

Question 1.A Voir document réponse corrigé DR05

## 2. ETUDE DE LA PROPULSION

Question 2A

- $F_T \cdot V = 4 \cdot C_R \cdot \omega_R$

Question 2B

- Vitesse de rotation d'une roue pour  $V = 18 \text{ km/h}$  :  $\omega_R = \frac{1000V}{60\pi D} = 224,69 \text{ tr/mn}$

Rapport de réduction théorique :  $r_T = \frac{3500}{224,69} = 15,577$

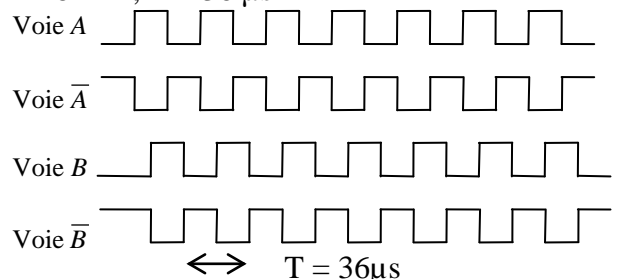
- Expression du rendement :  $\eta = \frac{P_R}{P_M} = \frac{C_R \cdot \omega_R}{C_M \cdot \omega_M}$  avec  $\eta = \eta_{CYCLO} \cdot \eta_{TRAIN}$

Soit  $C_M = \frac{C_R \cdot \omega_R}{\eta \cdot \omega_M}$

- Expression de  $C_M$  en fonction de  $F_T$  :  $C_M = \frac{F_T \cdot V}{4\eta \cdot \omega_M}$

Question 2C

- Codeur sorties différentielles 5V, 500 impulsions par tour.
- Moteur 3500 tr/min et codeur 12000 tr/min au maximum, il convient pour le moteur
- Fréquence de commutation :
  - $V = 18 \text{ km/h} = 18 \cdot 10^3 / 60 = 300 \text{ m/min}$
  - $\omega_{\text{roue}} = V/R = 300 / 0,425 / 2 = 1411 \text{ rd/min} = 1411/2\pi = 225 \text{ tr/min}$
  - $\omega_{\text{codeur}} = 15 \cdot 225 = 3375 \text{ tr/min}$
  - signal 100kHz pour 12000 tr/min donc  $F = 28 \text{ kHz}$ ,  $T = 36 \mu\text{s}$
- Signaux A et B : Voir signaux ci-contre, avec  $V_{\text{max}} = 5V$  et  $T = 36 \mu\text{s}$



Question 2D

- Algorithme
- Précision moteur =  $1/500\text{tr} = 2\pi/500 = 0,0125 \text{ rd}$ 
  - Précision roue =  $0,0125 / 15 = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ rd}$
  - Précision roue en mm =  $\alpha \cdot R = 0,83 \cdot 10^{-3} \cdot 425/2 = 176 \cdot 10^{-3} \text{ mm} = 176 \mu\text{m}$

Question 2E

- C ANA 0-5V , WD et S binaires 0 ou 5V
- 

	Avant démarrage	Après démarrage
C	0	Passe de 0 à 5V
WD	X	0 Relais watchdog non alimenté
S	1	0 Relais validation alimenté, variateur non inhibé par liaison à 0V

### Question 2F

Si défaut logiciel, WD = 1, Inhibition du variateur et activation du frein car non alimenté

### Question 2G

Détermination de la force de propulsion  $F_{T1}$  totale nécessaire lors du franchissement :

$$F_R = mg\lambda = 350 \times 9,81 \times 12 \times 10^{-3} = 41,20N$$

$$F_P = mg \sin \theta \quad \text{avec } \theta = 5,71^\circ \quad \text{soit } F_P = 350 \times 9,81 \times 0,0995 = 341,63N$$

$$F_{T1} = F_R + F_P = 382,83N$$

$$C_{M1} = \frac{382,83 \times 5}{4 \times 0,792 \times 366,52} = 1,649N.m \quad \text{et} \quad P_{M1} = C_{M1} \cdot \omega_M = 604,39W$$

### Question 2H

- $x = \frac{1}{2} \delta t^2$  et  $V = \delta t$  d'où  $\delta = \frac{V}{t} = \frac{24 \times 1000}{3600 \times 18} = 0,370m/s^2$   
 $t_{18} = \frac{V}{\delta} = \frac{18 \times 1000}{3600 \times 0,370} = 13,50s$   $x_{18} = \frac{V \cdot t}{2} = 45m$
- $F_A = m \cdot \delta = (300 + 350) \times 0,370 = 281,7N$  ne dépend pas de la vitesse.
- $F_{T2} = F_R + F_A = 281,7N$
- $C_{M2} = \frac{281,7 \times 5}{4 \times 0,792 \times 366,52} = 1,21N.m$  et  $P_{M2} = 443,49W$

### Question 2I

Le moteur choisi fournit une puissance mécanique de 900W et permet d'atteindre les conditions d'accélération du cycle normalisé SAE J227C.

### Question 2J

$$Z_C = Z_E + 2 Z_S = 64 \text{ dents}$$

$$r_{TRAIN} = \frac{\omega_P}{\omega_E} = \frac{Z_E}{Z_C + Z_E} = \frac{32}{64 + 32} = \frac{1}{3}$$

$$r_T = r_{TRAIN} \times r_{CYCLO} = 3 \times 5 = 15$$

## 3. ETUDE DES CONTRAINTES LIEES A LA DIRECTION

### Question 3A

Le mode de braquage idéal permet de limiter au maximum le phénomène de glissement entre les roues et le sol.

### Question 3B

- Voir document réponse corrigé DR04  
Rotation du codeur :  $25,43^\circ$
- En position « braquage maximal », La distance  $I_x$  est égale à 1010 mm  
Pour avoir un braquage différentiel idéal, d'après le document DT05, on doit avoir :  
 $I_x = e = 1206 \text{ mm}$ . On n'est donc pas en position de braquage différentiel idéal.

### Question 3C

Il existe deux positions de braquage différentiel idéal.

Course vérin (mm)	$I_x$ (mm)	$I_y$ (mm)	$\theta_1$ (°)	$\theta_2$ (°)
8	1206	9950	7,5	7
23	1206	3600	24	18

### Question 3D

Rayon de braquage minimal (braquage avec un seul pont)  $R_{\min} = I_{y\min} = 2 \text{ m}$   
D'après le document DT01 les courbes simples ont un rayon moyen  $R1 = 6 \text{ m}$  pour une largeur de piste de  $4 \text{ m}$  soit en braquage extérieur  $R = 7 \text{ m}$  et en braquage intérieur  $R = 5 \text{ m}$  donc le braquage est possible mais pas idéal.

### Question 3E

- Braquage différentiel idéal pour  $I_x = e/2 = 603 \text{ mm}$ . Soit  $I_y = 13000 \text{ mm} = 13 \text{ m}$   
Il existe donc une position qui n'est pas utilisée : rayon de braquage trop important.
- Voir document réponse DR04 corrigé. Tracé graphique pour estimation du braquage maxi avec deux ponts.
- Le demi-tour dans les zones d'arrêt de largeur  $D3 = 5,5 \text{ m}$  est possible.

### Question 3F

- Signal numérique sur 13 bits, code binaire, de 10 à 30V
- 13 bits,  $2^{13} = 8192$  possibilités, 8192 pas par tour

### Question 3G

- Nombre de pas correspondant à  $25^\circ$  :  $X = 25 * 8192 / 360 = 569$  pas
- $569 = \begin{array}{l} \% \quad 0 \quad 0010 \quad 0011 \quad 1001 \\ \qquad \% \quad 1 \quad 1101 \quad 1100 \quad 0111 \end{array}$  (position  $+25^\circ$ )  
(position  $-25^\circ$ )
- $\alpha = 1 / R = 30 \text{ mm} / 70 \text{ mm} = 0,428 \text{ rd}$   
 $\alpha = 0,428 * 360 / 2\pi = 24,5^\circ$

### Question 3H

- La carte calculateur a 1 seule entrée pour codeur absolu, il est donc utilisé pour la direction qui nécessite la mémorisation du point zéro. 1 seul tour est suffisant.  
Le contrôle de la direction nécessite obligatoirement un codeur absolu.  
Il donne sa position à chaque instant, même en cas de coupure de courant, ou milieu parasité  
Le poids et l'encombrement sont des facteurs primordiaux pour un véhicule robotisé.
- Pour la propulsion les 4 entrées codeur incrémental peuvent recevoir les 2 codeurs qui sont moins volumineux et moins chers.

### Question 3I

Le Robucar est équipé d'un moteur différent par roue (Fig 4). La vitesse de chaque moteur est réglée en fonction des angles de braquage. Un calculateur se charge de piloter les variateurs de vitesses.

### Question 3J

- Roue B :

$$BI.V_T = OI.V_B$$

$$OI^2 = I_Y^2 + (I_X - \frac{e}{2})^2 \qquad B'I^2 = (I_Y + \frac{a}{2})^2 + I_X^2 \qquad BI = B'I + b$$

$$d'où \quad V_B = V_T \cdot \frac{BI}{OI} = V_T \cdot \frac{\sqrt{(I_Y + a/2)^2 + I_X^2} + b}{\sqrt{I_Y^2 + (I_X - e/2)^2}}$$

- D'après le document DT05, pour  $\theta_1 = 27^\circ$  on a :  
Course du vérin :  $25 \text{ mm}$ ,  $I_x = 1180 \text{ mm}$  et  $I_y = 2800 \text{ mm}$   
Voir document réponse DR05 corrigé

### Question 3K

Dimensions de l'ellipse de contact :  $b = \frac{2}{3} \times 0,125 = 0,083m$   $a = 1,5b = 0,125m$

Périmètre de la zone d'appui :  $P = \pi \sqrt{\frac{0,125^2 + 0,083^2}{2}} = 0,334m$

Couple de pivotement :  $C_p = \frac{3}{32} f \cdot P \cdot F = \frac{3}{32} \times 0,7 \times 0,334 \times \frac{650 \times 9,81}{4} = 34,94 N.m$

### Question 3L

- L'effort est maximum pour le l'angle de braquage maximum.  
Donc d'après le graphique : l'effort maxi est de 2050 N
- Le vérin choisi supporte un effort maxi de 2200N donc il supportera l'effort de braquage.
- L'effort sur le Robucar TT est différent car le diamètre et la largeur de roue sont différents.

### Question 3M

- L'amplitude max (48V) et la fréquence (20 kHz) sont constantes, le rapport cyclique (RC) est variable. Donc la valeur moyenne de l'alimentation varie et la vitesse du moteur aussi.  
 $V1 = \frac{1}{4} \times 48V = 12V$   $V2 = 24V$   $V3 = 36V$
- $V_{moy} = RC \cdot V_{max}$  donc  $RC = 36 / 48 = \frac{3}{4}$  (correspond au 3<sup>ème</sup> tracé)
- Sol gravillonné : la vitesse est limitée à 20 mm/s, par rapport aux 37 mm/s au maximum, donc le rapport cyclique  $RC = \frac{3}{4} \times 20/37 = 0,4$
- Quantum ou Résolution =  $37 / 256 = 0,15$  mm/s

### Question 3N

- Voir DR5
- Une entrée ou sortie optocouplée est constituée d'un émetteur (DEL) et d'un récepteur (phototransistor). La sortie de l'optocoupleur suit l'entrée mais est isolée galvaniquement ce qui permet d'utiliser des tensions différentes et d'assurer une protection.

## 4. ETUDE DU FRANCHISSEMENT

### Question 4A

- Poids total à vide du robucar : 350 Kg  
Position du centre de gravité à vide donné sur document DT3.  
 $527 \times 350 \times 9,81 = 1206 \times 2 F$   
 $F = 350 \times 9,81 \times \frac{527}{2 \times 1206} = 750,2 N$
- Voir document Réponse DR01 corrigé  
Effort dans la suspension : 1365 N

### Question 4B

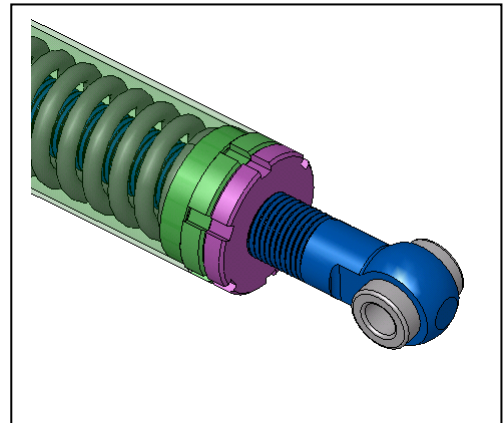
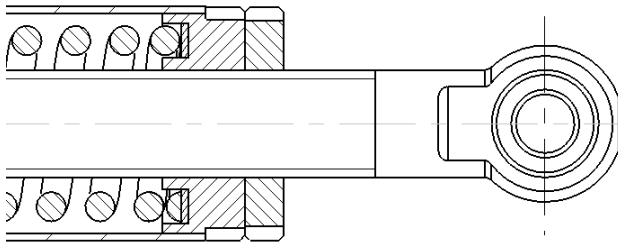
- Voir document Réponse DR01 corrigé
- Effort exercé sur la roue avant :  
 $F = 9,81 \times (350 + 300 + 100) / 4 = 1840 N$   $EF = 323 mm$
- Effort dans la suspension : 3029 N

### Question 4C

	Effort F dans la suspension	Distance EF (étude graphique)
Véhicule à vide	F1 = 1365 N	380 mm
Véhicule en charge	F2 = 3029 N	350 mm

- Effort exercé par un ressort de compression :  $F = K(L_0 - L)$   
 On a ici deux valeurs de comportement connues  
 $F_1 = K(L_0 - L_1)$  et  $F_2 = K(L_0 - L_2)$   
 On connaît  $F_1$ ,  $F_2$  et  $L_1 - L_2 = 380 - 323 = 57 \text{ mm}$   
 Valeur de la raideur  $K$  :  $F_2 - F_1 = K(L_1 - L_2)$  et  $K = \frac{F_2 - F_1}{L_1 - L_2} = 55,46 \text{ N/mm}$
- Valeurs de  $D_h$  et  $X$  :  
 Ressort choisi :  $d = 6,3 \text{ mm}$     $D = 40 \text{ mm}$     $L_0 = 110 \text{ mm}$     $K = 57,61 \text{ N/mm}$   
 Ou  $D = 47,5 \text{ mm}$     $L_0 = 90 \text{ mm}$     $K = 55,59 \text{ N/mm}$   
  
 $X = 380 - 52 - L$  Avec  $L = L_0 - F_1/K = 110 - 1365/57,61 = 86,3 \text{ mm}$   
 Soit  $X = 241,7 \text{ mm}$     $D_h = 47,5 \text{ mm}$

#### Question 4D



#### Question 4E

- Tracé de la courbe de raideur : c'est une droite ; elle est obtenue par les deux points correspondants aux conditions vues à la question 4C :  
 Point 1 : Distance EF  $L_1 = 380 \text{ mm}$     $F_1 = 1365 \text{ N}$   
 Point 2 : Distance EF  $L_2 = 323 \text{ mm}$     $F_2 = 3029 \text{ N}$   
  
 La longueur du ressort au point 1 est celle calculée à la question précédente soit  $L = 238,1 \text{ mm}$
- Utilisation de la courbe de raideur du ressort oléopneumatique :  
 On conserve le poids à vide  $F_1 = 1365 \text{ N}$ . L'intersection avec la courbe moyenne de raideur du ressort se situe à 3 mm de la position à vide avec le ressort classique.  
 La distance EF est alors égale à  $380 - 3 = 377 \text{ mm}$   
 Donc la suspension est légèrement plus « écrasée » à vide qu'avec le premier ressort.  
  
 Même raisonnement pour le point 2 (véhicule en charge)  
 La distance EF est égale à  $350 - 22 = 328 \text{ mm}$   
 Donc la suspension est moins « écrasée » en charge qu'avec le premier ressort.
- A vide la garde au sol sera légèrement inférieure à 180 mm  
 Par contre en charge elle sera supérieure à 80 mm  
 Donc la condition C1 est validée avec cette suspension.

## 5. GESTION DES INFORMATIONS ET DES ENERGIES

### Question 5A

- STX = \$02 en code ASCII car le poids le + faible est sur la ligne du haut (7 bits)

Nombre de mesures = 401 = \$191 = \$91 \$ 01

Nombre d'octets :

401 Données = 802 octets

STX ADR L COM NM = 7 octets

Total 809 octets = \$329 = \$29 \$ 03

STX	ADR	L	L	Com	NM	NM	D 0°	D 0°	D 1°	D 1°	D...	CRC	CRC
02	81	29	03	B0	91	01	XX	XX	XX	XX	XX	YY	YY

### Question 5B

- 729 octets = 5832 bits

Débit = 5832 / 200 = 29,16 kb/s. On paramètrera 38,4 kb/s

### Question 5C

- L'arrêt d'urgence manuel ou à distance coupe le contacteur de ligne qui coupe l'alimentation des moteurs. Par contre le PC embarqué reste alimenté ce qui assure la gestion du véhicule tant que la batterie est en bon état.

### Question 5D

- Alimentation nécessaire : 48V 110A  
4 batteries en série de 12V : 4 x 12 = 48 V  
+ 4 batteries en // : double le courant pouvant être fourni
- Bilan des consommations : voir DR05

Nbre	Désignation	Calcul P unitaire maximale	P totale maximale
<b>4</b>	<b>Moteurs de propulsion</b>	<b>900W/09 = 1000W</b>	<b>4000W</b>
<b>2</b>	<b>Vérins</b>	<b>14A x 48V = 672W</b>	<b>1344W</b>
<b>1</b>	<b>PC embarqué</b>	<b>300W</b>	<b>300W</b>
<b>2</b>	<b>Variateur AMC</b>	<b>60W</b>	<b>120W</b>
<b>1</b>	<b>Laser (chauf. + électronique)</b>	<b>5A x 24V + 2,5 x 24V</b>	<b>180W</b>
	<b>Composants divers</b>		<b>50W</b>
		<b>Total</b>	<b>5994W</b>

- $I = 5994 \text{ W} / 48\text{V} = 123,8 \text{ A}$   
Le fusible de 180A est bien choisi pour pouvoir supporter un pic de courant au démarrage.  
La batterie de 110Ah a une autonomie d'un peu moins d'1 heure (0,9 h exactement)  
Ce calcul d'autonomie est fait à puissance maximale en permanence, or la consommation varie suivant les montées et les descentes. Le temps d'utilisation donné correspond donc à une utilisation moyenne.

### Question 5E

Les batteries nickel zinc ont une bonne énergie massique, donc ont un poids inférieur pour la même énergie fournie. Elles peuvent être rechargées 2000 fois, une très bonne sécurité de fonctionnement. Elles peuvent être rechargées même après une décharge profonde, on peut les mettre en // pour augmenter le courant fourni. Leur condition de recyclage est bonne ce qui respecte l'environnement et leur coût est très compétitif.

## DOCUMENT REPONSE DR01 (CORRIGE)

### POSITION HAUTE :

Distance châssis-sol : 180 mm

Effort encaissé par la roue :

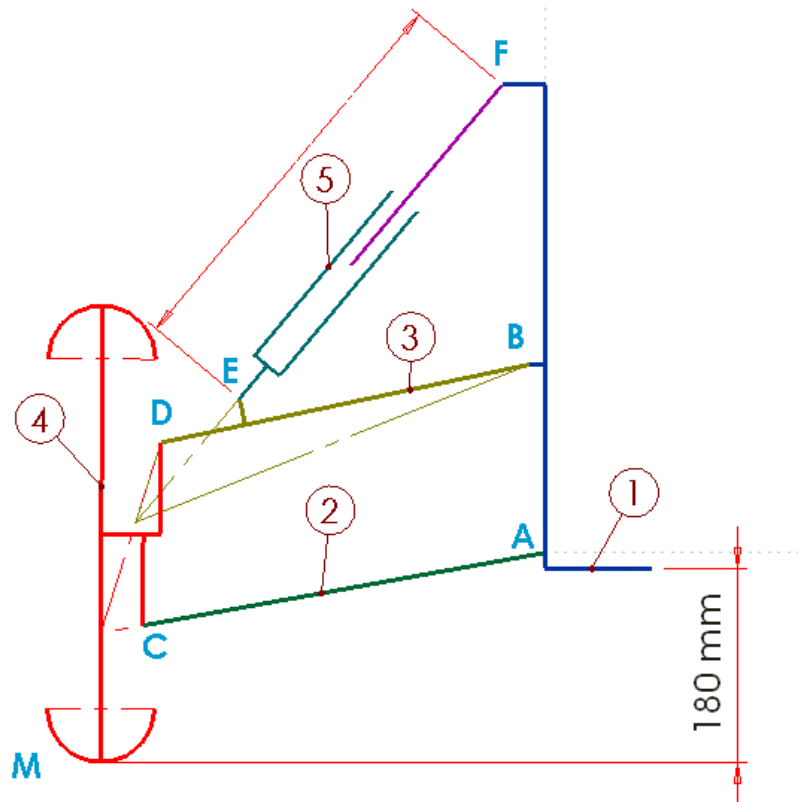
$$F_{M0 \rightarrow 4} = 750,2 \text{ N}$$

Dimension amortisseur entre fixations : EF = 380 mm

*Effort dans la suspension :*

$$F_{F1 \rightarrow 6} = 1365 \text{ N}$$

- 1 : châssis
- 2 : triangle inférieur
- 3 : triangle supérieur
- 4 : roue
- 5 : suspension/amortisseur



### POSITION BASSE :

Distance châssis-sol : 80 mm

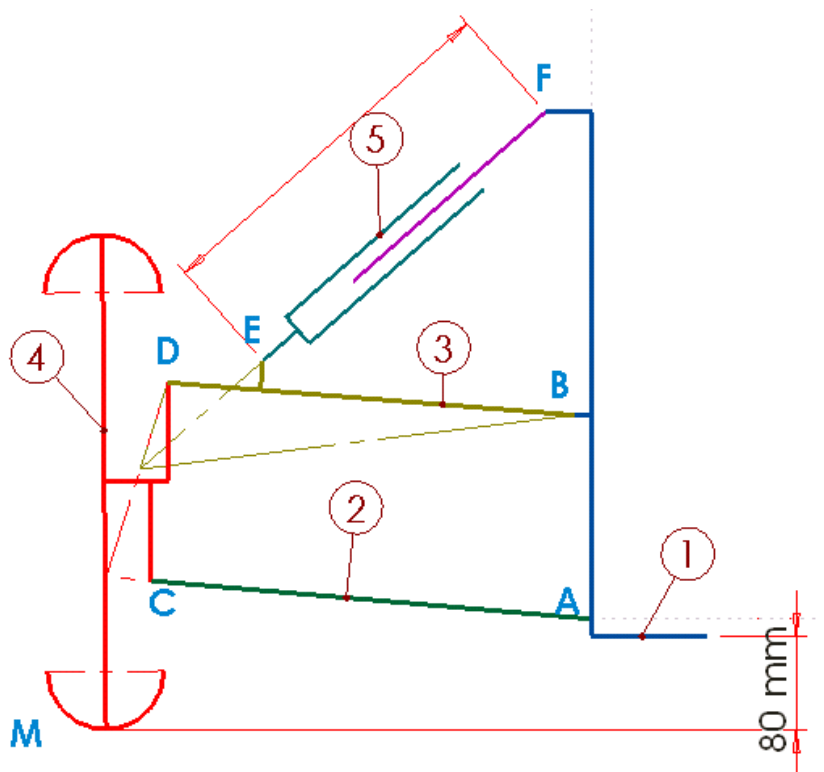
Effort encaissé par la roue :

$$F_{M0 \rightarrow 4} = 1840 \text{ N}$$

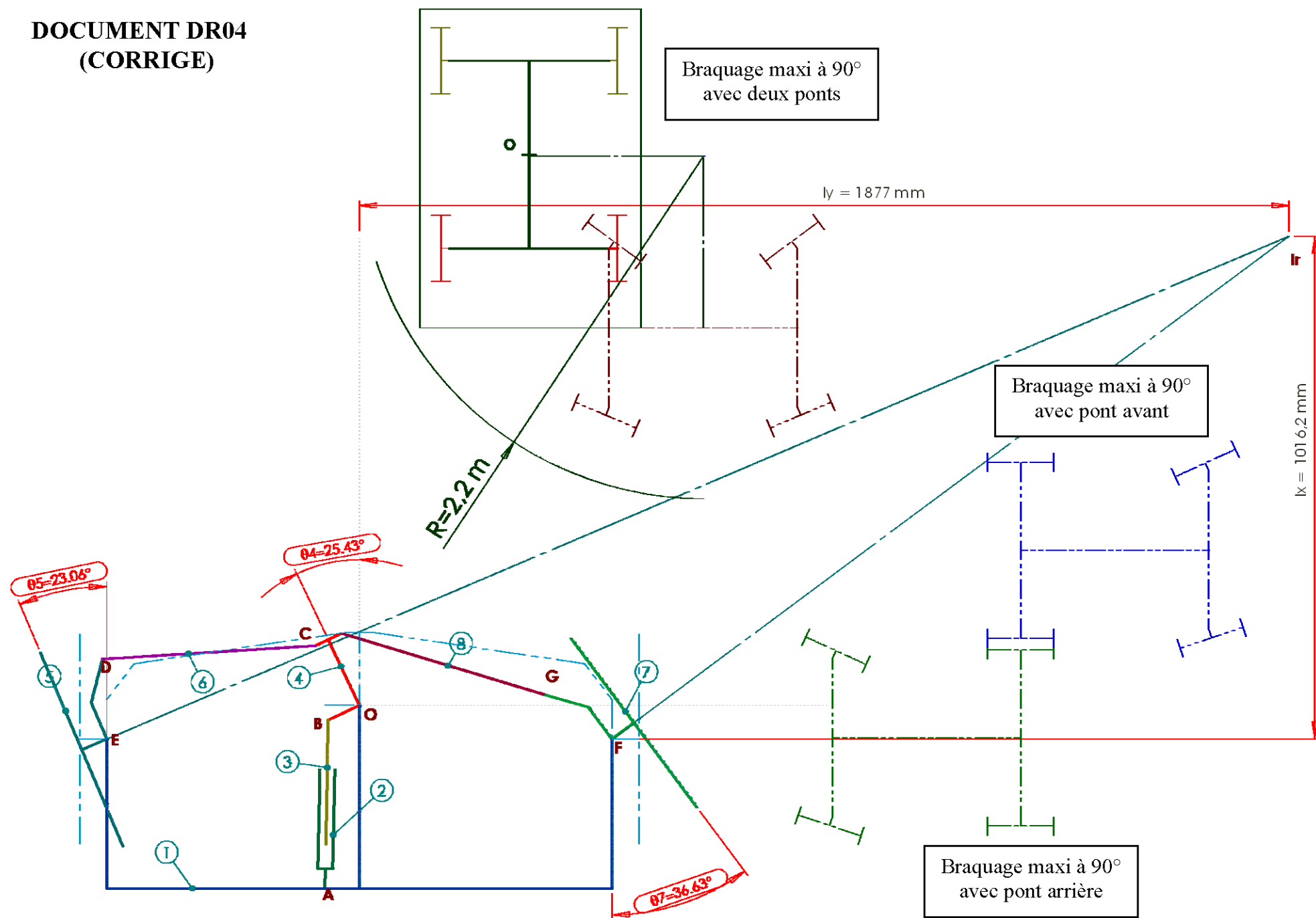
Dimension amortisseur entre fixations : EF = 350 mm

*Effort dans la suspension :*

$$F_{F1 \rightarrow 6} = 3029 \text{ daN}$$



**DOCUMENT DR04  
(CORRIGE)**



ECHELLE 1 : 10



## DOCUMENT DR05

→ Question 1A compléter par des croix

Zones	Ligne droite	Virage	Sas de nettoyage	Usine	Zone de ½ tour
C1			<b>X</b>		
C2	X		<b>X</b>		
C3	X				
C4		X			<b>X</b>
C5					<b>X</b>
C6				<b>X</b>	
C7	X	X	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>

→ Questions 3D et 3E

Type de braquage	2 roues	4 roues	Idéal
C4 :			
Braquage en courbe simple	possible	possible	Approché en 2 roues
Braquage sur bifurcation	possible	Possible	Approché en 2 roues
C5 :			
Demi-tour sur zone d'arrêt	Impossible	Possible	impossible
Demi-tour sur piste	impossible	possible	impossible

→ Question 3J

	V <sub>T</sub>	Roue A	Roue B	Roue C	Roue D
%	100%	89	<b>125</b>	85	115
Vitesse tangentielle au sol	8 Km/h	7,12	<b>10</b>	6,8	9,2
Fréquence de rotation (tr/mn)	-	88,9	<b>124,9</b>	84,9	114,8

→ Question 3N

Direction	Mouvement Tige	DIR IN+	E1 (0/1)	E2 (0/1)	T1 (B/S)	T2 (B/S)	T3 (B/S)	T4 (B/S)	Alimentation Moteur
Droite	Sortie	0	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>S</b>	<b>+48V</b>
Médiane	Aucun	X	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>0V</b>
Gauche	Rentrée	1	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>B</b>	<b>S</b>	<b>S</b>	<b>B</b>	<b>-48V</b>

→ Question 5A

STX	ADR	L	L	Com	NM	NM	D 0°	D 0°	D 1°	D 1°	D...	CRC	CRC
<b>02</b>	<b>81</b>	<b>29</b>	<b>03</b>	<b>B0</b>	<b>91</b>	<b>01</b>	XX	XX	XX	XX	XX	YY	YY

→ Question 5D

Nbre	Désignation	Calcul P unitaire maximale	P totale maximale
4	Moteurs de propulsion	<b>900W /0.9 = 1000W</b>	<b>4000W</b>
<b>2</b>	<b>Vérins</b>	<b>14A x 48V = 672W</b>	<b>1344W</b>
<b>1</b>	<b>PC embarqué</b>	<b>300W</b>	<b>300W</b>
<b>2</b>	<b>Variateur AMC</b>	<b>60W</b>	<b>120W</b>
<b>1</b>	<b>Laser (chauf. + électronique)</b>	<b>5A x 24V + 2.5 x 24V</b>	<b>180W</b>
	Composants électroniques divers (codeurs, calculateur)		50W
		Total	<b>5994W</b>

