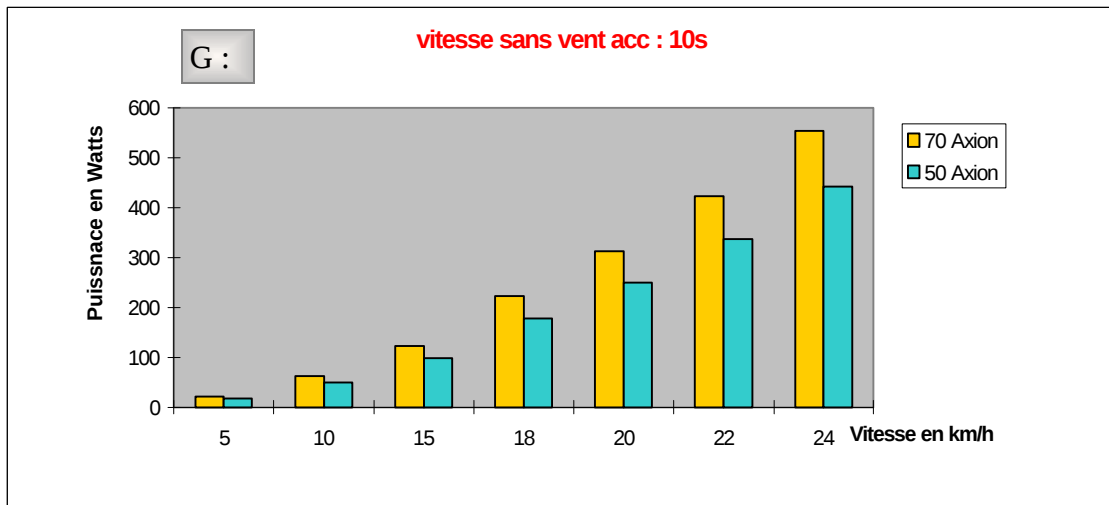
Equation de la droite AB :

$$y = -1/9 x + 24/9 \quad \text{d'où les valeurs du graphique .}$$

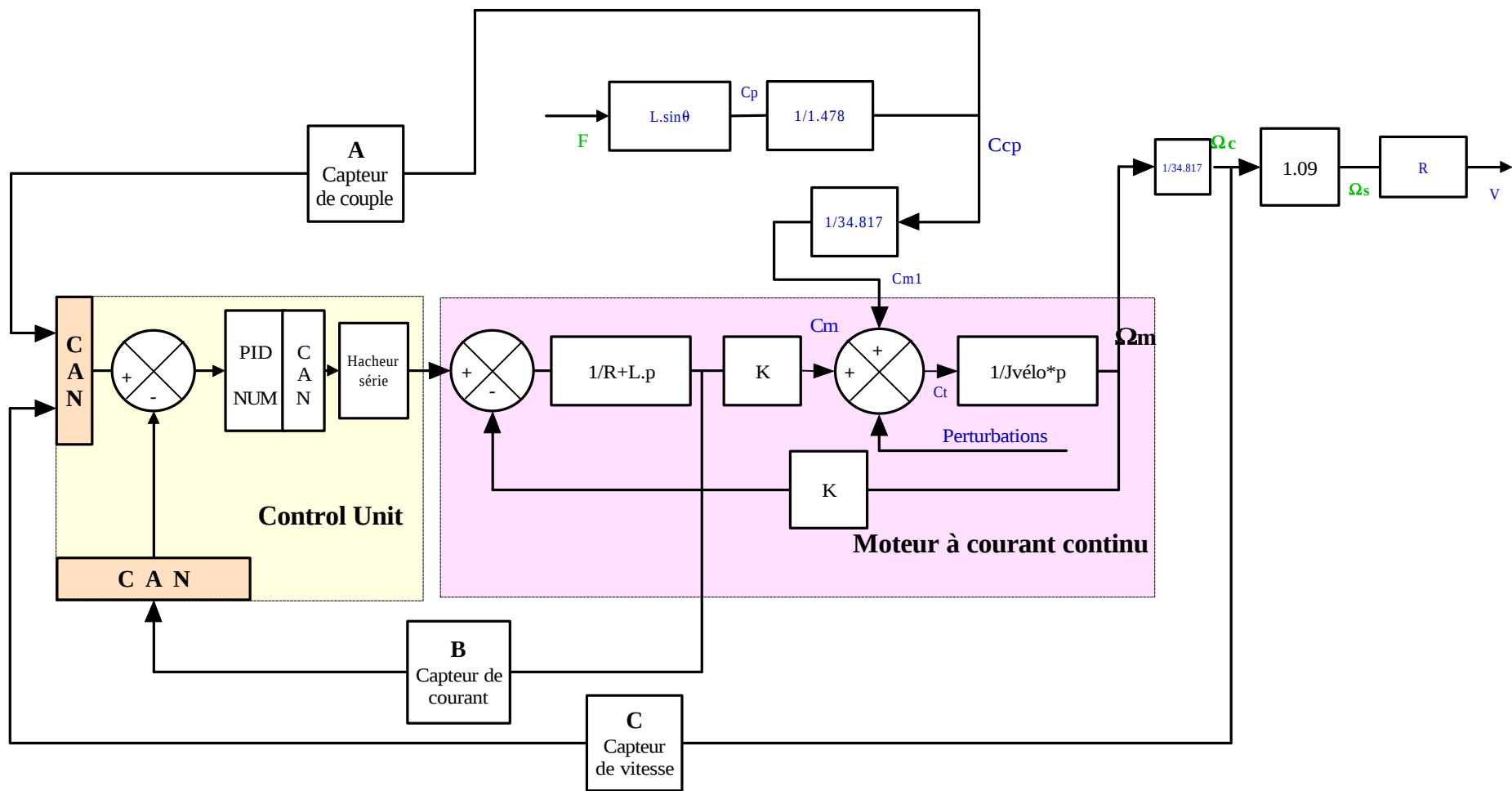
Courbes de puissance sur la couronne **Cas général**



Courbes de puissance sur la couronne Cas particuliers

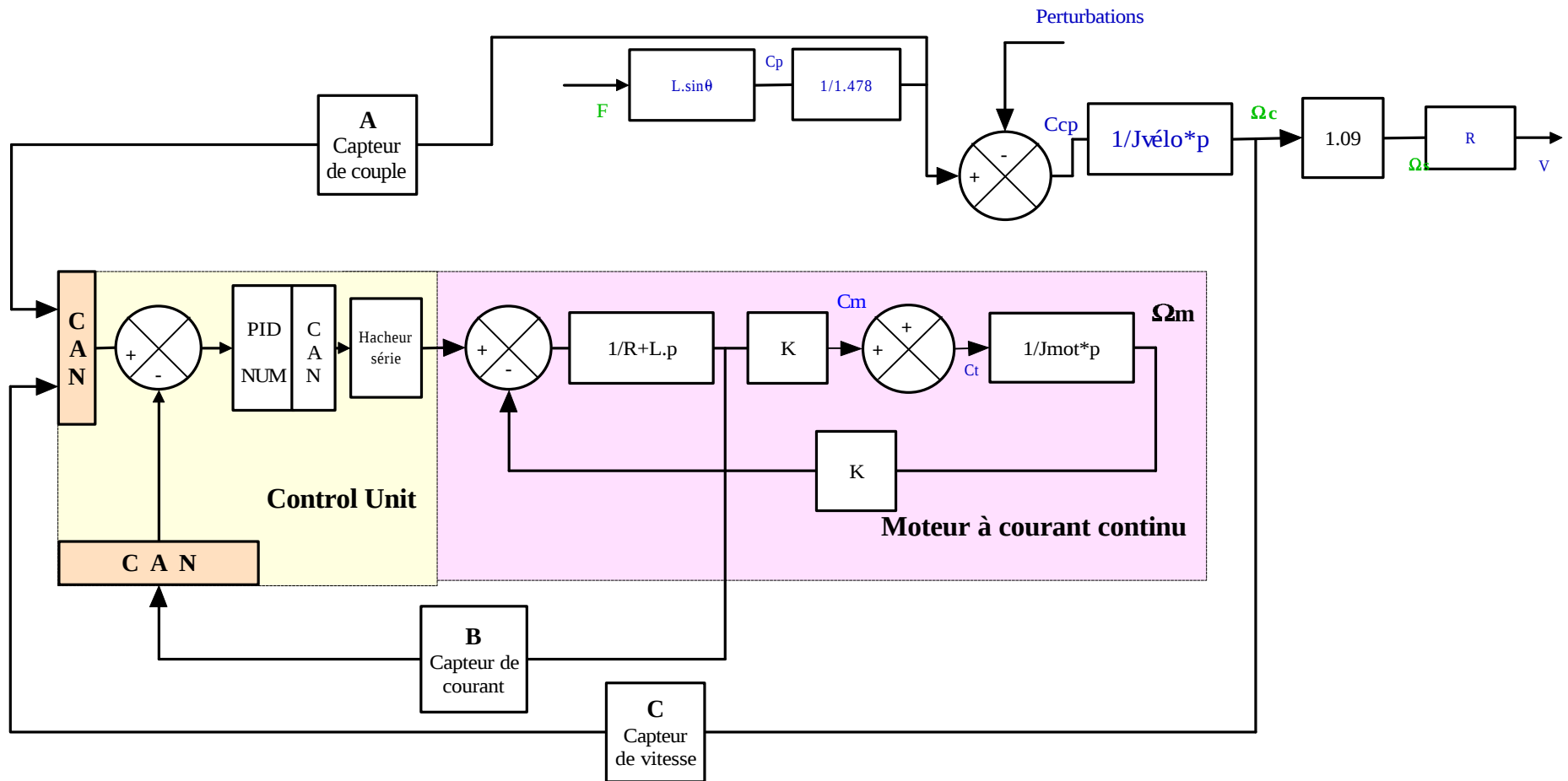


Asservissement



Modélisation de l'asservissement
de l'Axiom-City

Cas général
(vitesse inférieure à 24km/h)



Cas pédalier seul
(vitesse supérieure à 24km/h)

Etude statique du vélo

Hypothèses :

L'étude statique est réalisée dans le cas où la vitesse du vélo est stabilisée (Ω = constante).

Posons :

U_a = Tension moyenne aux bornes de l'induit du moteur : $U_a = 24V$

I_a = Courant moyen dans l'induit R = résistance de l'induit = $1,3\Omega$ (estimation personnelle)

E = f.e.m. du moteur $E = K\Omega$ avec $K = 0,05$ (estimation)

T_{el} = couple moyen électromagnétique du moteur

T_p = couple moyen ramené sur la pédale ramené sur le moteur

T_o = couple du au frottements secs (couple permanent) .

T_v = couple de frottement visqueux

Equation du moteur :

$$U_a = E + RI_a = K\Omega + RI_a$$

$$\Rightarrow U_a = 0,05 \Omega + 1,3 I_a$$

$$\text{or } I_a = T_{el}/K = T_{el}/0,05 = 20 T_{el}$$

$$(1) : U_a = 0,05\Omega + 20 T_{el} \quad \text{Dans l'hypothèse de l'asservissement linéaire}$$

$$T_{el} = T_p \text{ (ratio de 1)}$$

Equation de la dynamique en régime stabilisé (Ω = constante)

$$(2) : T_{el} + T_p - T_o - T_v = 0$$

$$\text{avec } T_o = 5,8 * 1,09/34,817 = 0,19 \text{ Nm}$$

$$T_o = 0,19 \text{ Nm}$$

Recherche de T_v :

$$R = 0,457 \text{ V}^2 \text{ (voir précédemment) ; soit :}$$

$$C_{perm2} = CV = 0,457 * V^2 * R = 0,0156 \text{ w}^2 \text{roue}$$

Ramené sur la couronne :

$$C_{vc} = CV * w_r/w_c = 0,0156 * (1,09)^3 w_c^2 = 0,0203 * w_c^2$$

Ramené au moteur :

$$C_{vm} * w_m = C_{vc} * w_c$$

$$C_{vm} = 0,0203 * (1/34,8)^3 w_m^2$$

$$C_{vm} = 5 * 10^{-7} * w_m^2$$

$$T_v = 5 * 10^{-7} * \Omega^2$$

Relations entre couples :

$$T_{el} = C_m = C_p/51,470 = T_p = C_{cp}/34,817$$

Détermination de T_{el} :

Dans le cas du régime stabilisé et d'après les hypothèses précédentes :

$$C_{perm1} = 8,38 \text{ Nm} ; C_p = 8,38 * 1,09 * 13,9 / (9,4 * 2) = 6,7 \text{ Nm}$$

$$\text{soit } T_p = 6,7 / 51,470 = 0,131 \text{ Nm}$$

$$\text{Tel} = T_p = 0,130 \text{ Nm}$$

Equation de la dynamique (2) :

$$0,130 + 0,130 - 0,19 - 5 * 10^{-7} * \Omega^2 = 0$$

$$\Rightarrow \Omega = 379 \text{ rd/s soit } 3623 \text{ tr/mn}$$

Caractéristiques de fonctionnement du moteur

Intensité et tension dans le moteur : I_a et U

$$I_a = T_{el} / K = 0,131 / 0,05 = 2,63 \text{ A}$$

$$U_a = K\Omega + RI_a = 0,05 * 379 + 1,3 * 2,62$$

$$U_a = 22,37 \text{ V} \text{ soit inférieur à } 24 \text{ V}, \text{ ce qui se traduit par un asservissement linéaire .}$$

Le système reste linéaire si le ratio $T_{el}/T_p = 1$; il ne sera plus linéaire si , pour un effort T_p et une charge T_o donnée , il faudra “théoriquement” $U_a > 24 \text{ V}$; dans ce cas , T_{el} répond à l'équation suivante :

$$U_a = 0,05\Omega + 26 T_{el} = 24$$

$$T_{el} = (24 - 0,05\Omega) / 26 < T \text{ (Zone où le ratio 1:1 n'est plus conservé)}$$

Couple limite $T_{el \text{ limi}}$ du moteur

$$(1) : U_a = 0,05\Omega + 26 T_{el} = 24$$

$$(2) : T_{el} + T_p - T_o - T_v = 0$$

$$\text{avec } T_v = 5 * 10^{-7} * \Omega^2$$

$$\text{soit } 24 = 0,05 * ((2T_{el} - 0,19) / 5 * 10^{-7})^{0,5} + 26 * T_{el}$$

$$\text{soit } T_{el \text{ limi}} = 0,136 \text{ Nm}$$

Intensité :

$$I_{\text{lim}} = 0,136 / 0,05$$

$$I_{\text{lim}} = 2,76 \text{ A}$$

Vitesse de rotation :

$$\Omega^2_{\text{lim}} = (0,136 * 2 - 0,19) / 5 * 10^{-7}$$

$$\Omega_{\text{lim}} = 404 \text{ rd/s soit } 3867 \text{ tr/mn}$$

A ce moment si l'effort de la pédale augmente , le moteur ne peut plus suivre au couple

Rem : cas où le moteur tourne à 4000 tr/mn

$$U_a = 0,05\Omega + 26 \text{ Tel}$$

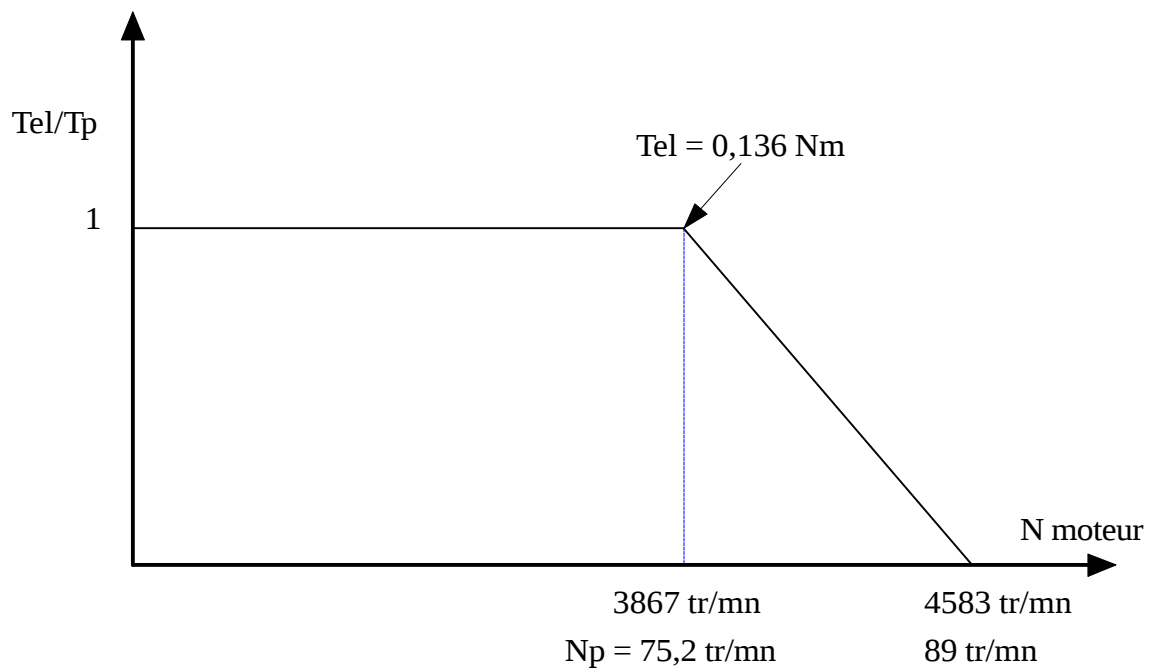
$$\text{Tel} = (24 - 0,05 \cdot 418,8)/26$$

$$\text{soit Tel} = 0,117 \text{ Nm}$$

$$(2) \text{ Tel} + \text{Tp} - \text{To} - \text{Tv} = 0$$

$$\text{soit Tp} = 0,1607 \text{ Nm}$$

$\text{Tp}/\text{Tel} = 1,373$ donc le ratio 1:1 n'est plus valide



Ω_0 = vitesse limite ou $\text{Tp} = \text{Tel}$ (ratio de 1) = 3867 tr/mn

Equation de Tel après Ω_0 :

$$\text{Tel} = (24 - 0,05\Omega)/26 < T$$

$$\text{Tel} = 0 \Rightarrow \Omega_{\text{maxi}} = 480 \text{ rd/s soit } 4583 \text{ tr/mn}$$

Cas où le couple visqueux est négligé :

$$(1) : U_a = 0,05\Omega + 1,3I_a = 0,05\Omega + 1,3(T_{el}/0,05) \text{ car } T_{el} = 0,05I_a$$

$$(2) : T_{el} + T_p - T_o = 0$$

$$\text{soit } T_o = 0,19 \text{ Nm d'où } T_{el} = T_p = T_o/2 = 0,095 \text{ Nm } \forall \Omega$$

$$\text{Pour } U_a = 24\text{V } I_a = T_{el}/0,05 = 1,9 \text{ A}$$

$$\Omega_o = (U_a - RI_a)/K$$

$$= (24 - 1,3 \cdot 1,9)/0,05 = 430 \text{rd/s}$$

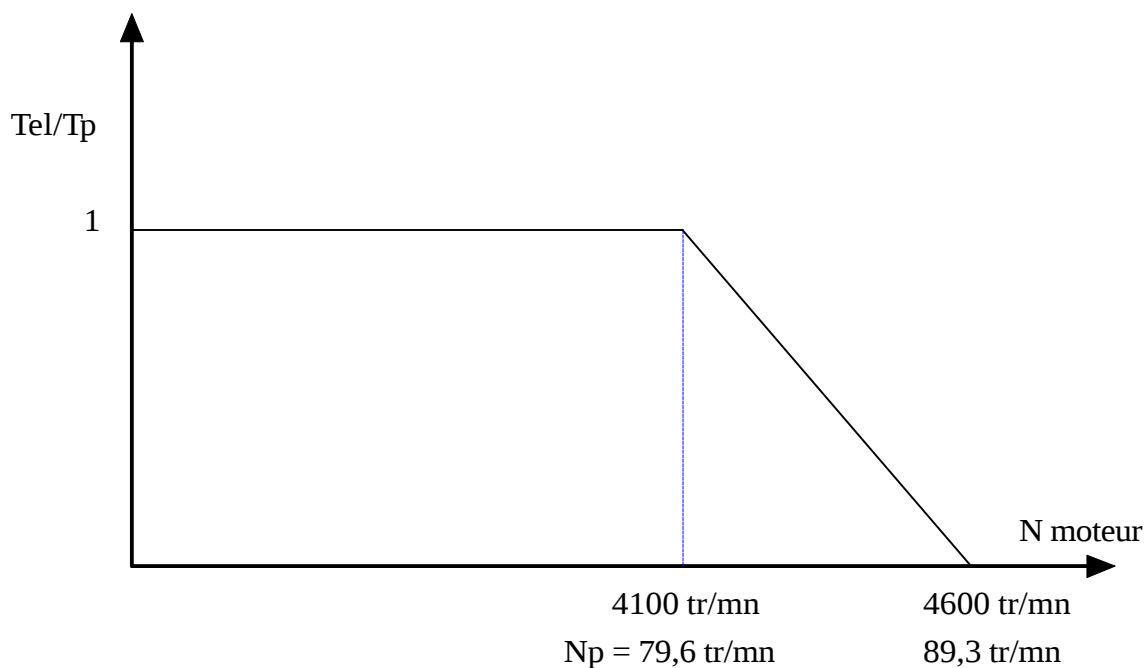
$$\text{soit } N_m \cong 4100 \text{ Tr/mn}$$

Au delà de ce point de fonctionnement :

$$T_{el} = (U_a \text{ max} - 0,05 \Omega)/26$$

$$T_{el} = 0,923 - 0,00992 \Omega$$

$$\text{Pour } T_{el} = 0 , \Omega = 480 \text{ rd/s soit } 4600 \text{ tr/mn}$$



Rem : la vitesse de pédalage peut aller jusqu'à 90 tr/mn (voir documents issus de la physiologie du sport) .

Boite de vitesse en 4ème (rapport de 1,843)

$$(1) : U_a = 0,05\Omega + 1,3I_a = 0,05\Omega + 1,3(T_{el}/0,05) \text{ car } T_{el} = 0,05I_a$$

$$(2) : T_{el} + T_p - T_o = 0$$

$$\text{soit } T_o = 5,38 \times 1,09 \times 1,843 / 34,81 = 0,33 \text{ Nm d'où } T_{el} = T_p = T_o/2 = 0,165 \text{ Nm } \forall \Omega$$

$$I_a = T_{el}/0,05 = 3,3 \text{ A}$$

La vitesse de rotation du moteur est de :

$$15 \text{ km/h } \quad 12,8 \text{ rd/s de la roue , soit } 122,2 \text{ tr/mn}$$

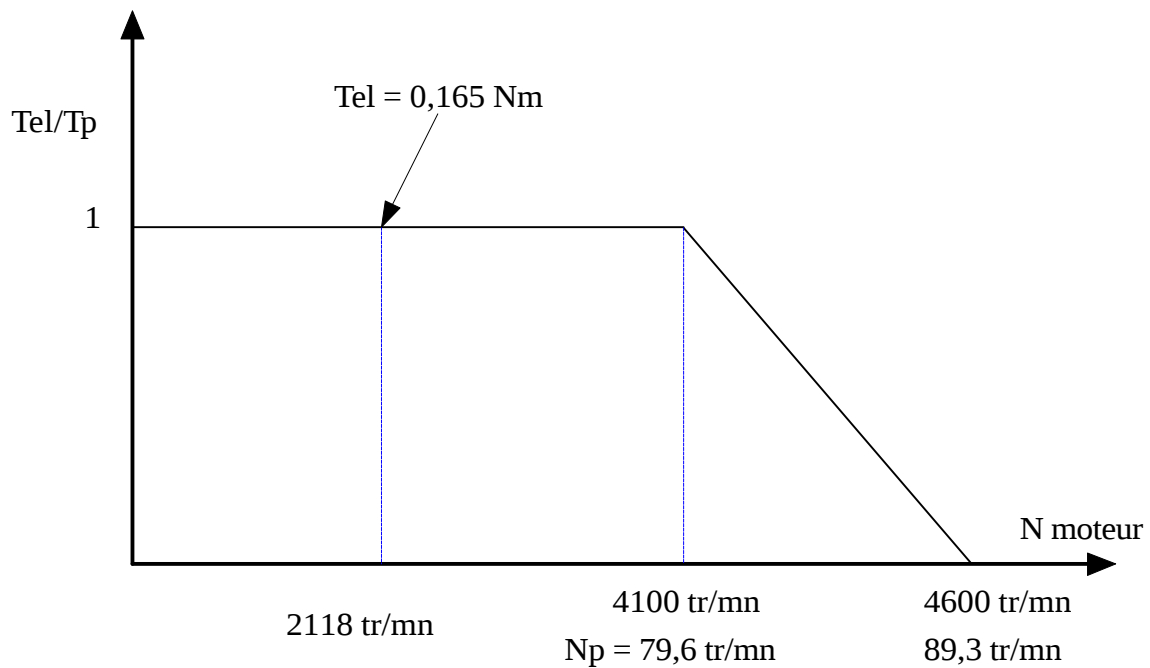
$$\Omega = (122,2 \times 34,81) / (1,09 \times 1,843)$$

$$\Omega = 2118 \text{ tr/mn} = \omega_m$$

Couple maxi transmissible par le moteur (puissance constante) :

$$C_{\max} = 235 \times 60 / (2118 \times 2 \times \pi) = 0,67 \text{ Nm}$$

Le ratio de 1:1 est donc respecté sans problème :



Etude dynamique de la motorisation du vélo

Hypothèses :

$$K = 0,05 ; U_n = 24V ;$$

L = inductance du moteur

$$R = \text{Résistance du moteur} = 1,3\Omega$$

$$e = \text{f.e.m. du moteur} \quad e = K\Omega$$

Equation différentielle du moteur :

$$U_m = R i + L \frac{di}{dt} + e$$

$$T_{el} = K i$$

$$T_{el} + T_p - T_o - T_v = J \frac{d\Omega}{dt}$$

$$e = K\Omega$$

$$T_v = C\Omega$$

d'où :

$$U_m = R i + L \frac{di}{dt} + K i = \frac{R}{K} T_{el} + \frac{L}{K} \frac{dT_{el}}{dt} + K\Omega$$

$$U_m = \frac{R}{K} \left[-T_p + T_o + T_v + Jt \frac{d\Omega}{dt} \right] + \frac{L}{K} \left[-\frac{dT_p}{dt} + 0 + \frac{dT_v}{dt} + Jt \frac{d^2\Omega}{dt^2} \right] + K\Omega$$

$$U_m = -\frac{R}{K} T_p + \frac{R}{K} T_o + \left(\frac{R}{K} C\Omega \right) + \frac{R}{K} Jt \frac{d\Omega}{dt} + \frac{L}{K} C \frac{d\Omega}{dt} - \frac{L}{K} \frac{dT_p}{dt} + \frac{L}{K} Jt \frac{d^2\Omega}{dt^2} + K\Omega$$

$$U_m = -\frac{R}{K} T_p - \frac{L}{K} \frac{dT_p}{dt} + \left[\frac{R}{K} T_o \right] + \left[\frac{RC}{K} + K \right] \Omega + \left[\frac{R}{K} Jt + \frac{LC}{K} \right] \frac{d\Omega}{dt} + \frac{L}{K} Jt \frac{d^2\Omega}{dt^2} :$$

Equation différentielle du moteur en "Boucle ouverte"

Pour un asservissement en courant du moteur nous devons avoir en statique $B \text{ Im} = ACcp$

(asserv-

vissement à erreur

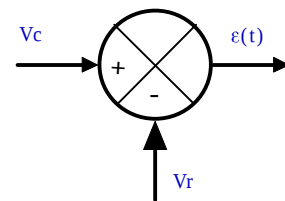
nulle)

$$\text{or} \quad K \text{ Im} = C m_1 = Ccp \frac{1}{34,817} = T_p$$

$$B i = V_r = \text{tension de retour}$$

$$ACcp = V_c = \text{tension de consigne}$$

$$\varepsilon = \text{erreur du système}$$



d'où en dynamique

$$V_e - V_r = \varepsilon(t)$$

$$ACcp - B i = \varepsilon \Rightarrow A.34,817 T_p - B \frac{T_{el}}{K} = \varepsilon(t)$$

$$\text{En statique : } \varepsilon(t) \rightarrow 0 \text{ quand } t \rightarrow \infty \Rightarrow B = A.34,817 * K \text{ car } T_p = T_{el}$$

$$\text{d'où } \varepsilon(t) = A.34,817 (T_p - T_{el})$$

L'asservissement en couple est à fourchette de courant .

Le système est linéaire par parties d'où une résolution d'une multitude d'équations différentielles à chaque changement d'état du hacheur .

En moyenne , on peut considérer que l'erreur est nulle et que le courant “colle” à la consigne (couple sur la pédale) .

Courbes : Puissance - Fréquence de pédalage

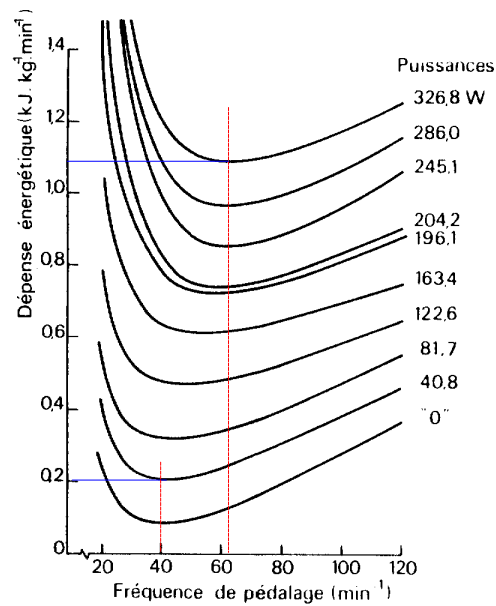


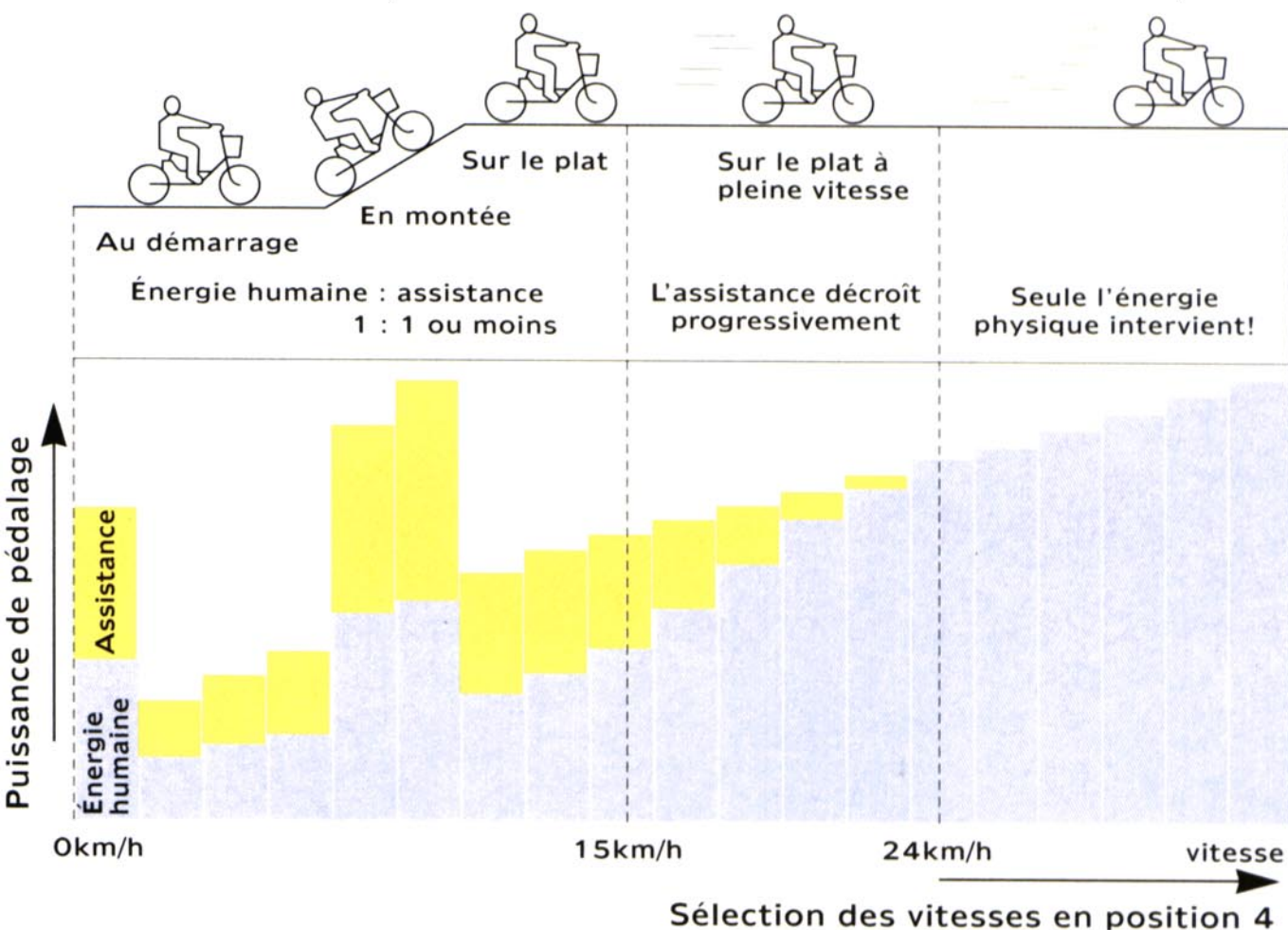
Fig. 5. — *Fréquence optimale de pédalage*. La dépendance énergétique, pour chaque puissance d'exercice, varie avec la fréquence de pédalage et passe par une valeur minimale d'autant plus élevée que la puissance d'exercice est elle-même élevée (d'après Seabury et coll., *Ergonomics*, 1977, 20, 491-498).

Il existe peu de données expérimentales concernant la dépendance énergétique liée à l'exercice sur bicyclette. Cela s'explique en grande partie, par des aspects techniques. La dépendance énergétique à une vitesse donnée dépend en effet de plusieurs facteurs variables. La force nécessaire pour faire avancer une bicyclette est égale à la somme des résistances par frottement au niveau de la machine, de la résistance de l'air et, en plus ou en moins, de la force exercée par le vent.

Si l'on soustrait un coût total celui lié à la résistance de l'air, on obtient le coût énergétique non aérodynamique (CNA). Celui-ci reste constant en ambiance thermique de 70 °C et sur terrain plat : il s'élève à 0,17 J. kg⁻¹.m⁻¹ entre 5 et 20 m.s⁻¹ (18-72 km.h⁻¹). La résistance de l'air est responsable de la nette augmentation du coût total avec la vitesse (fig. 2) et permet de comprendre la recherche d'une silhouette aérodynamique ou d'un abri dans le sillage d'un autre coureur.

La dépendance d'énergie dépend également de la **vitesse de rotation du pédalier** dont l'optimum se situe entre **40 et 50** tours par minute. Les coureurs professionnels préfèrent utiliser des vitesses plus élevées proches de **90** tours par minute (fig. 5).

• Relations entre puissance musculaire et assistance électrique.



• Distance moyenne parcourue lorsque la batterie a été complètement chargée.

Les conditions de conduite	Distance				Les conditions d'utilisation
Schéma type de mesure	10km	20km	30km	40km	
					Schéma type de mesure, en assistance sur terrain vallonné.
Sur le plat 					En assistance continue sur terrain plat. (vitesse de 15 km/h, et poignée de dérailleur sur le repère 4)
Succession de montées et de descentes 					En montées et descentes constantes sur une côte de 2 degré. (à la vitesse de 10 km/h, et poignée de dérailleur sur le repère 3)
En montée constante 					En montée constante sur une côte de 2 degré. (à la vitesse de 10 km/h, et poignée de dérailleur sur le repère 3)
En montée par étape 					En montée constante sur une côte de 4 degré. (à la vitesse de 10 km/h, et poignée de dérailleur sur le repère 2)

Ces cas de figure ne valent que si la batterie est neuve, la température de 20°C, et la charge totale de 70 kg, y compris le poids de l'utilisateur et celui de la charge transportée.

Annexe

Documentation YAMAHA (système P.A.S.)

Spécifications électriques et générales

Voir répertoire : **Annexe**