

E2-1 : Tour de France : la montée de l'Alpe d'Huez en quelques chiffres !

Altitude au départ de Bourg d'Oisans : $h_d = 740$ m

Altitude à l'arrivée à Alpe d'Huez : $h_a = 1860$ m

Distance : $d = 14,454$ km

Record de la montée : $t = 37\text{mn } 35\text{s}$ (Marco Pantani en 1997)

Masse vélo compétition : $m_v = 7$ kg

Masse Marco Pantani : $m_c = 57$ kg

Résistance à l'avancement (formule empirique) : $P_r = 3,2 v + 0,19 v^3$ où P_r est la puissance en watts qu'il faut exercer pour compenser la résistance à l'avancement, pour une vitesse v donnée en m/s

1) Calculer :

- la pente moyenne (en %)
- le dénivelé h
- l'énergie potentielle W_p acquise par le cycliste et son vélo sur ce dénivelé (on donne : accélération de la pesanteur $g = 9,81$ m/s²)
- la vitesse moyenne V_{MP} de Marco Pantani
- l'énergie cinétique W_c acquise par le cycliste et son vélo à cette vitesse
- la puissance mécanique moyenne totale P développée par le cycliste le long de ce trajet (NB : ne pas oublier d'inclure P_r)

2- Cyclotourisme à l'Alpe d'Huez...

On estime qu'un cycliste moyennement entraîné exerce une puissance mécanique de 100 W environ.

On donne :

Masse vélo modèle courant : $m_v = 12$ kg

Masse cycliste : $m_c = 70$ kg

On ne considère que l'énergie potentielle W_p . On néglige l'énergie cinétique ($W_c = 0$) et la résistance à l'avancement ($P_r = 0$).

Calculer :

- la durée de la montée
- la vitesse moyenne V_c du cycliste dans la montée, en m/s puis en km/h.
- le nombre de calories dépensées par le cycliste dans la montée. On donne : rendement musculaire : $\eta_1 \approx 25$ %

3- Cyclotourisme à l'Alpe d'Huez avec VAE...

La puissance utile fournie par l'assistance électrique $P_u = 250$ W s'ajoute maintenant à celle du cycliste (100 W). La résistance à l'avancement estimée ici donne $P_r \approx 40$ W. On néglige encore l'énergie cinétique ($W_c = 0$).

Calculer :

- la durée de la montée
- la vitesse moyenne V_c du cycliste dans la montée, en m/s puis en km/h.
- le nombre de calories dépensées par le cycliste dans la montée (rendement musculaire : $\eta_1 \approx 25$ %)
- la capacité C en ampères-heure (Ah) de la batterie utilisée pendant la montée. On donne : tension batterie $U = 36$ V ; rendement moteur + contrôleur $\eta_2 = 90$ %.

E2-2 : Cycle d'homologation d'un véhicule électrique

Le Cycle ECE+EUDC ou MVEG-A sert à la certification de véhicules légers en Europe [EEC Directive 90/C81/01]. Ce parcours-type ne présente pas de montée ou de descente.

On veut adapter ce test prévu pour les moteurs thermiques aux véhicules électriques. On considère un deux-roues équivalent à un vélo muni d'un moteur électrique à entraînement direct commandé par un variateur de vitesse électronique. L'énergie au freinage n'est pas récupérée.

Le test normalisé comprend trois cycles :

cycle I : accélération de 0 à 15 km/h en 4s - vitesse constante 15 km/h pendant 10 s - décélération pendant 4s jusqu'à l'arrêt.

cycle II : accélération de 0 à 36 km/h en 10s - vitesse constante 33 km/h pendant 25 s - décélération pendant 10s jusqu'à l'arrêt.

cycle III : accélération de 0 à 50 km/h en 25s - vitesse constante 50 km/h pendant 15 s - décélération pendant 8s jusqu'à 36 km/h - vitesse constante 33 km/h pendant 15s - décélération pendant 10 s jusqu'à l'arrêt.

Données numériques :

Masse totale (vélo + cycliste) :	M	100 kg
Coefficient de frottement pneumatique sur route :	f	0,01
Masse volumique de l'air	ρ	1,2 kg.m ⁻³
Coefficient de pénétration dans l'air	C_x	0,5
Section équivalente du mobile (vélo + cycliste)	S	0,5 m ²
Diamètre des roues (1 pouce = 2,54 cm)	D	26 pouces
Tension accumulateur	U_a	48 V

0) Question préliminaire

Tracer le diagramme vitesse/temps du test normalisé (séparer chaque cycle d'un temps d'arrêt de 10 secondes).

1) Etude du cycle I

1.1.1) Calculer son accélération pendant ce cycle.

1.1.2) Calculer la distance parcourue pendant ce cycle.

1.2.1) Calculer la puissance nécessaire pendant la phase à vitesse constante.

1.2.2) Calculer le couple exercé par le moteur.

1.2.3) Placer les points de fonctionnement (marqués 1_c) de cette phase sur le diagramme du moteur (en rouge pour la puissance et en bleu pour le couple).

1.2.4) Calculer l'énergie (en J puis en A.h) consommée pendant cette phase (tenir compte du rendement).

1.2.5) Quel est le courant délivré par la batterie ?

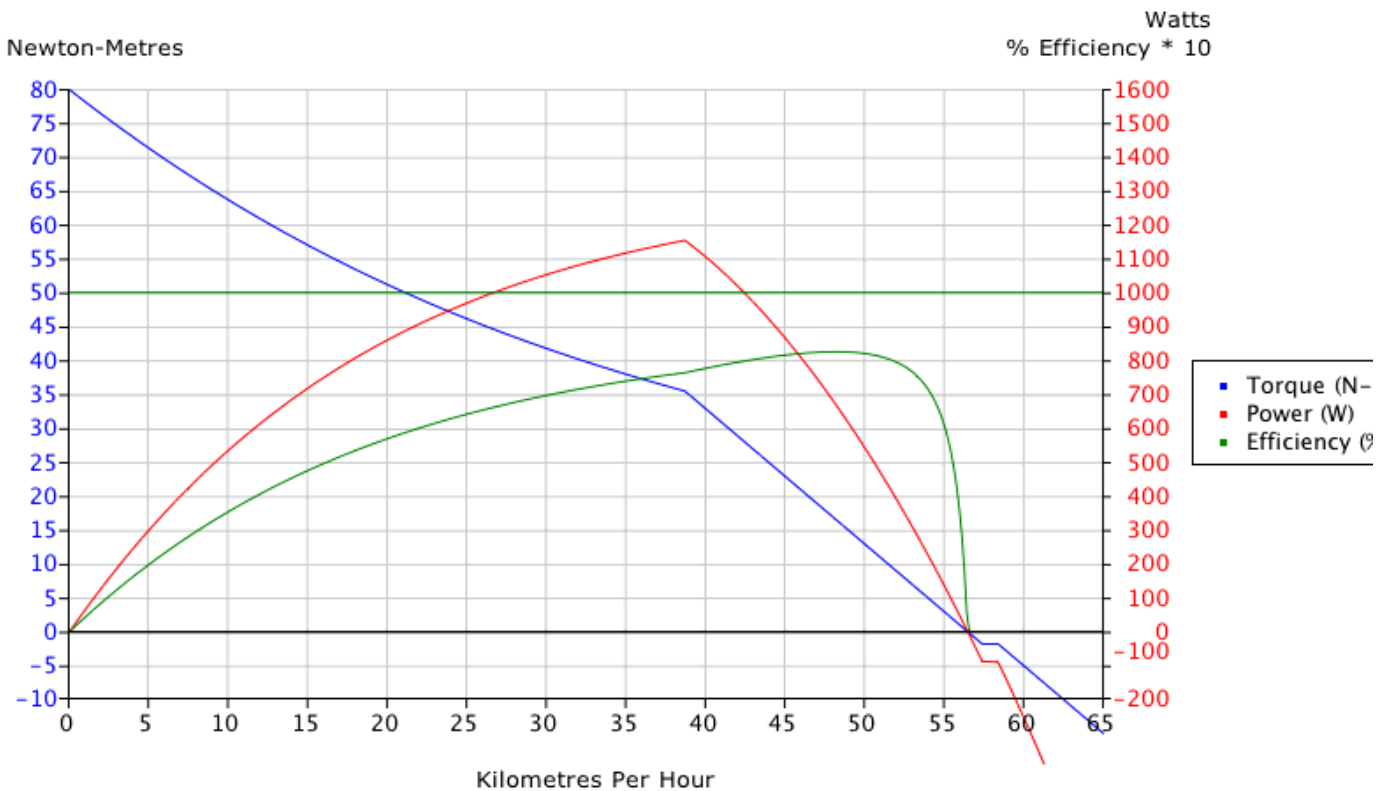
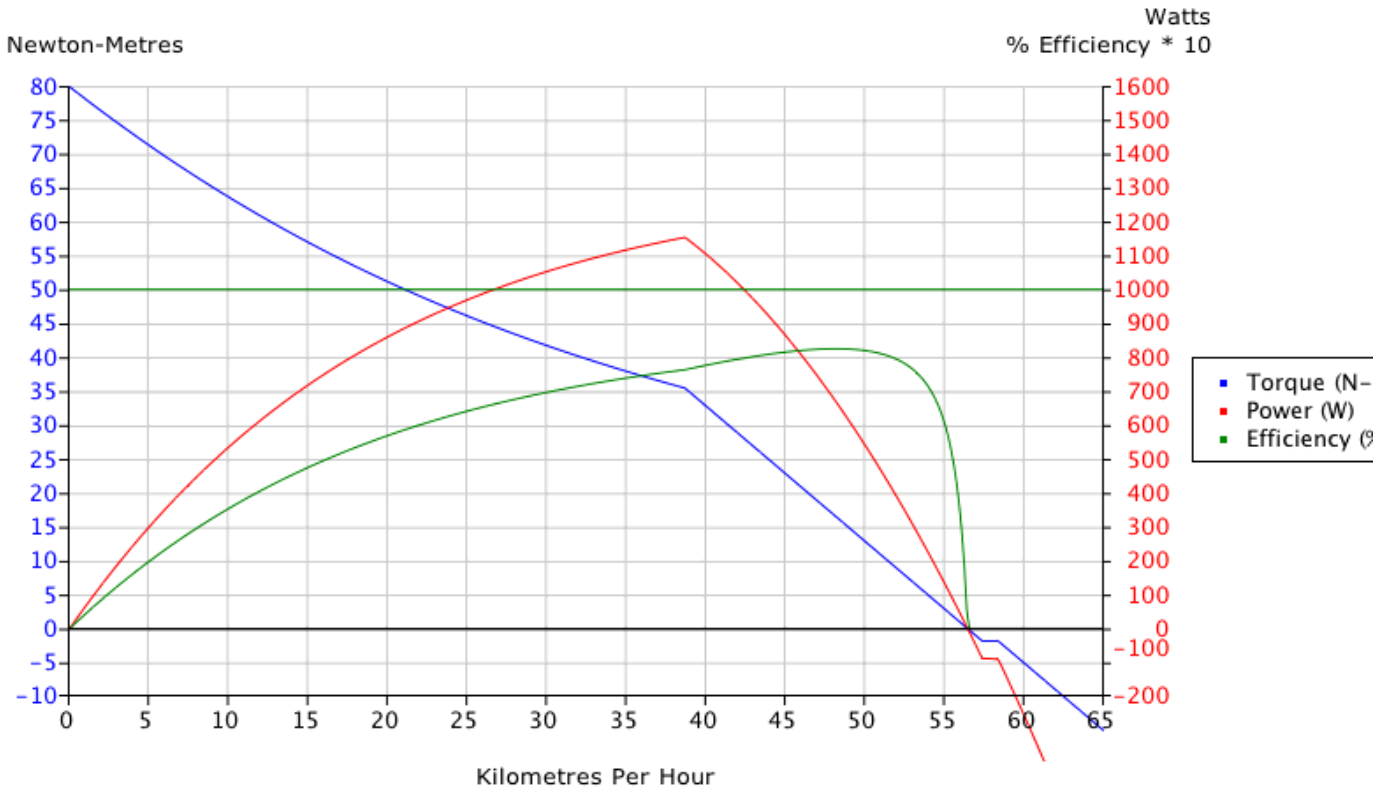
1.3) Mêmes questions pendant la phase d'accélération (on adoptera pour le rendement une valeur moyenne égale à la moitié de sa valeur à vitesse maxi).

2 et 3) Mêmes questions pour les cycles II et III.

Points de fonctionnement marqués 2_c , 2_a , 3_c (pour la vitesse maxi), 3_a .

4) En déduire la distance totale parcourue et l'énergie totale consommée.

Données moteurs + variateur



REPONSES
E2-1 : Tour de France : la montée de l'Alpe d'Huez en quelques chiffres

1)

- Pente $\approx 1120/14454 \approx 7,8 \%$ - Dénivelé : $h = 1860 - 740 = 1120 \text{ m}$ - Energie potentielle : $W_p = Mgh = (57+7) \times 9,81 \times 1120 = 704 \text{ kJ}$ - Vitesse moyenne : $t = 37 \times 60 + 35 = 2255 \text{ s} \Rightarrow V_{MP} \approx 14454 / 2255 = 6,41 \text{ m/s} = 23 \text{ km/h}$ - Energie cinétique $W_c = 1/2.M.V_{MP}^2 = 0,5 \times (57+7) \times 6,41^2 \approx 1,3 \text{ kJ}$ - Puissance mécanique moyenne totale : $P = \frac{W_p + W_c}{t} + 3,2V_{MP} + 0,19V_{MP}^3$ $\Rightarrow P \approx 705.10^3 / 2255 + 3,2 \times 6,41 + 0,19 \times 6,41^3 = 313 + 70 \approx 383 \text{ W}$ **2- Cyclotourisme à l'Alpe d'Huez...**- Energie : $W_p = Mgh = (12 + 70) \times 9,81 \times 1120 = 900 \text{ kJ}$ \Rightarrow Temps de montée : $W_p = P.t \Rightarrow t = \frac{W_p}{P} \approx 9000 \text{ s} = 150 \text{ mn} = 2\text{h } 30 \text{ mn} !$ - Vitesse moyenne : $V_c = d/t = 1,6 \text{ m/s} = 5,8 \text{ km/h}$

- Dépense énergétique (en tenant compte du rendement musculaire) :

$$\frac{W}{\eta_1 \times 4,18} = \frac{900}{0,25 \times 4,18} = 862 \text{ kcal}$$

3- Cyclotourisme à l'Alpe d'Huez avec VAE...- Temps de montée : $W_p = P.t \Rightarrow t = \frac{W_p}{P} = \frac{900.10^3}{100 + 250 - 40} = 2900 \text{ s} = 48 \text{ mn } 23 \text{ s}$ - Vitesse moyenne : $V_c = d/t = 5 \text{ m/s} \approx 18 \text{ km/h}$ - Dépense énergétique du cycliste $\approx \frac{P.t}{\eta_1 \times 4,18} = \frac{100 \times 2900}{0,25 \times 4,18} \approx 277 \text{ kcal}$ - Capacité batterie : soit W_a l'énergie fournie par la batterie. Il vient :

$$W_a = U.I.t = \frac{P_u}{\eta} . t \Rightarrow C = I.t = \frac{P_u . t}{\eta U} = \frac{250 \times 2900}{0,9 \times 36 \times 3600} = 6,2 \text{ Ah}$$

E2-2 : Cycle d'homologation d'un véhicule électrique

Données		Partie I)		Question					
g	9,81	m/s ²	v	15	km/h	111	a	1,04	m/s ²
r	1,2	kg/m ³		4,17	m/s	112	d	58,3	m
M	100	kg	Ω	12,62	rad/s	121	P	51,7	W
f	0,01		η	0,47		122	C	4,10	Nm
Cx	0,5		tc	10	s	123			
S	0,5	m ²	Xc	41,7	m				
D	26	"	Fair	2,60	N	124	W	1101	J
Ua	48	V	ta	4	s			0,006	Ah
R	0,33	m	Xa	8,3	m	125	I	2,29	A
Fr	9,81	N	Facc	104,17	N	131	Pmax	485,8	W
						132	Cmax	38,49	Nm
						133			
						134	W	4134	J
								0,024	Ah
						135	I	21,53	A
		Partie II)	v	36	km/h	211	a	1,00	m/s ²
				10,00	m/s	212	d	350,0	m
			Ω	30,28	rad/s	221	P	248,1	W
			η	0,72		222	C	8,19	Nm
			tc	25	s	223			
			Xc	250,0	m				
			Fair	15,00	N	224	W	8615	J
			ta	10	s			0,050	Ah
			Xa	50,0	m	225	I	7,18	A
			Facc	100	N	231	Pmax	1248,1	W
						232	Cmax	41,2	Nm
						233			
						234	W	17335	J
								0,100	Ah
						235	I	36,1	A
		Partie III)	v	50	km/h	311	a	0,56	m/s ²
				13,89	m/s	312	d	597,5	m
			Ω	42,06	rad/s	321	P	538,1	W
			η	0,82		322	C	12,79	Nm
			tc50	15	s	323			
			Xc50	208,3	m				
			Fair	28,94	N	324	W	9844	J
			tc36	15	s			0,057	Ah
			Xc36	150	m	325	I	13,67	A
			ta1	25	s	331	Pmax	1309,7	W
			Xa1	173,6	m	332	Cmax	31,1	Nm
			Facc	55,56	N	333			
			ta2	8	s				
			Xa2	15,6	m	334	W	39931	J
			ta3	10	s			0,231	Ah
			Xa3	50	m	335	I	33,3	A

IV)				4	Σd	1006	m
					ΣW	89161	J
						0,52	Ah
	η	0,3		51	V	0,003	L
	WL	8,325	kWh		CO2	6,43	g
		$3e+7$	J				
	d	0,7					

