

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS
SESSION 2022**

Épreuve E4 – Étude préliminaire de produit
Unité U42 – Conception préliminaire

Coefficient 6 – Durée 6 heures
Aucun document autorisé

Véhicule tout terrain : E-SPIDER

Recommandations

Il est recommandé de parcourir intégralement le sujet et le dossier technique avant de commencer à composer.

Les réponses aux questions sont à rédiger sur des copies indépendantes.

Calculatrices autorisées :

- les calculatrices non programmables sans mémoire alphanumérique ;
- les calculatrices avec mémoire alphanumérique et/ou avec écran graphique qui disposent d'une fonctionnalité « mode examen ».

Le sujet comporte trois dossiers :

- un dossier technique ;
- un dossier travail ;
- un dossier réponse.

Le dossier réponse est à joindre aux feuilles de copie.

BTS CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS SESSION 2022

Épreuve E4 – Étude préliminaire de produit
Unité U42 – Conception préliminaire

DOSSIER TECHNIQUE

Ce dossier comporte 17 pages :

DT1 folios 1 à 4 : présentation du E-SPIDER

DT2 : maquette numérique simplifiée du E-SPIDER

DT3 folios 1 à 3 : analyse fonctionnelle du E-SPIDER

DT4 folios 1 et 2 : direction avant et nomenclature de la direction avant

DT5 : mécanisme de direction

DT6 folios 1 à 3 : étude de la suspension

DT7 : optimisation de la traverse

DT8 folios 1 et 2 : re-conception de la liaison pivot

BTS CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS
SESSION 2022**

Épreuve E4 – Étude préliminaire de produit
Unité U42 – Conception préliminaire

DOSSIER TRAVAIL

Ce dossier comporte 12 pages :

Il est conseillé de consacrer à chacune des parties les durées suivantes :

Lecture des documents techniques	30 min
Partie 1 : page 1/12 Analyse de la structure préliminaire du E-SPIDER	20 min
Partie 2 : page 1 et 2/12 Respect du rayon de braquage	40 min
Partie 3 : page 3/12 Étude d'optimisation du secteur denté de la direction	50 min
Partie 4 : page 4 à 7/12 Vérification de l'autonomie du véhicule	60 min
Partie 5 : page 8/12 Étude comparative de la suspension	50 min
Partie 6 : page 9 et 10/12 Optimisation de la traverse	50 min
Partie 7 : page 11 et 12/12 Re-conception de la liaison pivot entre l'ensemble nacelle et la traverse avant	60 min

BTS CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS
SESSION 2022**

Épreuve E4 – Étude préliminaire de produit
Unité U42 – Conception préliminaire

DOSSIER RÉPONSE

Ce dossier comporte 9 pages :

DR1 : schéma cinématique spatial

DR2 folio 1/2 et 2/2 : respect du rayon de braquage

DR3 folio 1/2 : surfaces fonctionnelles couronne de direction

DR3 folio 2/2 : étude d'optimisation du secteur denté

DR4 : vérification performance de franchissement

DR5 : montage amortisseur

DR6 : optimisation de la traverse

DR7 : re-conception de la liaison pivot

BTS CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS
SESSION 2022**

Épreuve E4 – Étude préliminaire de produit
Unité U42 – Conception préliminaire

DOSSIER CORRIGÉ

ÉLÉMENTS DE CORRIGÉ

BTS CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP

Le E-SPIDER développé par la société SWINCAR est un véhicule tout terrain électrique permettant de se déplacer sur des chemins très escarpés. Ce véhicule pendulaire a pour vocation la pratique de la randonnée motorisée en milieu montagnard pour le grand public et facilement accessible aux personnes à mobilités réduites (PMR).



Fig. 1 : vues du E-SPIDER

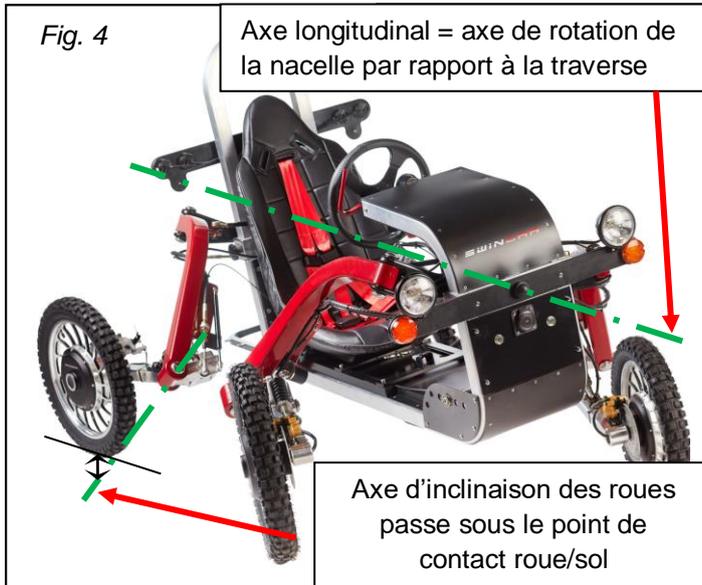


Fig. 2 : E-SPIDER effectuant un virage et en position de dévers



Fig. 3 : franchissement de fossé appelé également franchissement de « pont »

BTS CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS	DOSSIER TECHNIQUE	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP	Page 1/17



Le principe de la pendularité se résume en deux points :

① L'ensemble de la nacelle, sur laquelle le pilote prend place, est articulé autour d'un axe de rotation situé au dessus du centre de gravité. Ainsi, tout naturellement, la nacelle voudra se positionner verticalement à faible vitesse et s'incliner dans les virages pour ne pas faire subir les effets d'inerties au pilote (Fig. 4).

② L'axe d'inclinaison des roues doit passer sous le point de contact entre la

roue et le sol afin de permettre à cette dernière de s'incliner dans le même sens et parallèlement au plan médian de la nacelle (ce parallélisme est légèrement modifié suivant le nivellement du terrain et éventuellement le rayon de braquage en virage). La réaction du sol sur le véhicule est ainsi dirigée vers l'intérieur du véhicule (Fig. 4). Cet effet génère un braquage induit.

Pour corriger ce braquage induit sur l'organe de direction, la commande du volant s'effectue autour de l'axe de rotation longitudinal, rendant ainsi indépendant l'inclinaison du véhicule et le braquage. Le pilote conserve ainsi les sensations de pilotage d'une automobile (Fig. 5).



Axe de commande de la direction = axe longitudinal

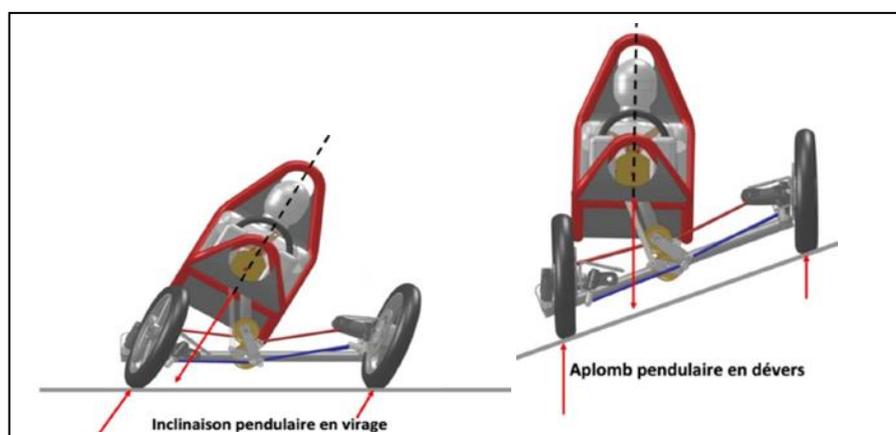


Fig. 6 : exemple de mouvements pendulaires

Le E-SPIDER fonctionne suivant 5 axes (voir Fig. 7) :

- axe longitudinal de la nacelle : axe de la liaison pivot entre la nacelle et les traverses centrales (AV et AR) ;
- axe pivot de direction : axe de la liaison pivot entre les traverses et les jambes cintrées ;
- axe pivot inclinaison de roue : axe entre la jambe cintrée et l'organe de suspension ;
- axe de suspension (ici un ROSTA) : axe entre le composant de suspension et le bras de roue ;
- axe de roue : axe de rotation de la roue par rapport au bras de roue.

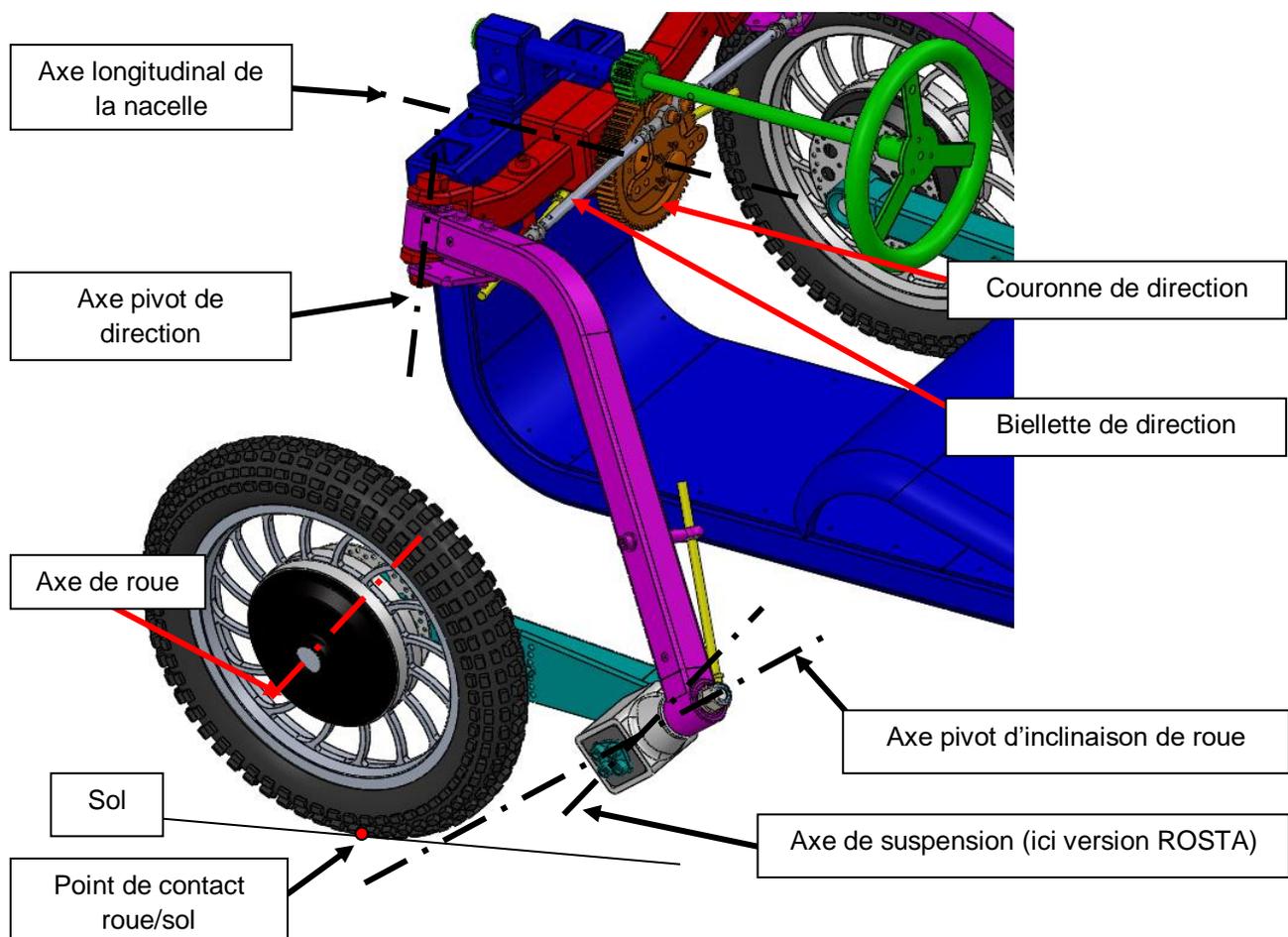


Fig. 7 : axes principaux du E-SPIDER

Le véhicule est mis en mouvement par des moteurs brushless qui sont des **moteurs-roues** en fonderie d'aluminium dont les rayons constituent les ailettes de refroidissement. En version 4 roues motrices, une puissance nominale de 1kW par moteur est délivrée pour un couple maxi de 80 N.m (par moteur).

Les contrôleurs électroniques de puissance permettent notamment la gestion :

- de l'inversion de sens (marche arrière) ;
- du frein moteur et la récupération d'énergie en descente ;
- du paramétrage de la vitesse et du couple.

Les batteries utilisées sont en LiFePo4 (accumulateur lithium fer phosphate) et sont intégrées dans le châssis de la nacelle (sous l'assise). Elles délivrent une tension de 48 V et ont une capacité d'environ 80 Ah permettant de délivrer les 4 kWh nécessaires au fonctionnement du véhicule. Elles sont rechargeables en 2h. Leur autonomie permet de réaliser un parcours en montagne de 3h30min avec un dénivelé de 1000 m positif (montée) sur un parcours de 50 km.

Fig. 8 : repérage des principaux composants du E-SPIDER

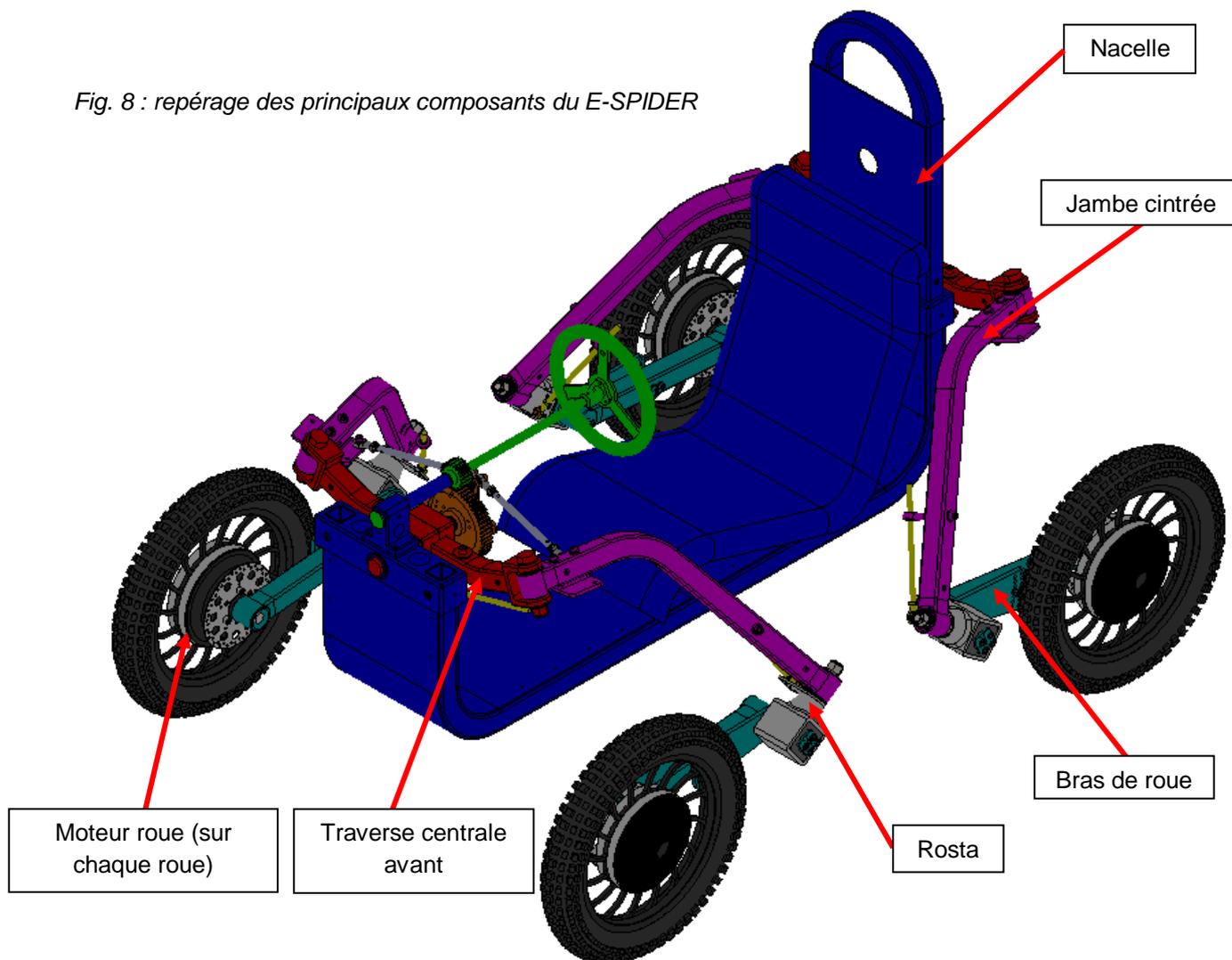
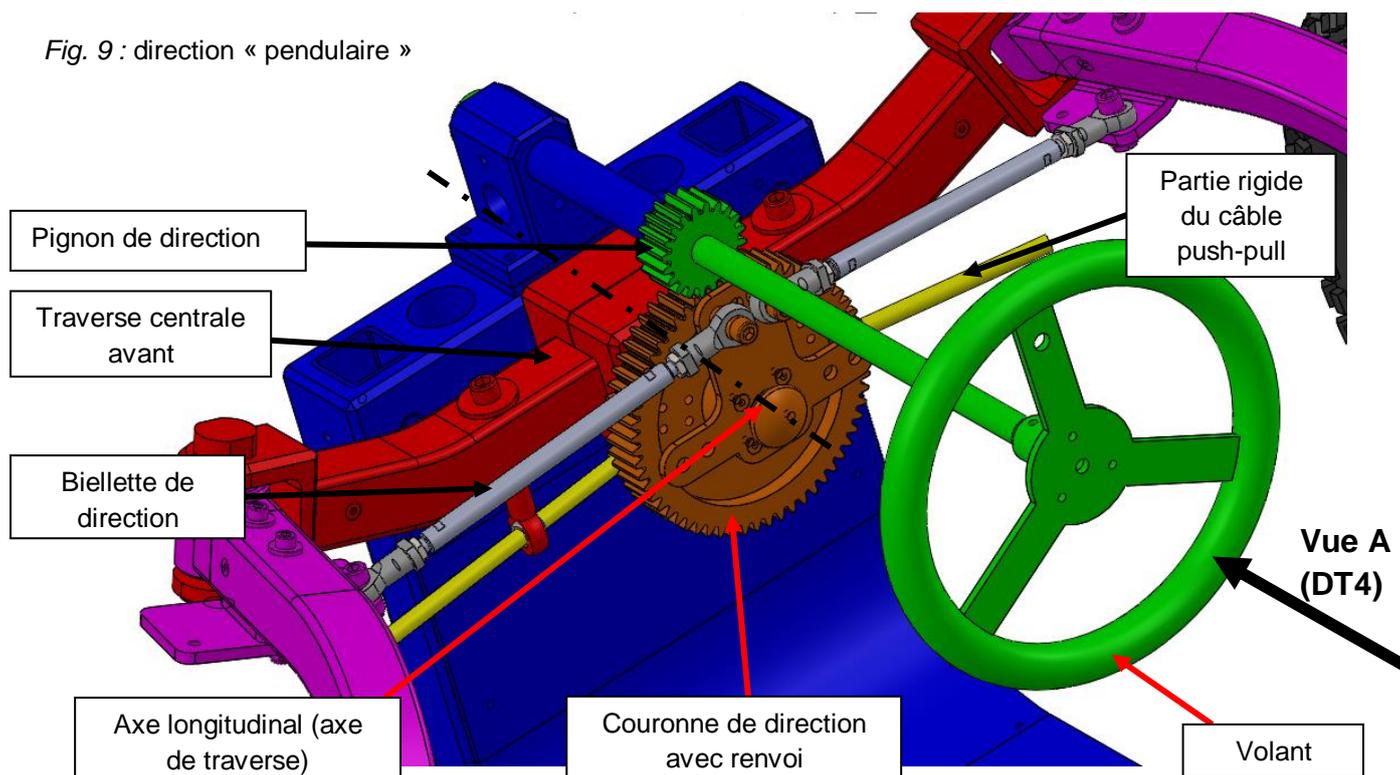
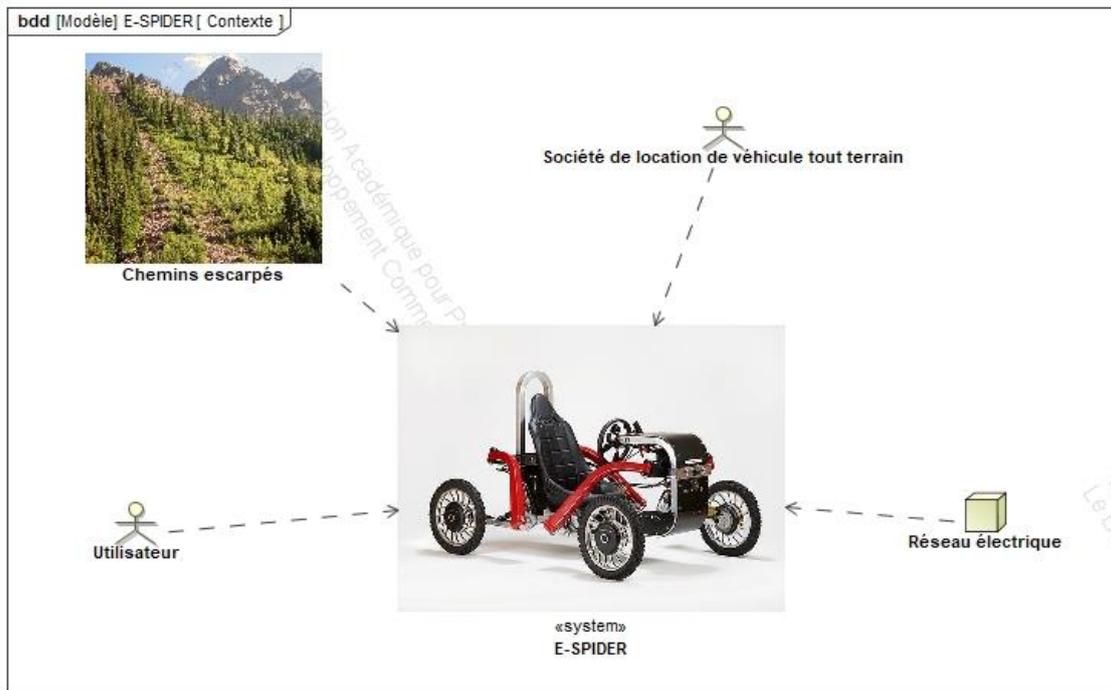


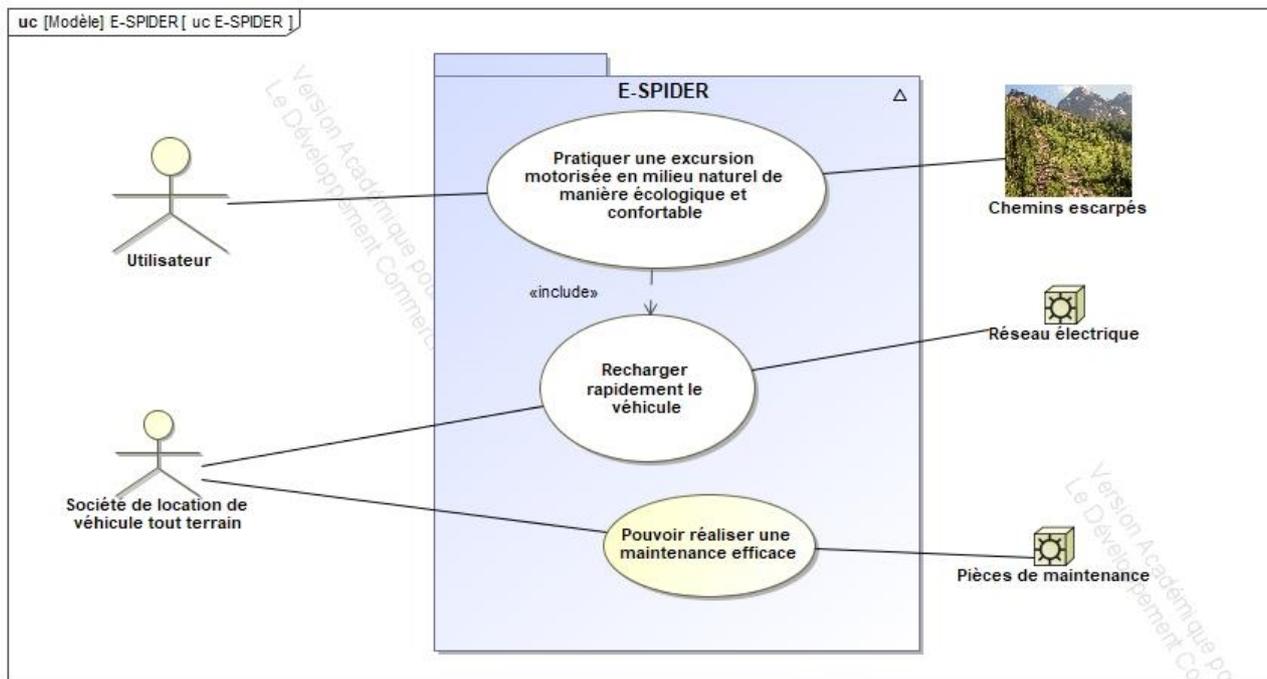
Fig. 9 : direction « pendulaire »



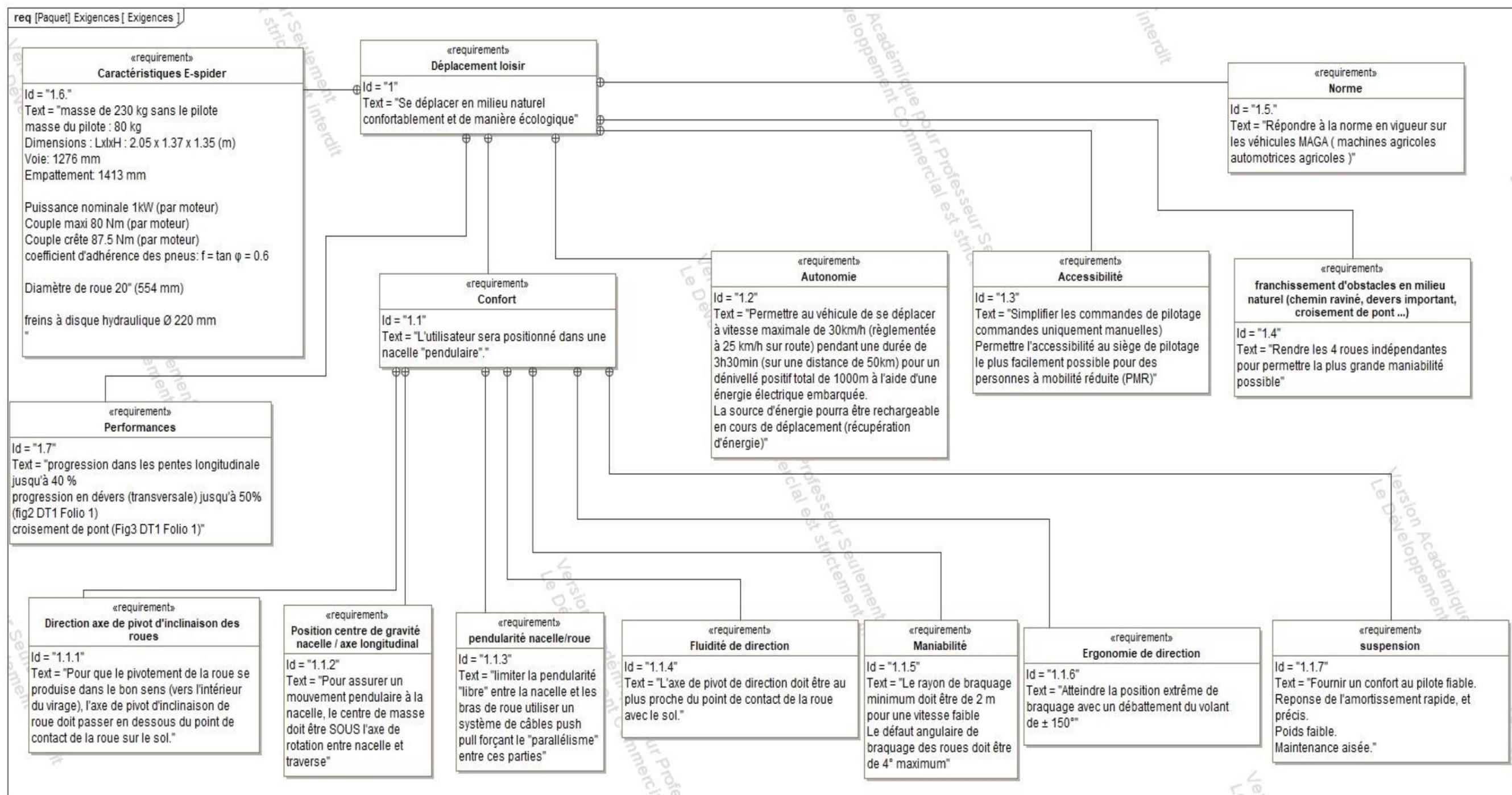
1. Diagramme de contexte



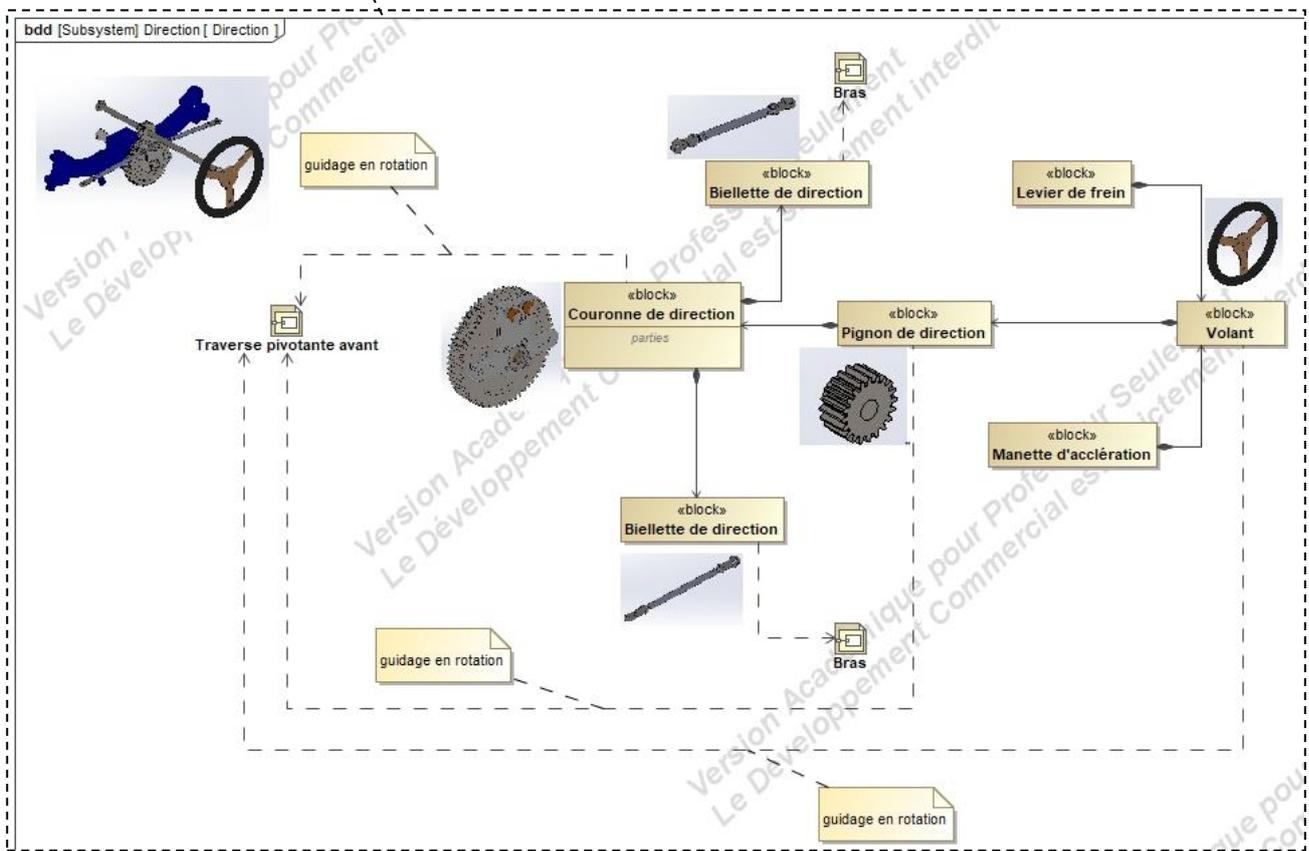
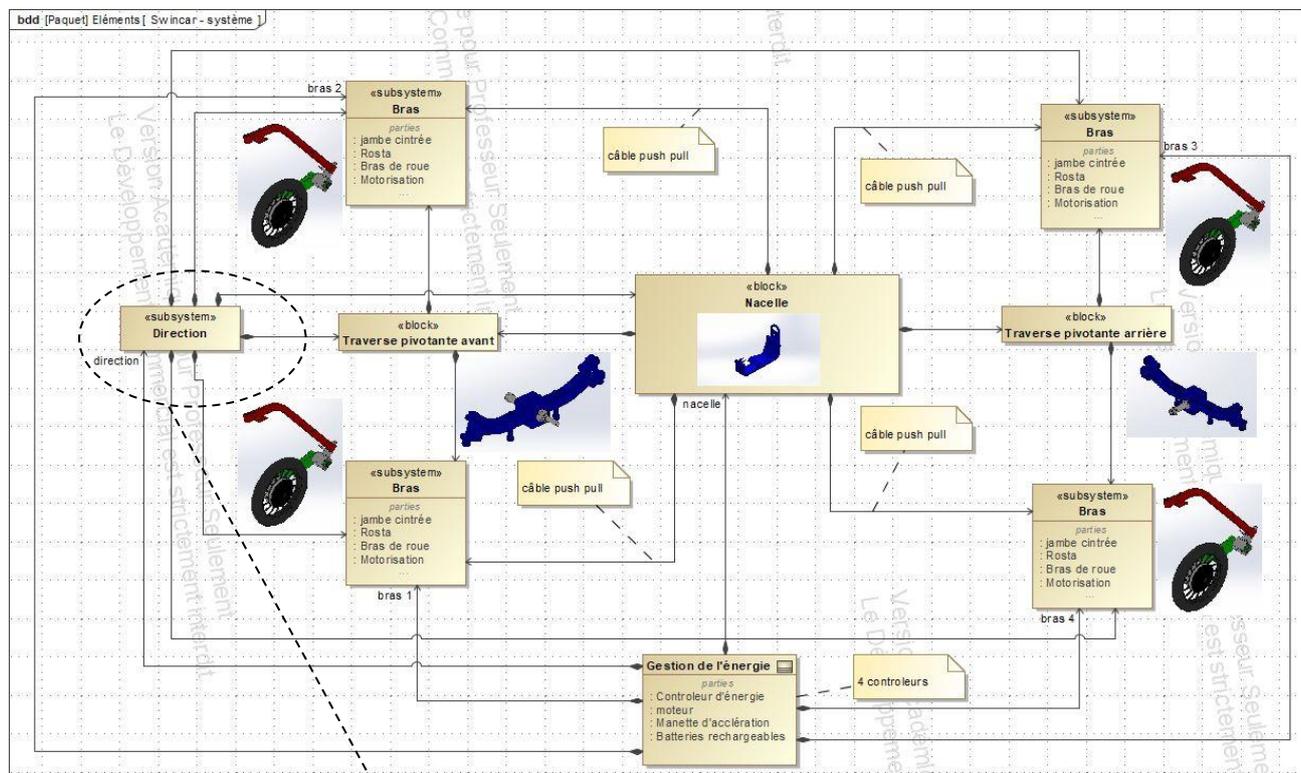
2. Diagramme de cas d'utilisation



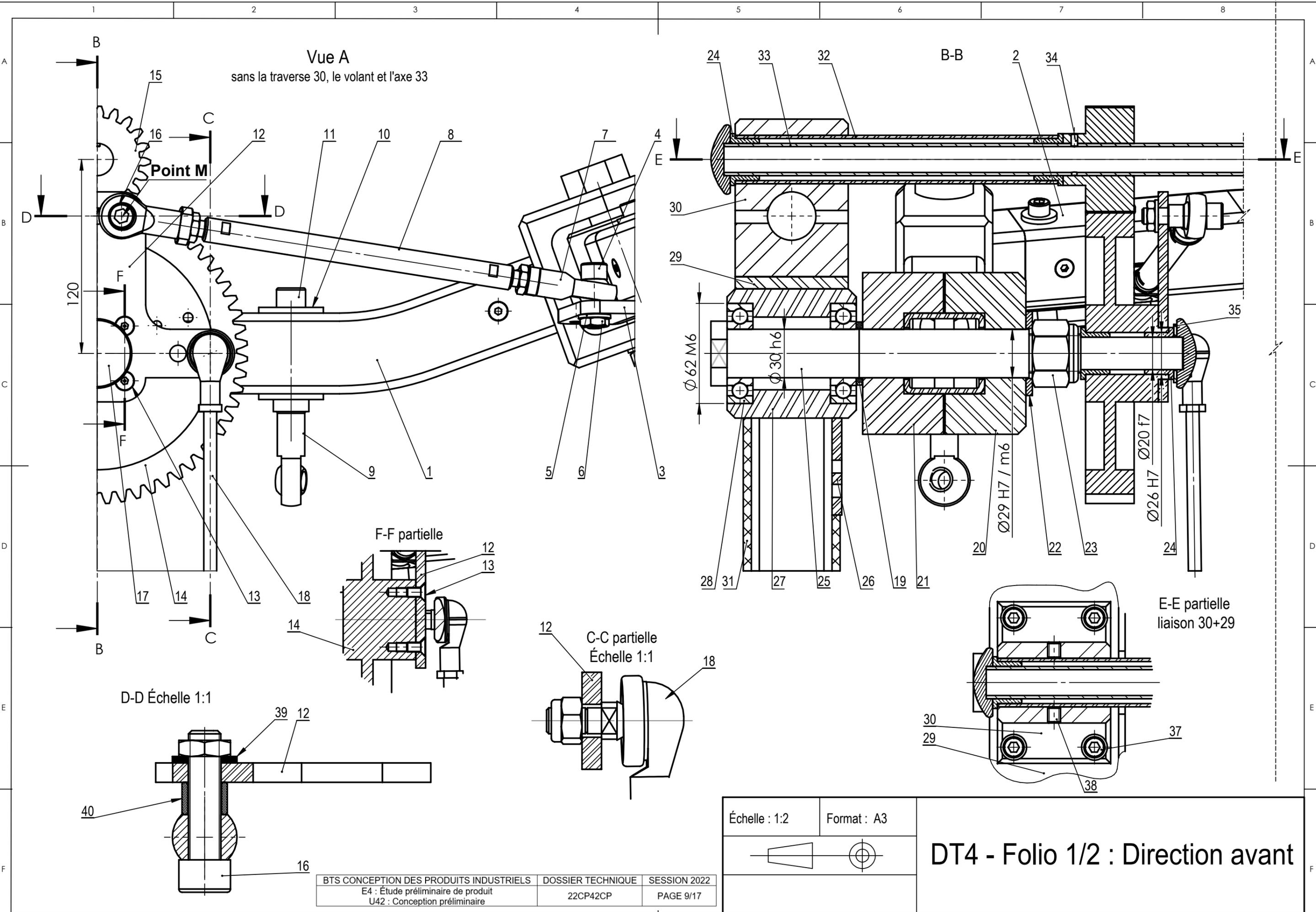
3. Diagramme des exigences



4. Diagramme de définition des blocs



Vue A
sans la traverse 30, le volant et l'axe 33



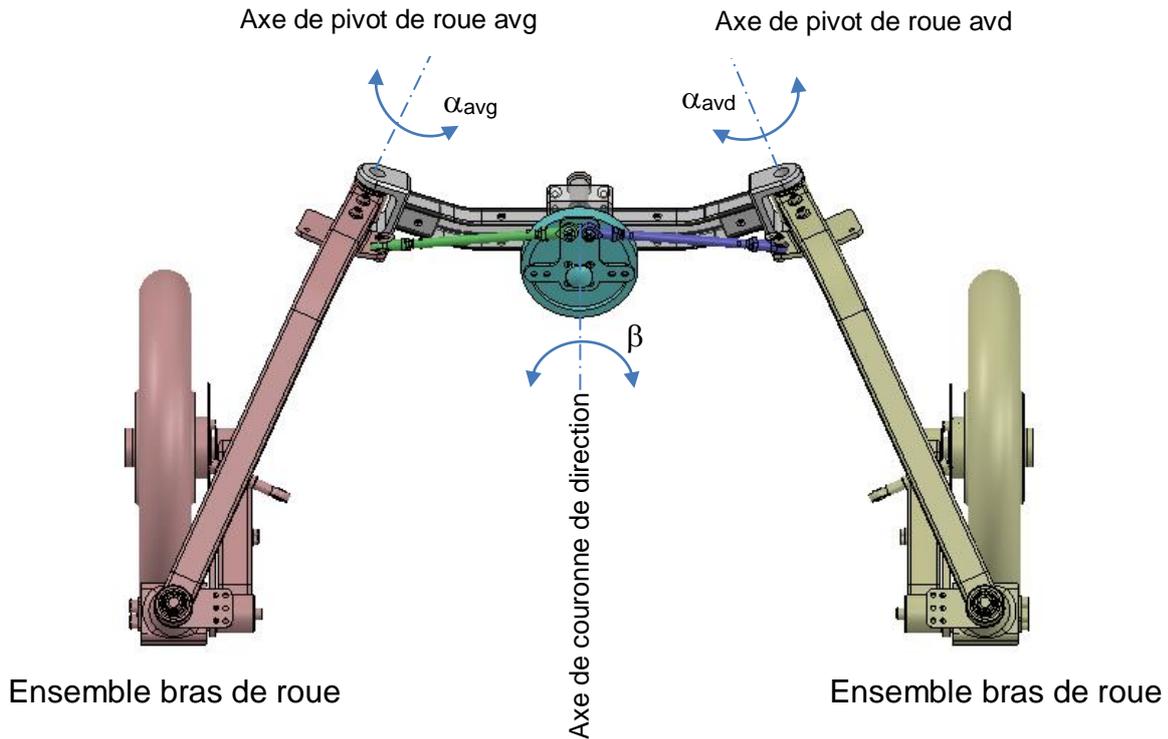
Échelle : 1:2	Format : A3

DT4 - Folio 1/2 : Direction avant

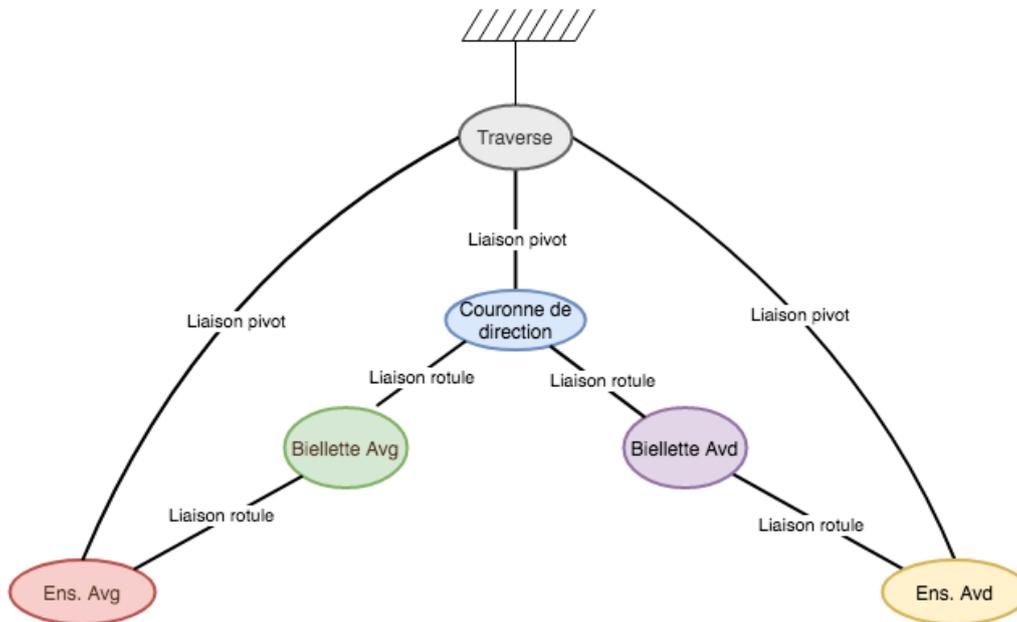
BTS CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS	DOSSIER TECHNIQUE	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit	22CP42CP	PAGE 9/17
U42 : Conception préliminaire		

Rep.	Nb.	Désignation	Matériau	Observations
1	1	Traverse centrale avant	EN AW 2024	
2	4	Jambe cintrée	EN AW 1050	
3	4	Plaque coudée ancrage biellette	EN AW 1050	
4	4	Vis CHC M10 - 30		
5	6	Rondelle plate Z - M10		
6	10	Écrou HM - M10		
7	4	Embout rotulé		Unibal
8	2	Biellette de direction		
9	2	Rotule femelle 12 mm pour câble push-pull		
10	4	Rondelle plate LLE - 12x40		
11	2	Vis CHC M12 - 80		
12	1	Plaque couronne de direction	EN AW 1050	
13	4	Vis FHC M6 - 12		
14	1	Couronne de direction $Z_c = \dots$ dents	15 Cr Ni 6	m = 3 mm
15	1	Pignon de direction $Z_p = 20$ dents	15 Cr Ni 6	m = 3 mm
16	2	Vis CHC M10 - 40		
17	2	Calotte d'arrêt		Starlock
18	2	Push pull de direction		
19	1	Rondelle usinée 30x39x4	S235	
20	1	Demi bride A de traverse	EN AW 1050	
21	1	Demi bride B de traverse	EN AW 1050	
22	1	Rondelle plate Z - 30		
23	1	Écrou hexagonal autofreiné - M24		
24	4	Coussinet autolubrifié 20 - 26		
25	1	Axe de traverse	S235	
26	1	Traverse ancrage Push-pull	EN AW 1050	
27	1	Traverse nacelle usinée	EN AW 1050	
28	2	Roulement radial à une rangée de billes 30x62x16		
29	1	Plaque sous palier de direction	EN AW 1050	
30	1	Palier de direction	EN AW 1050	
31	2	Demi plancher	PE HD	
32	1	Tube palier de direction	EN AW 1050	Serré dans 30
33	1	Arbre de direction	S235	
34	1	Vis sans tête bout plat M4 - 6		
35	1	Rondelle plate S - 20		
36	4	Rondelle plate ZE M8		
37	4	Vis CHC M8 - 45		
38	2	Vis sans tête bout plat M8 - 10		
39	2	Rondelle plate Z - 10		
40	2	Entretoise	X2CrNiMo17-12	

Architecture du mécanisme de direction avant, vue depuis le siège du pilote :



Graphe des liaisons du mécanisme de direction avant :



Calcul du degré d'hyperstaticité du mécanisme :

$$h = N_s - 6 (p - 1) + m_u + m_i$$

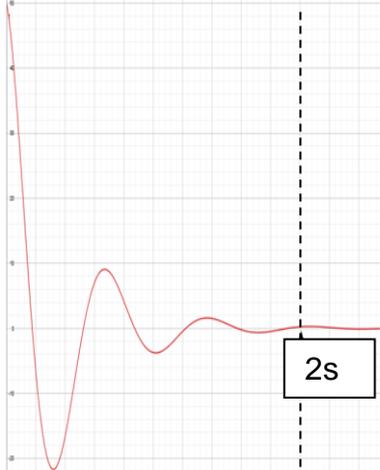
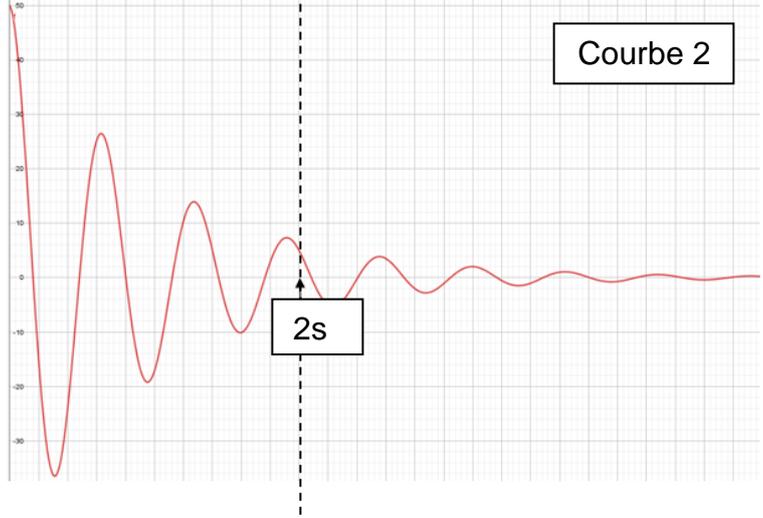
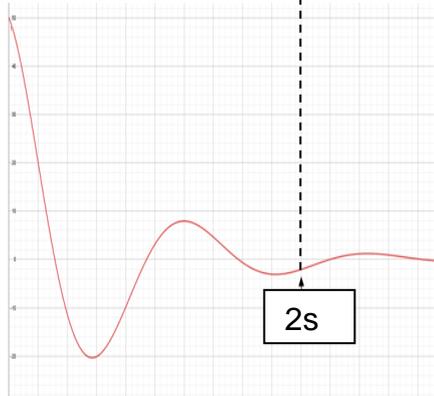
avec : h : degré d'hyperstaticité ;

N_s : nombre d'inconnues statiques ;

p : nombre de pièces du mécanisme bâti (Traverse) compris ;

m_u : nombre de mobilités utiles du mécanisme ;

m_i : nombre de mobilités internes du mécanisme.

Critères	Poids	Coût	Choc	Maintenance et réglage	Mise en œuvre	Performances d'amortissement (amplitude / temps de réponse)
<p>ROSTA (système actuel)</p> 	1,83 kg	-	+++	--	++	<p style="text-align: right;">Courbe 1</p> 
<p>Lame en carbone</p> 	200 g (pièces de liaisons comprises)	--	---	+	++	<p style="text-align: right;">Courbe 2</p> 
<p>Amortisseur de VTT</p> 	300g (chapes comprises)	++	++	++	++	<p style="text-align: right;">Courbe 3</p> 

--- : très mauvais

+++ : très bon

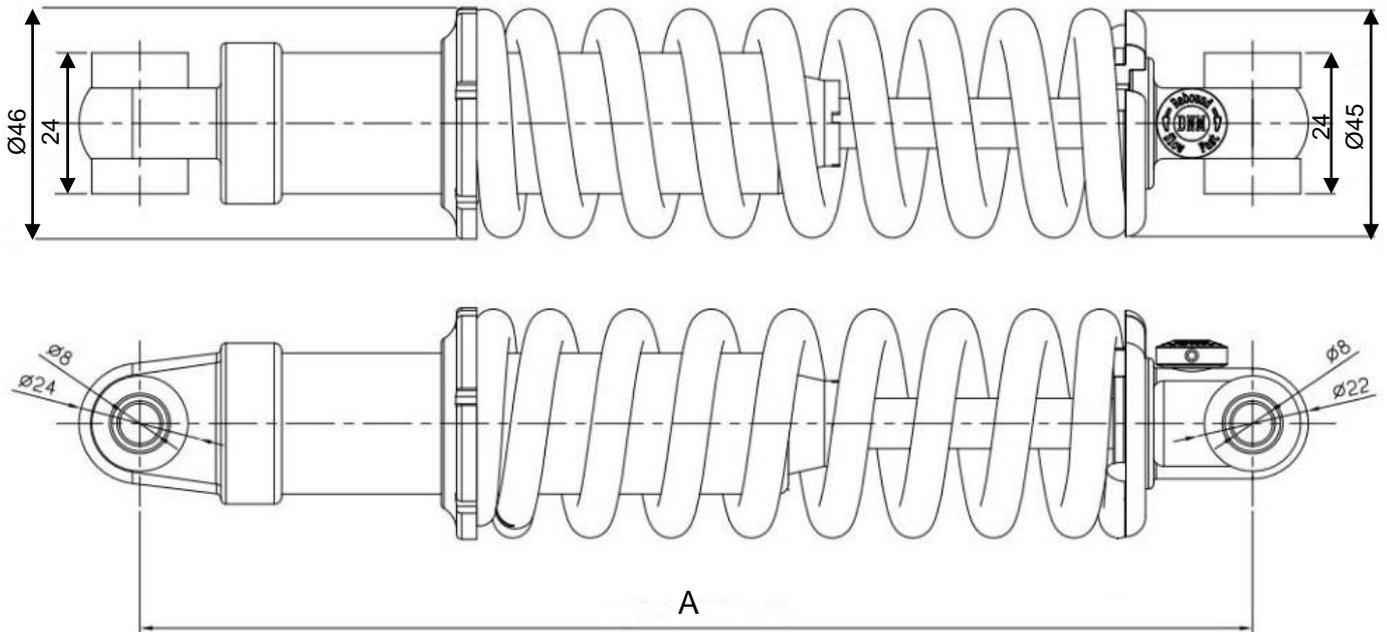
Amortisseur DT DNM

DV-22AR



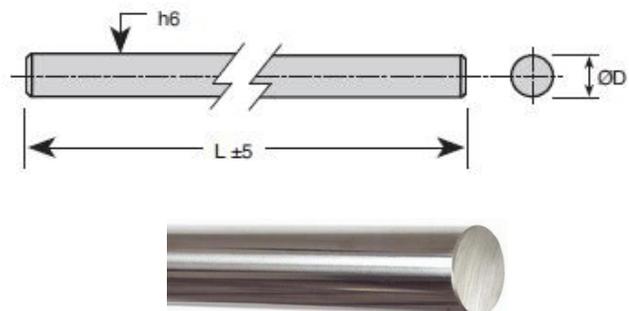
Weight	0,22 KG (0,49 lb), 190 mm (7,48 inch)
Adjustments	Rebound / Preload
Damper shaft	Hard chromed shock Ø 10 mm (0,39 inch) shaft, Dark hard-anodized AL-6061 "in one piece" shock body.
Riding style	XC / AM / Electric wheelchair
Color	Black

A (± 2mm)	B (± 2mm) - Course
165	35
190	50
200	55



Axe Rectifié

Réf.	Ø D nominal (h6)	Longueur (mm)
Z-5-1000 A	5	1000
Z-6-1000 A	6	1000
Z-8-1000 A	8	1000
Z-10-1000 A	10	1000
Z-12-1000 A	12	1000
Z-14-1000 A	14	1000
Z-15-1000 A	15	1000
Z-16-1000 A	16	1000
Z-18-1000 A	18	1000
Z-20-1000 A	20	1000

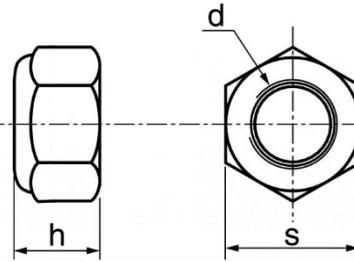
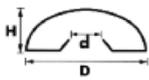


CALOTTES AUTOBLOQUANTES

ÉCROU H freiné avec bague nylon

Applications :

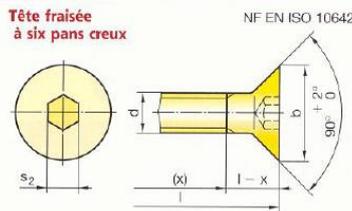
- fixation indémontable de roues sur axes ;
- s'adapte sur des axes bruts non usinés et en protège l'extrémité.



d (mm)	D (mm)	H (mm)
4	12	4
5	12	4
6	16	5
7	16	5,8
8	16	5,8
10	20	6
12	22	7
14	22	8
16	30	9
17	30	9
20	38	12
25	43	13

ø d nominal	h _{max} (mm)	s (mm)
M2,5	4,3	5
M3	4,5	5,5
M4	5,7	7
M5	6,3	8
M6	8	10
M8	10,8	13
M10	12,4	16
M12	14,2	18
M16	18,8	24
M20	22,7	30

Vis FHC

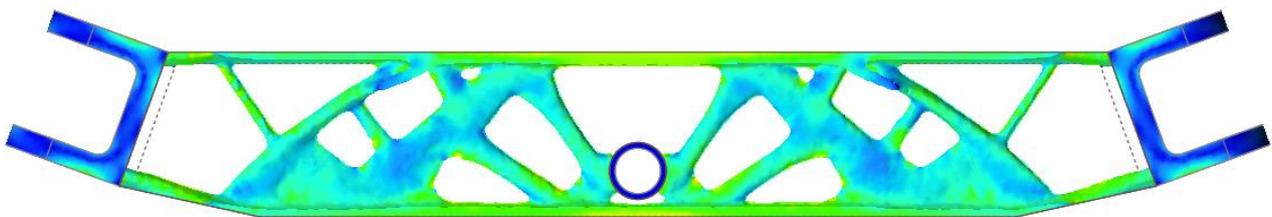
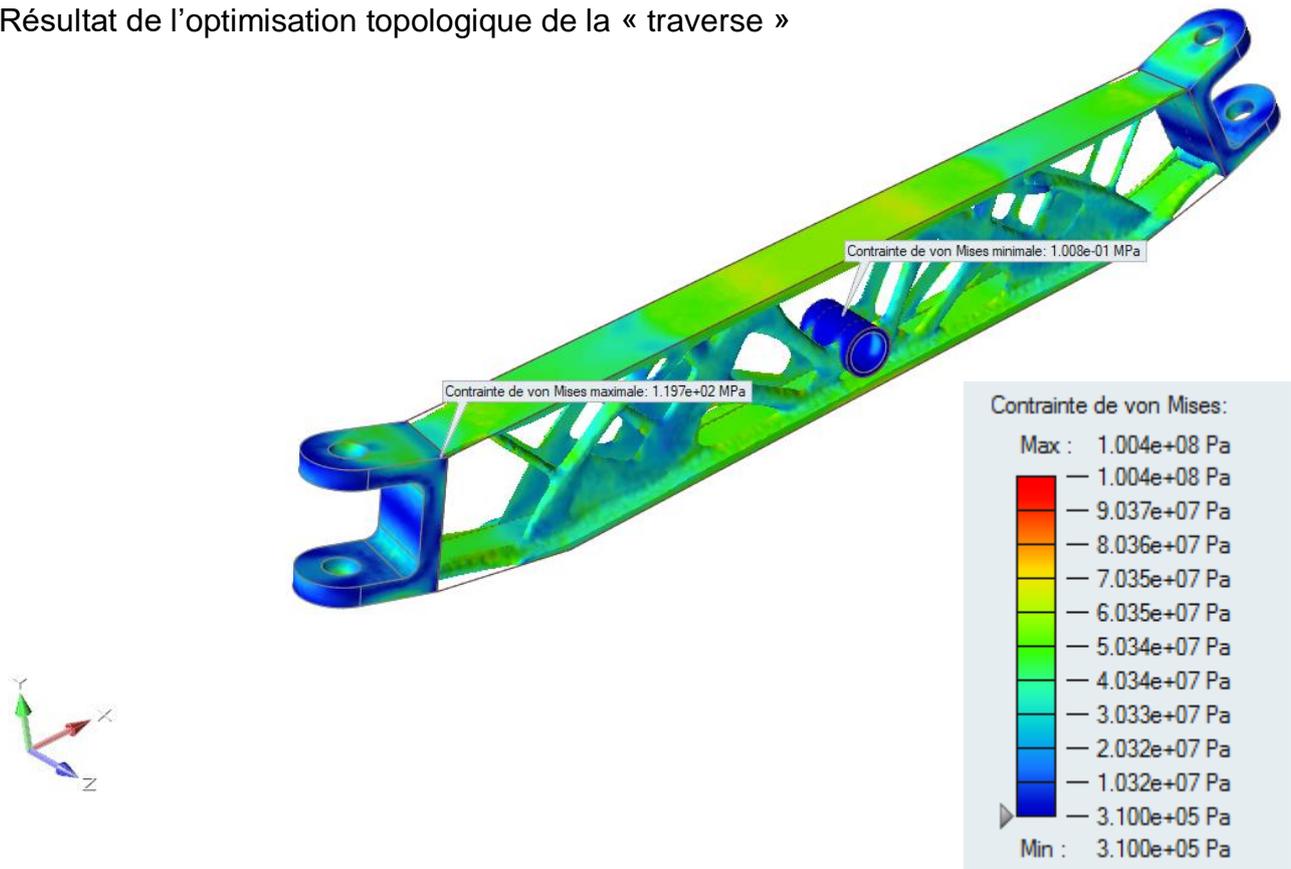


	d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
	b	6	8	10	12	16	20	24	30	36
	s ₂	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12
Longueurs l* et longueurs filetées x**	6									
	8									
	10									
	12									
	14									
	16									
	18									
	20									
	25	18								
	30	18	20	22						
35		20	22	24						
40		20	22	24	28					

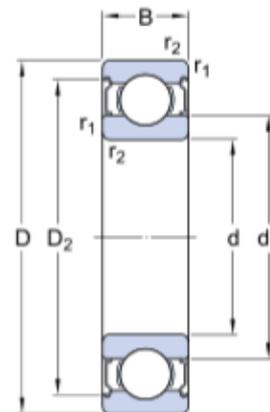
*: toutes les valeurs de l dans la zone grisée correspondent à des tiges entièrement filetées.

** : les valeurs numériques indiquent les longueurs filetées x des vis partiellement filetées.

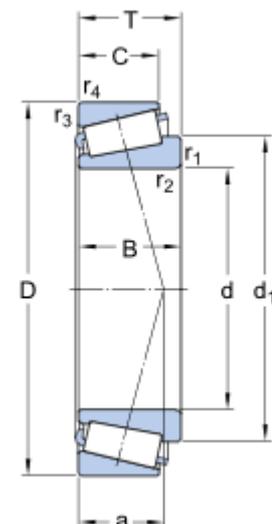
Résultat de l'optimisation topologique de la « traverse »



Vue de face de la traverse optimisée

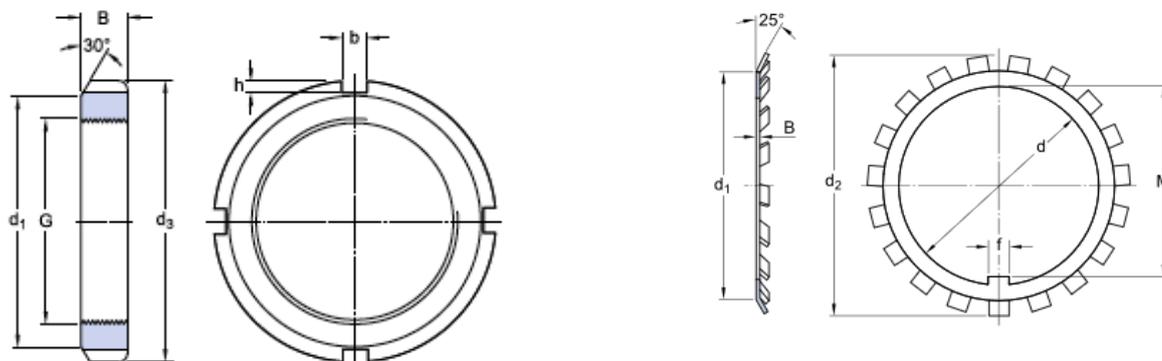
Caratéristiques du roulement actuel (une rangée de billes)

Dimensions principales			Charges de base		Limite de fatigue	Vitesses de base		Désignation
			Dynamique	Statique		Vitesse de référence	Vitesse limite	
d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [kN]	C ₀ [kN]	P _u [kN]	[tr.min ⁻¹]	[tr.min ⁻¹]	
30	62	16	20,3	11,2	0,475	24 000	12 000	6206-2Z

Caratéristiques du nouveau roulement (rouleaux coniques)

Dimensions principales			Charges de base		Limite de fatigue	Vitesses de base		Désignation
			Dynamique	Statique		Vitesse de référence	Vitesse limite	
d [mm]	D [mm]	T [mm]	C [kN]	C ₀ [kN]	P _u [kN]	[tr.min ⁻¹]	[tr.min ⁻¹]	
30	55	17	35,8	44	4,55	9 000	12 000	32006 X/Q
30	62	17,25	40,2	44	4,8	8 500	11 000	30206 J2/Q
30	62	21,25	50,1	57	6,3	8 500	11 000	32206 J2/Q
30	62	25	64,4	76,5	8,5	7 500	11 000	33206/Q

Caractéristiques de l'écrou de serrage avec rondelle frein

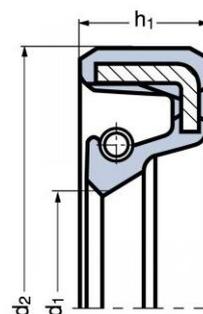


Dimensions écrous						Capacité de charge axiale (statique)	Masse	Désignation	Rondelle frein
G	d ₁	d ₃	B	b	h				
[mm]						[kN]	[kg]		
M 25x1,5	32	38	7	5	2	31,5	0,028	KM 5	MB 5
M 30x1,5	38	45	7	5	2	36,5	0,039	KM 6	MB 6
M 35x1,5	44	52	8	5	2	50	0,059	KM 7	MB 7

Dimensions rondelles frein						Masse	Désignation
d	d ₁	d ₂	B	f	M		
[mm]						[kg]	
25	32	42	1,25	5	23	0,006	MB 5
30	38	49	1,25	5	27,5	0,008	MB 6
35	44	57	1,25	5	32,5	0,011	MB 7

Caractéristiques du joint d'étanchéité

Dimensions			Désignation
d ₁	d ₂	h ₁	
[mm]			
30	40	7	E1-30x40x7 BA
30	42	7	E1-30x42x7 BA
30	47	7	E1-30x47x7 BA
30	60	10	E1-30x60x10 BA
35	58	10	E1-35x58x10 BA



Partie 1 : analyse de la structure préliminaire du E-SPIDER

Objectif : identifier les contraintes qui impactent la conception préliminaire du E-SPIDER du point de vue de la stabilité du véhicule.

Il s'agit dans cette partie de vérifier la conformité aux exigences de fluidité de direction, de la direction axe de pivot d'inclinaison des roues et du principe de pendularité.

Le document DR1 précise l'architecture du véhicule E-SPIDER en phase de conception préliminaire. Le schéma cinématique du DR1 est proche de la géométrie réelle.

Question 1	Compléter le document DR1, sur les figures 1 et 2, en indiquant les noms des principaux sous-ensembles constituant le E-SPIDER.
DT1, DT2 DR1	

Question 2	Compléter le document DR1 en traçant sur la figure 3, les 2 axes de pivot de direction. En prolongeant ces axes jusqu'au niveau du sol, vérifier la conformité à l'exigence de « fluidité de direction ». Conclure.
DT1, DT3 DR1	

Question 3	Compléter le document DR1 en traçant sur la figure 4, l'axe pivot d'inclinaison de roue. En prolongeant cet axe jusqu'au-dessous du niveau du sol vérifier la conformité à l'exigence de « direction axe de pivot d'inclinaison des roues ». Conclure.
DT1, DT3 DR1	

Question 4	À partir de la position du centre de masse de la nacelle indiquée sur la figure 4 du DR1, préciser si le principe de pendularité est respecté ? Préciser l'exigence correspondante.
DT1, DT3 DR1	

Partie 2 : respect du rayon de braquage

Objectif : adapter l'amplitude des mouvements de commande de direction pour assurer un rayon de braquage avec un objectif de 3 m en conditions de circulation.

Il s'agit ici de déterminer l'amplitude de rotation de l'ensemble couronne de direction (14) + (12) par rapport à l'axe de la traverse avant (25) noté β .

Question 5	Indiquer sur le DR2 – folio 1/2 les dimensions de la Voie (V) et de l'Empattement (E) de l'E-SPIDER schématisé en configuration de virage.
DT3 DR2 - folio 1/2	

Question 6	Exprimer , à partir d'une étude géométrique sur le DR2 – folio 1/2, les angles α_{avg} et α_{avd} formés respectivement par le plan de symétrie vertical de la roue avant gauche et de la roue avant droite avec la direction longitudinale du véhicule en fonction de V, E et R le rayon de courbure.
DT5 DR2 - folio 1/2	

BTS CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS	DOSSIER TRAVAIL	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP	PAGE 1/12

Question 7	Calculer les valeurs de α_{avg} et α_{avd} en degrés.
DT5 DR2 - folio 1/2	Si vous n'êtes pas parvenu à exprimer puis calculer ces angles, mesurer ces angles sur le DR2 – folio 1/2.

Le mécanisme de direction est présenté sur le DT5.

Déterminons maintenant l'angle de rotation nécessaire entre la couronne de direction (14) + (12) et la traverse avant (25) qui permet d'obtenir les angles de braquage α_{avg} et α_{avd} évalués ci-dessus. On indique que le degré de mobilité utile du mécanisme est $m_u = 1$ et le degré de mobilité interne est $m_i = 2$.

Question 8	Indiquer quels sont les deux degrés de mobilité interne du mécanisme de direction.
DT4, DT5 Feuille de copie	

Question 9	Calculer le degré d'hyperstaticité du mécanisme de direction.
DT4, DT5 Feuille de copie	Conclure.

Pour déterminer l'angle β de rotation entre la couronne de direction (14) + (12) et la traverse (25) une simulation a été réalisée avec un logiciel de mécanique.

Le résultat de cette analyse est présenté sur la courbe du DR2 - folio 2/2.

Question 10	Déterminer par un tracé sur le graphique du DR2 - folio 2/2 l'angle β de la couronne correspondant à la valeur de α_{avg} calculée ou mesurée question 7.
DT4, DT2 DR2 - folio 2/2 Feuille de copie	

Question 11	Toujours sur le graphique du DR2 - folio 2/2, en déduire par un tracé, la valeur de α_{avd} pour cette configuration.
DT4, DT2 DR2 - folio 2/2 Feuille de copie	Si l'on accepte un écart de 10% par rapport à la valeur calculée question 7, préciser si la valeur de α_{avd} est conforme ? Conclure sur la conséquence de cet écart sur les conditions de contact des roues sur le sol ?

Afin d'assurer le faible rayon de braquage, le concepteur a prévu de recourir à une architecture à 4 roues directrices.

Question 12	Représenter en vert sur le DR2 – folio 1/2 l'orientation des roues Ard et Arg du train arrière de l'E-SPIDER (en s'appuyant sur l'exemple des roues avant).
DT4, DT2 DR2 - folio 1/2	Quelle remarque peut-on formuler sur le sens de braquage des roues arrière par rapport aux roues avant ? Préciser ce que représente le point « I », centre de la courbure pour le mouvement du châssis du E-SPIDER par rapport à la chaussée ?

Partie 3 : étude d'optimisation du secteur denté de la direction

Objectif : reconcevoir la couronne de direction afin d'optimiser la masse de ce composant ainsi que sa géométrie, pour une fabrication en moyenne série obtenue par fonderie et usinage.

Au-delà des angles de braquage en condition de circulation, les manœuvres du véhicule à très basse vitesse exigent des angles de braquage supérieurs à ceux déterminés en partie 2. L'exigence, liée à l'ergonomie de braquage des roues directrices, permet un débattement du volant de $\pm 150^\circ$ pour atteindre des positions de braquage limites à gauche et à droite. Pour respecter l'angle de braquage des roues, la couronne de direction 14 doit avoir un débattement $\beta = \pm 50^\circ$ lors des manœuvres à basse vitesse.

Question 13	Le pignon 15 ayant 20 dents, déterminer le nombre de dents que doit avoir la couronne.
DT4	
DR3 – folio 2/2	

Rappel : $D_p = m \times Z$ avec D_p : diamètre primitif en mm ;
 m : module de la roue dentée en mm ;
 Z : nombre de dents de la roue dentée ;
 $p = \pi \times m$ avec p : pas de la denture en mm.

Question 14	Sachant que le module de la denture est $m = 3$ mm, en déduire le diamètre primitif de la couronne (D_p). Définir l'intérêt d'avoir une couronne entière ?
DT4	
DR3 – folio 2/2	

Afin d'alléger la couronne, la société SWINCAR souhaite créer une couronne avec seulement un secteur denté.

Question 15	Définir le nombre de dents (en valeur entière) du secteur denté que devra comporter cette nouvelle couronne, sachant qu'il est nécessaire d'avoir une « <i>marge de débattement</i> » d'une dent de chaque côté du secteur denté calculé.
DT4	
DR3 – folio 2/2	

Question 16	Identifier en les coloriant et en les nommant, comme indiqué sur l'exemple du DR3 – folio 1/2, les surfaces fonctionnelles utiles de la couronne de direction, considérée dans son ensemble {12+13+14}. Repasser également ces surfaces, quand elles sont visibles, sur le détail de la vue en coupe B-B et C-C issues du DT4 sur ce DR3 – folio 1/2. Repasser (approximativement) en couleur les dents à conserver.
DT4	
DR3 – folio 1/2	

Le bureau d'études a imposé, pour la re-conception de cette couronne de direction, des nouvelles positions pour les liaisons avec les rotules des push-pull de direction et des biellettes de direction comme indiquée sur le DR3 – folio 2/2.

Question 17	En respectant les surfaces jugées utiles, les formes nécessaires pour assurer la bonne transmission du mouvement et en respectant le procédé de fabrication, compléter le dessin de définition (à main levée) de la nouvelle couronne de direction sur les deux vues. Représenter les dentures de façon simplifiée. Indiquer les ajustements et remarques utiles pour bien définir cette pièce.
DT4	
DR3 – folio 2/2	

BTS CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS	DOSSIER TRAVAIL	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP	PAGE 3/12

Partie 4 : vérification de l'autonomie du véhicule

Objectif 1 : vérifier l'exigence de franchissement.

Le constructeur annonce que le franchissement supérieur à 40% de la pente est possible pour ce véhicule avec les caractéristiques techniques et dimensionnelles qu'il offre.

Question 18	Quel est le repère de l'exigence correspondant à cette performance ?
DT3 – folio 2/3 DR4	Quel est le diamètre d'une roue ? Quel est le coefficient d'adhérence f des roues avec le sol ?

Les motorisations arrières sont davantage sollicitées, lors d'une phase de montée abrupte, que celles situées à l'avant. Cependant, le glissement des roues s'effectuera sur les roues avant dans un premier temps.

Les actions en A et B correspondent aux actions du sol sur les roues, avec adhérence. Le modèle représenté sur DR4 est dans le plan de symétrie du véhicule.

Question 19	Sachant que l'on se place à la limite de l'adhérence en B (roue avant), définir les composantes de cette action mécanique du sol (graphiquement, Fig. 9, ou par torseur).
DT3 DR4	Définir quelle est la relation entre ses composantes en fonction du coefficient d'adhérence.

Afin de valider la performance annoncée, nous allons vérifier si l'adhérence des roues avec le sol permet de ce franchissement.

En isolant le E-SPIDER (1), les actions mécaniques s'exerçant sur ce solide, en équilibre, sont :

- action du sol sur la roue avant en B à la limite de l'adhérence ;
- action du sol sur la roue arrière en A :

$$\{\tau_{A,0 \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{A}_{0 \rightarrow 1} \\ \vec{0} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{cc} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{A, \vec{x}, \vec{y}}$$

- action de pesanteur en G :

$$\{\tau_{G, pesanteur \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{P} \\ \vec{0} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{cc} P_x & 0 \\ P_y & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{G, \vec{x}, \vec{y}}$$

Question 20	Définir la masse du E-SPIDER + pilote.
DT3 DR4	Déterminer le poids \vec{P} de cet ensemble et ses composantes (rappel $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$). Tracer cet effort à l'échelle sur le document réponse, dans le repère du DR4 (Fig. 10).

Question 21	En isolant le E-SPIDER (1), appliquer le théorème de la résultante statique et le théorème du moment statique en A afin de déterminer les composantes des actions en A et B par le calcul ou graphiquement avec les justifications qui conviennent.
DT3 DR4	Représenter vos résultats sur le DR4 (Fig. 10).

Question 22	Vérifier si l'adhérence des roues permet de franchir cette pente.
DT3 DR4	Justifier votre réponse.

Si l'adhérence est respectée, il est important également de vérifier que le couple fourni par les moteurs permet le déplacement le long de cette pente.

En isolant « **une** roue avant » (RAV) et en faisant l'hypothèse que les actions se transmettent uniquement dans le plan (\vec{x}, \vec{y}) , les actions mécaniques qui lui sont appliquées sont :

- action dans la liaison pivot en O' entre 1 et RAV :

$$\{\tau_{O',1 \rightarrow RAV}\} = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{O'_{1 \rightarrow RAV}} \\ \vec{0} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{cc} X_{O'} & 0 \\ Y_{O'} & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{O', \vec{x}, \vec{y}}$$

- couple moteur s'exerçant en O' :

$$\{\tau_{mot \rightarrow RAV}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ \overrightarrow{C_m} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & C_m \end{array} \right\}_{O', \vec{x}, \vec{y}}$$

- action du sol sur la roue en B :

$$\{\tau_{B,0 \rightarrow RAV}\} = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{B_{0 \rightarrow 1}} \\ \vec{0} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{cc} X_B & 0 \\ Y_B & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{B, \vec{x}, \vec{y}}$$

avec $X_B = 303 \text{ N}$ et $Y_B = 505 \text{ N}$ (quelles que soient les valeurs trouvées précédemment).

Question 23	En isolant la roue avant (RAV) et en appliquant le théorème du moment statique en O', déterminer le couple moteur à fournir (Fig. 9).
DT3 DR4, Fig. 9.	A partir des données constructeur, le E-SPIDER a-t-il assez de couple pour franchir cette pente ? Justifier votre réponse.

Objectif 2 : vérifier l'exigence d'autonomie (Id 1.2.)

Le E-SPIDER a été conçu pour évoluer essentiellement en milieu naturel. Pour dimensionner les batteries embarquées, il est nécessaire d'élaborer un modèle de comportement proche de la réalité en faisant les hypothèses suivantes :

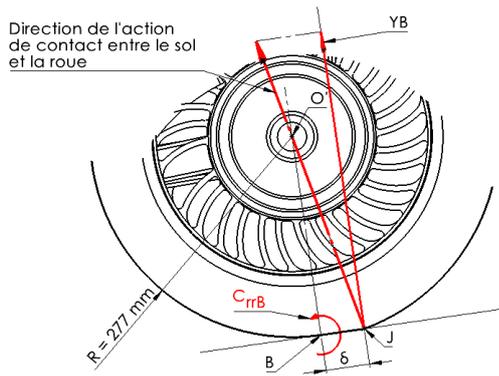
- les effets d'inerties dues aux accélérations seront négligés pour un parcours de randonnée sur chemin peu escarpé.
- les actions mécaniques s'appliquant sur le véhicule seront simplifiées comme suit :
 - action extérieure de la pesanteur appliquée au centre de masse G : $\overrightarrow{P_{pes/E-spider}}$;
 - action extérieure de résistance au roulement : un couple résistant au point de contact (A et B) des roues avec le sol $\overrightarrow{C_{rr}}$;
 - action intérieure du couple moteur sur les roues en A et B : $\overrightarrow{C_m}$;
 - action extérieure de l'air (trainée aérodynamique) ramenée en G : $\overrightarrow{T_{air/E-spider}}$: **négligée au vu des faibles vitesses.**

Remarques :

Le couple de résistance au roulement s'applique en chacune des roues. Il est proportionnel à la composante en y de la réaction du sol sur la roue et du décalage « en avant » du point de contact de la roue sur le sol. La figure T1, ci-après, illustre la déformation de la roue et

BTS CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS	DOSSIER TRAVAIL	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP	PAGE 5/12

de ce décalage sur la roue avant (en B). Ce phénomène se produit également sur les roues arrière.



Pour un confort de pilotage, les roues de 20" x 2,125" sont gonflées à 2 bars, donnant un décalage $\delta = 10 \text{ mm}$.

Le couple de résistance au roulement est défini sur les roues avant : $C_{rr,B} = \delta \times Y_B$, avec Y_B : composante normale au contact de l'action du sol sur la roue.

Ce phénomène s'applique de manière identique sur les roues arrière avec $C_{rr,A} = \delta \times Y_A$.

La figure T2 ci-dessous va permettre d'estimer la consommation énergétique pour une pente de 40 % (cas le plus défavorable) sur les 1000 m de dénivelé énoncé dans les exigences de conception.

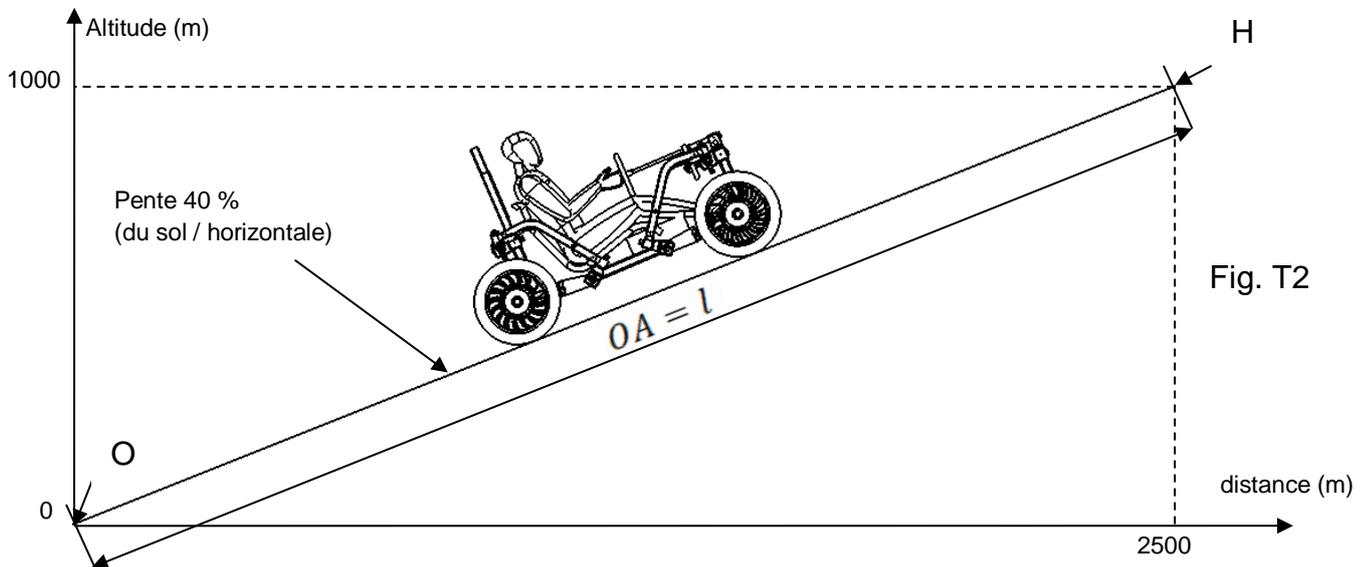


Fig. T2

Question 24	Déterminer la distance de déplacement entre les points O et H : l (en m) correspondant au déplacement du véhicule dans cette pente.
<i>Feuille de copie</i>	

Rappel :

Théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta E_{c,O \rightarrow H} = \sum W_{ext,O \rightarrow H} + \sum W_{int,O \rightarrow H}$$

avec :

$\Delta E_{c,O \rightarrow H}$: variation de l'énergie cinétique entre les positions O et H ;

$\sum W_{ext,O \rightarrow H}$ = somme des travaux des actions mécaniques extérieures pour aller de la position O vers la position H ;

$\sum W_{int,O \rightarrow H}$ = somme des travaux des actions mécaniques intérieures pour aller de la position O vers la position H.

Nous isolons le véhicule qui se déplace entre deux positions d'arrêt : $\Delta E_{c,O \rightarrow H} = 0$.

Les travaux extérieurs sont uniquement dûs :

- à la force de pesanteur : $W_{\vec{p},O \rightarrow H}$;
- au couple de résistance au roulement sur chacune des roues: $W_{\vec{C}_{rr,B}}$ et $W_{\vec{C}_{rr,A}}$.

Le travail intérieur est celui fourni par les moteurs : $W_{moteur} = Cm \times \theta_{O \rightarrow H}$ avec $\theta_{O \rightarrow H}$ angle en radian effectué par les roues pour aller de O vers H.

Question 25	Calculer le travail du poids $W_{\vec{p},O \rightarrow H}$.
<i>Feuille de copie</i>	Conclure , si le travail est moteur ou résistant en énergie ?

Quelles que soient les valeurs calculées dans la partie précédente, sur les roues arrière (en A) s'exercent une composante normale à la pente $Y_A = 1800 N$ et sur les roues avant en B $Y_B = 1000 N$.

Question 26	Déterminer l'angle $\theta_{O \rightarrow H}$ en radians correspondant à l'angle effectué par une roue pour passer du point O au point H.
<i>Feuille de copie</i>	Calculer les couples de résistance au roulement $C_{rr,B}$ et $C_{rr,A}$.
	Calculer le travail du couple résistant sur chacune des roues $W_{\vec{C}_{rr,B}}$ et $W_{\vec{C}_{rr,A}}$
	Conclure sur les travaux, sont-ils moteurs ou résistants en énergie ?

Question 27	En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, en déduire l'expression du travail des 4 moteurs en fonction des autres travaux en présence.
<i>Feuille de copie</i>	Calculer ce travail en Joules.

Question 28	Sachant que le rendement des moteurs est de 82.5%, déterminer leur consommation énergétique.
<i>Feuille de copie</i>	

Question 29	Définir le pourcentage d'énergie, stockée dans les batteries, utilisée par les moteurs pour franchir cette pente ?
DT1 - folio 4/4 <i>Feuille de copie</i>	

Lors d'un déplacement à plat sur les roues arrière (en A) s'exercent une composante normale à la pente $Y_A = 1600 N$ et sur les roues avant en B $Y_B = 1450 N$.

Question 30	En faisant l'hypothèse que le reste du parcours (jusqu'à 50 km) se fasse à plat et à vitesse constante, déterminer le travail que devra fournir les moteurs pour se déplacer sur les 47.3 km restant (environ).
<i>Feuille de copie</i>	Préciser si l'autonomie restante des batteries permet ce déplacement ?

Question 31	Citer au moins trois paramètres influant sur la consommation énergétique du véhicule.
<i>Feuille de copie</i>	

Question 32	En analysant les travaux évoqués précédemment, préciser quels sont ceux qui permettraient d'avoir une influence positive sur l'autonomie du véhicule et sur quelle topologie de terrain ?
<i>Feuille de copie</i>	

BTS CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS	DOSSIER TRAVAIL	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP	PAGE 7/12

Partie 5 : étude comparative de la suspension

Objectif : choisir et représenter une solution efficace pour répondre à l'exigence de confort lié à l'amortissement. (I.d.1.1.7).

L'évolution de la suspension actuelle est une piste majeure dans cette phase de re-conception. Actuellement, un « Rosta » est utilisé pour amortir le mouvement entre la jambe cintrée et le bras de roue.

Dans sa démarche, le bureau d'études souhaite comparer diverses solutions pour faire le meilleur choix. Elle s'appuie sur le tableau comparatif du DT6.

Question 33	Définir à partir de quel moment on peut considérer qu'il y a amortissement sur les 3 courbes de performances fournies dans le DT6 ? Comparer ces courbes en déterminant le nombre d'oscillations avant amortissement.
DT6 <i>Feuille de copie</i>	

Question 34	Préciser les critères au regard des exigences, qui permettent de choisir principalement l'amortisseur ? Justifier votre réponse en argumentant.
DT6 <i>Feuille de copie</i>	

Le choix se porte finalement vers un amortisseur du type DT DNM DV-22AR 165 x 35. La re-conception nécessite une pièce d'interface pour la liaison pivot entre la jambe cintrée et le bras de roue. Sur cette pièce, une chape pour la partie haute de l'amortisseur (côté système de réglage du rebond) a déjà été conçue (DR5).

Pour réduire les coûts de fabrication, la chape de liaison entre l'amortisseur et le bras de roue sera en EN – AW 1350 A, obtenue par découpe et pliage (épaisseur 6 mm).

Lors de son implantation sur le E-SPIDER, sans présence du pilote, l'amortisseur sera déjà comprimé de 15 mm.

Question 35	En fonction des données sur l'amortisseur et de la chape à réaliser, placer l'axe d'articulation de l'amortisseur et la chape par rapport à la surface supérieure du bras de roue. Indiquer par une cote cette distance.
DT6 DR5	

Question 36	Représenter par un arc de cercle la position de l'axe de la chape. En déduire la position de l'axe de la chape et tracer l'axe de l'amortisseur.
DT6 DR5	

Question 37	Dessiner à main levée la liaison pivot glissant entre la chape et l'amortisseur en utilisant les composants donnés sur le DT6. Coter les ajustements nécessaires. Représenter en perspective la chape. <i>L'amortisseur sera représenté de façon simplifiée.</i>
DT6 DR5	

Partie 6 : optimisation de la traverse

Objectif : minimiser la masse de la traverse qui constitue une pièce essentielle de la structure du E-SPIDER en optimisant sa résistance et sa rigidité.

Objectif intermédiaire 1 : vérification de la résistance de la traverse actuelle.

Hypothèse : on suppose la répartition des charges des roues sur le sol identique et symétrique sur les quatre roues. Le matériau de la traverse est un alliage d'aluminium EN AW 2024 dont la limite élastique est $R_e = 145 \text{ MPa}$.

Données :

- le poids de l'ensemble E-SPIDER + Pilote = 3040 N ;
- l'accélération de pesanteur sera prise égale à $9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

Question 38	Sur le DR6, représenter par un vecteur au point C la réaction du sol sur la roue avant droite de l'E-SPIDER $\vec{C}_{\text{Sol} \rightarrow \text{RAV}}$.
DT3, DT4 DR6	

Question 39	Sur le DR6, reporter la valeur de la demie voie de l'E-SPIDER.
DT3, DT4 DR6	Ecrire la forme du torseur de cohésion en A dans la demi-traverse OB considérée comme une poutre encastree en O.

Question 40	Identifier la sollicitation à laquelle est soumise la demi-traverse OB.
DT3, DT4 DR6	

Question 41	Exprimer puis calculer le moment fléchissant M_{fz} en A.
DT3, DT4 DR6	Tracer le diagramme du moment fléchissant dans la poutre OB.

Question 42	Détailler puis calculer le moment quadratique de la section de poutre au point A. On négligera les congés.
DT3, DT4 DR6	

Quelle que soit la valeur trouvée précédemment vous prendrez : $I_{Gz} = 224540 \text{ mm}^4$.

Question 43	Exprimer la contrainte normale maximale de flexion en A.
DT3, DT4 DR6	Calculer la contrainte normale maximale de flexion en A.

Question 44	Exprimer le coefficient de sécurité dans la section A.
DT3, DT4 DR6	Calculer le coefficient de sécurité dans la section A.
	Conclure sur la pertinence du coefficient de sécurité ? Justifier votre réponse.

Objectif intermédiaire 2 : optimisation topologique de la traverse.

Sur le DT7 est présenté le résultat géométrique obtenu à partir d'une étude d'optimisation topologique de la traverse soumise aux mêmes conditions de chargement que précédemment avec le même matériau.

La masse de la nouvelle traverse est de 3,6 kg (masse de la version initiale = 4,4 kg).

Question 45	Relever la valeur de la contrainte normale équivalente maximale.
DT4, DT7 <i>Feuille de copie</i>	Calculer le coefficient de sécurité de la traverse optimisée. Donner un procédé de fabrication qui permettrait d'arriver à ce résultat de forme. Justifier votre réponse en ajoutant les détails techniques.

Partie 7 : re-conception de la liaison pivot entre l'ensemble nacelle et la traverse avant

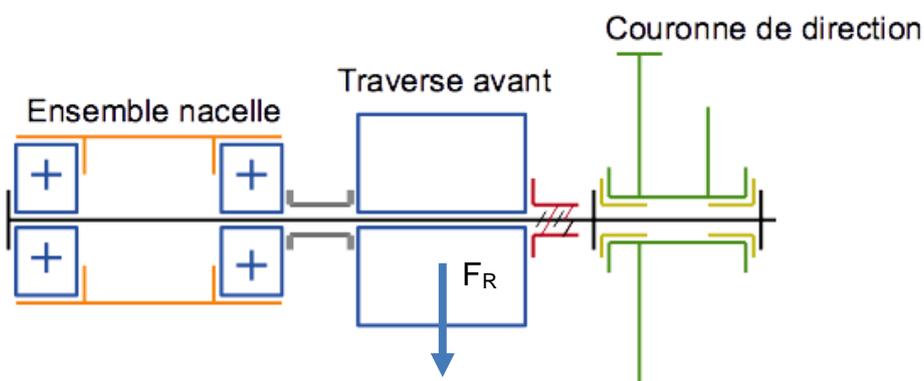
Objectif : optimiser la conception de la liaison par roulements.

L'effort radial le plus important F_R provient de la traverse, qui lui est transmis par les jambes de roues. Cet effort est lié à l'arbre et est situé en porte à faux par rapport au montage de roulements.

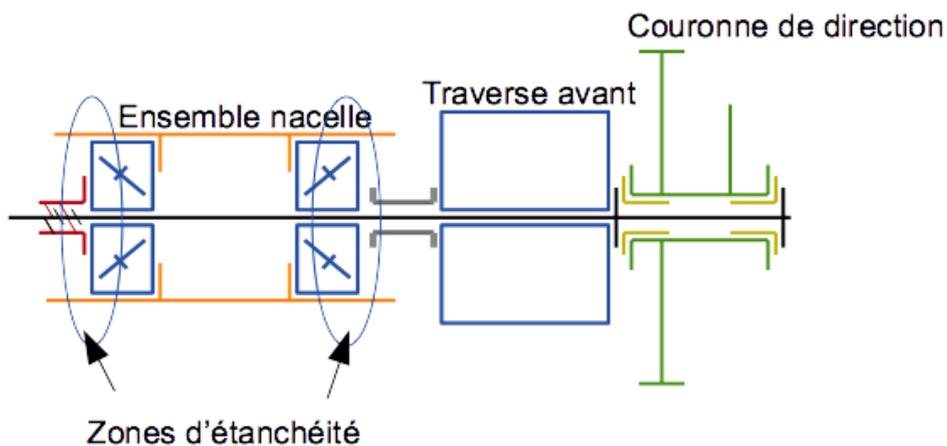
Il est proposé de remplacer les roulements à billes à contact radial utilisés par des roulements à rouleaux coniques. Ce type de roulements non étanches nécessite la mise en place de joints d'étanchéité. L'ordre de montage des pièces est par cette évolution facilité.

Les schémas technologiques ci-dessous présentent l'évolution retenue :

Configuration actuelle



Evolution souhaitée



BTS CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS	DOSSIER TRAVAIL	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP	PAGE 11/12

Question 46	Donner deux arguments qui justifient un montage en « O ».
DT4 <i>Feuille de copie</i>	

Le remplacement des roulements à billes par des roulements à rouleaux coniques se fait avec un diamètre d'axe conservé de 30 mm.

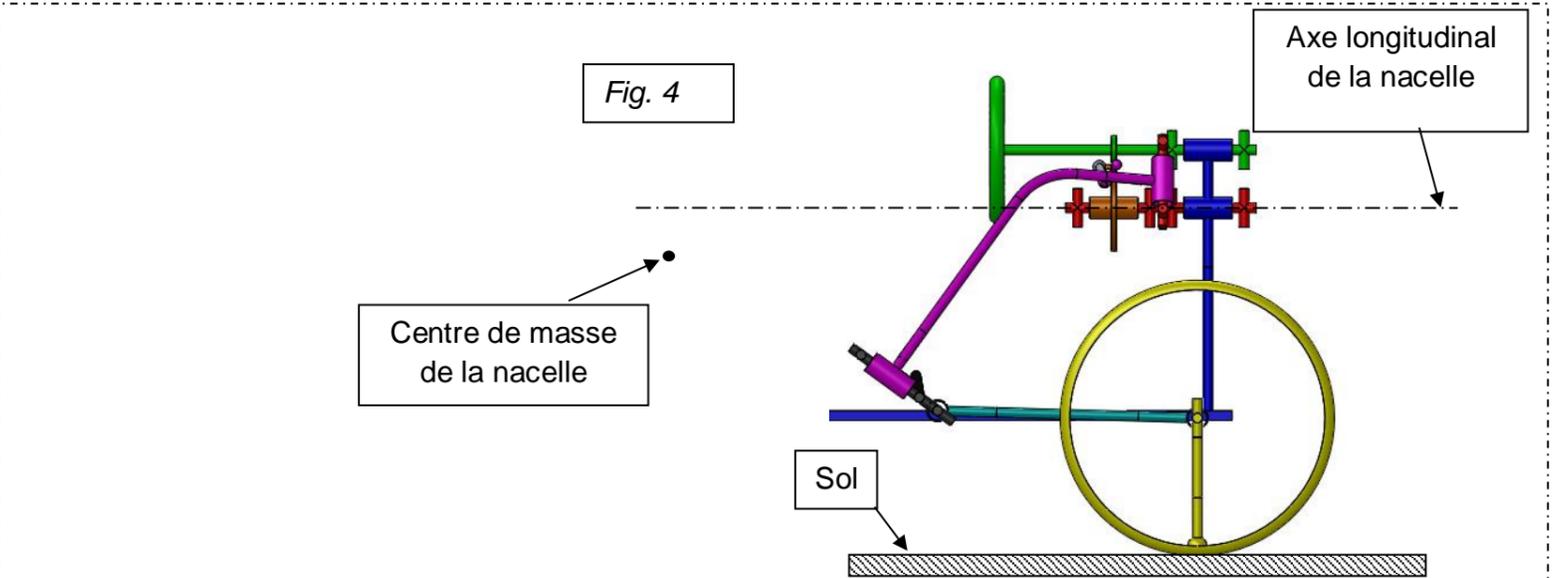
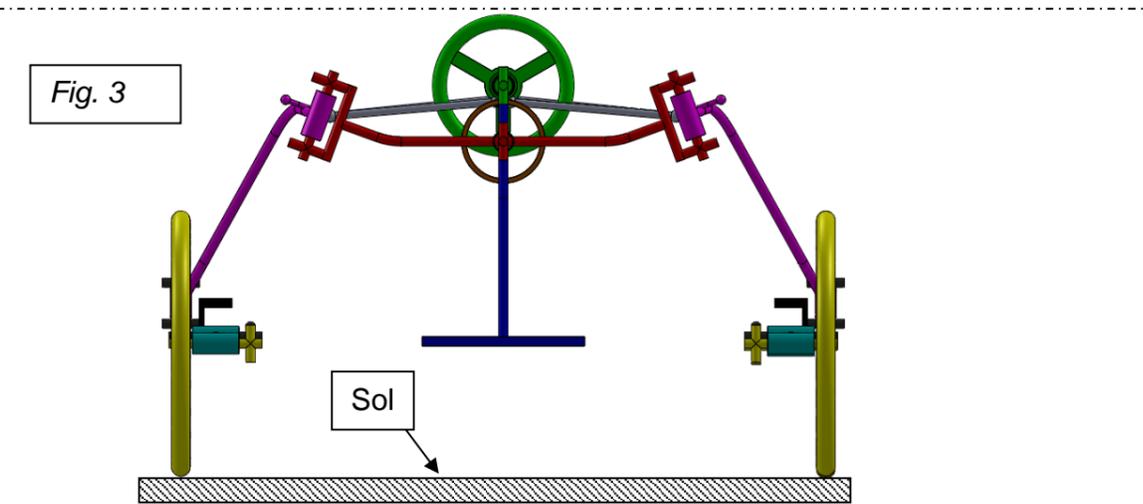
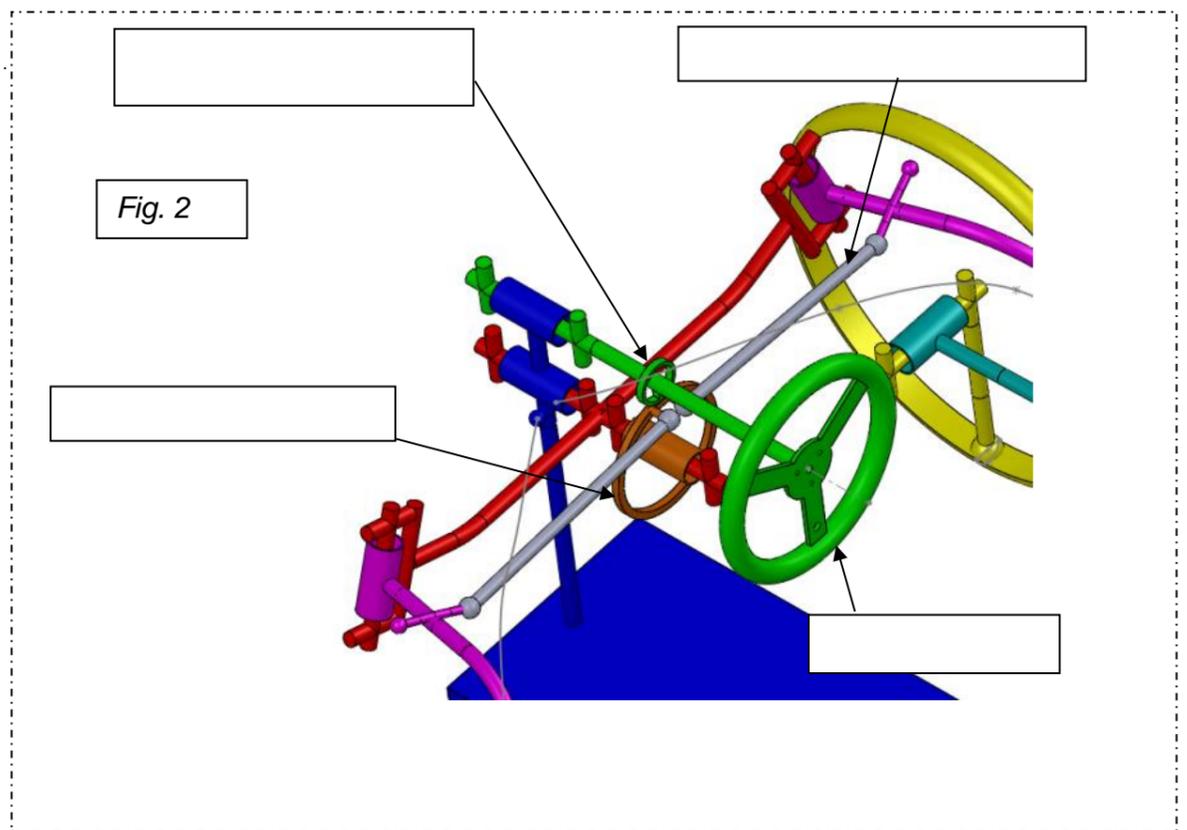
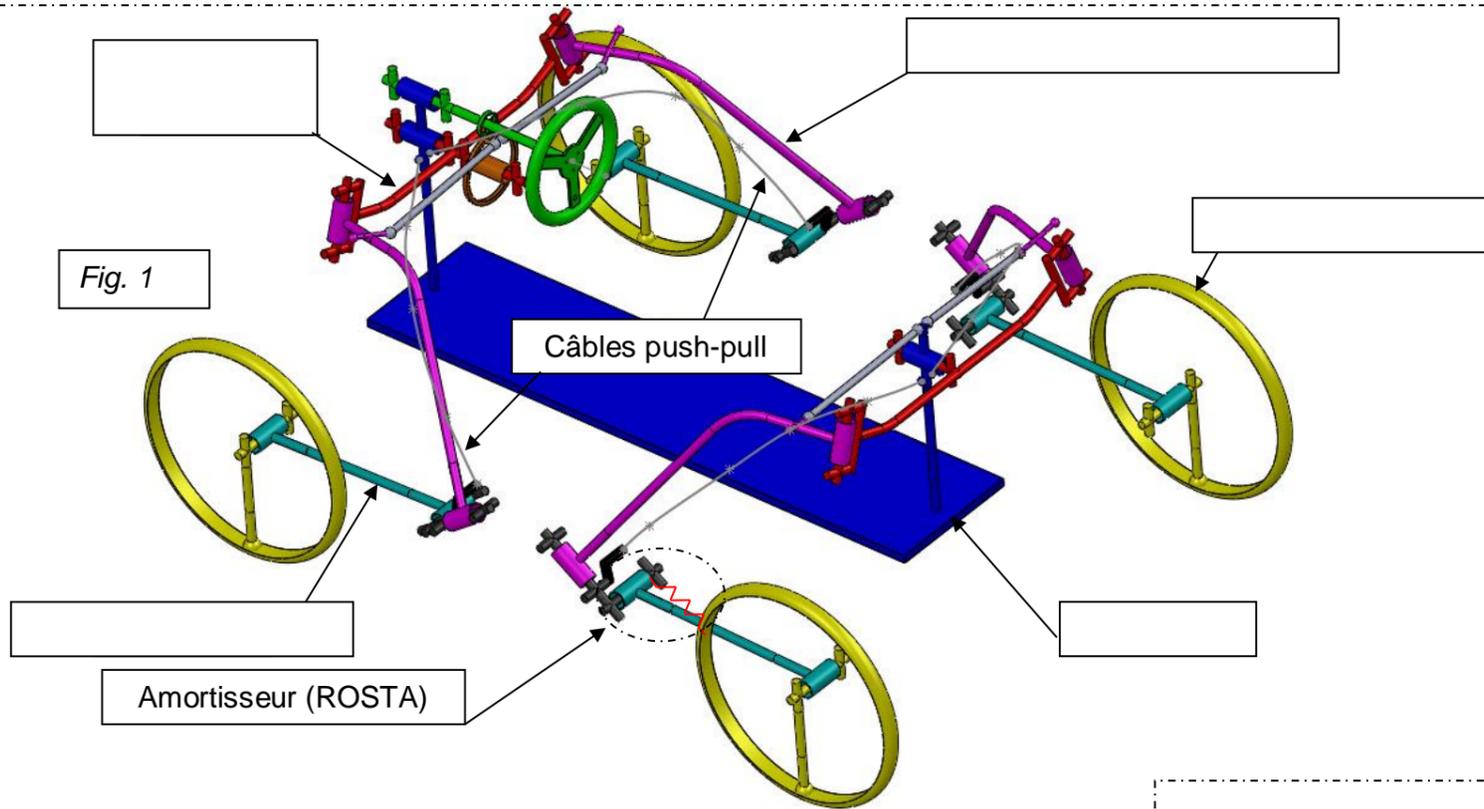
Question 47	Donner la référence des roulements à rouleaux coniques à installer pour respecter les conditions d'encombrement. Les roulements retenus sont-ils aptes à résister aux conditions de chargement ? Justifier votre réponse.
DT4, DT8 <i>Feuille de copie</i>	

Question 48	Sur le document DR7, définir à main levée l'ensemble des solutions retenues sur la vue en coupe ébauchée. Le dessin permettra de montrer : <ul style="list-style-type: none"> • le montage de roulements ; • l'étanchéité du montage de roulements ; • les arrêts axiaux de la traverse et de la couronne de direction. Des vues complémentaires peuvent être ajoutées.
DT4, DT8 DR7	

Question 49	Donner la référence de l'écrou de serrage. Justifier votre choix. Donner la référence du joint d'étanchéité. Justifier votre choix. Dessiner à main levée l'allure de l'axe (25) pour accueillir tous les éléments : couronne de direction, traverse avant, roulements, joints d'étanchéité et écrou.
DT4, DT8 <i>Feuille de copie</i>	

Question 50	Indiquer sur le dessin du DR7 les conditions fonctionnelles nécessaires aux solutions proposées (ajustements/tolérances, jeux fonctionnels, états de surfaces...) Caractériser les ajustements.
DT4, DT8 DR7 <i>Feuille de copie</i>	

Figures 1 et 2 : réponse à la Q1)



Q2) Exigence 1.1.4 respectée ?

Q3) Exigence respectée ?

Q4) Pendularité respectée ?

Exigence :

Q6) expression de α_{avg} et α_{avd}

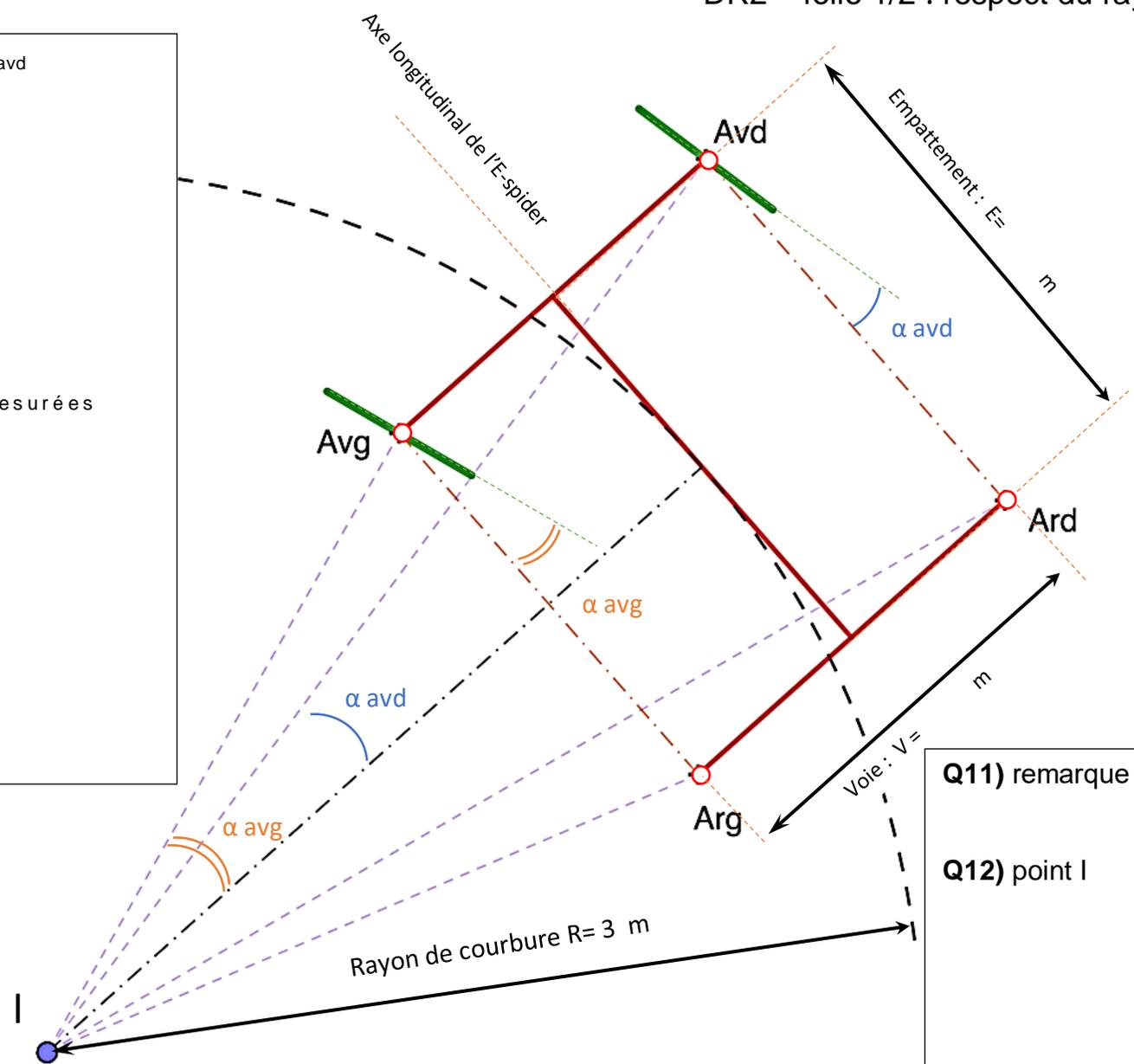
$\tan \alpha_{avg} =$

$\tan \alpha_{avd} =$

Q7) valeurs calculées ou mesurées

$\alpha_{avg} =$

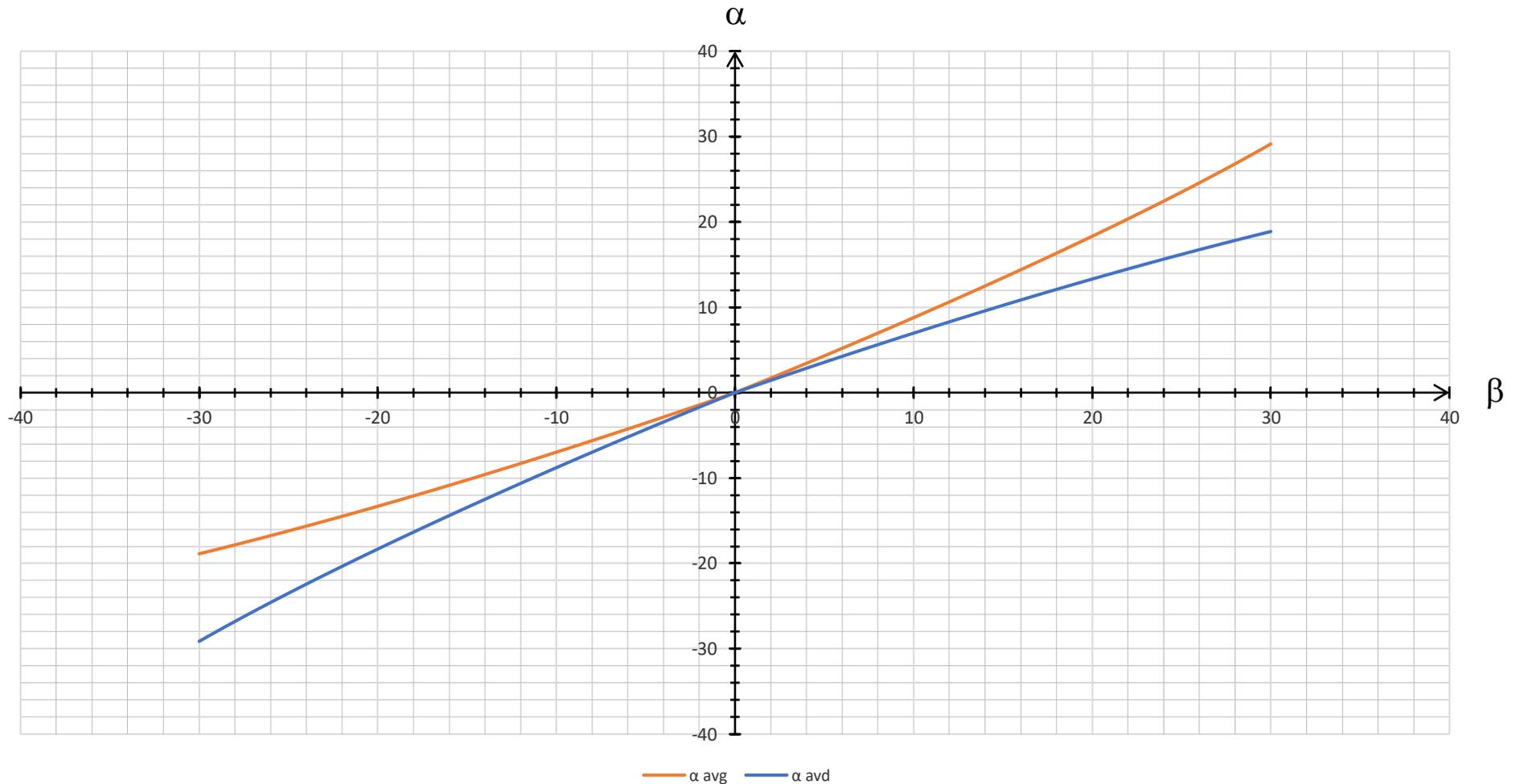
$\alpha_{avd} =$

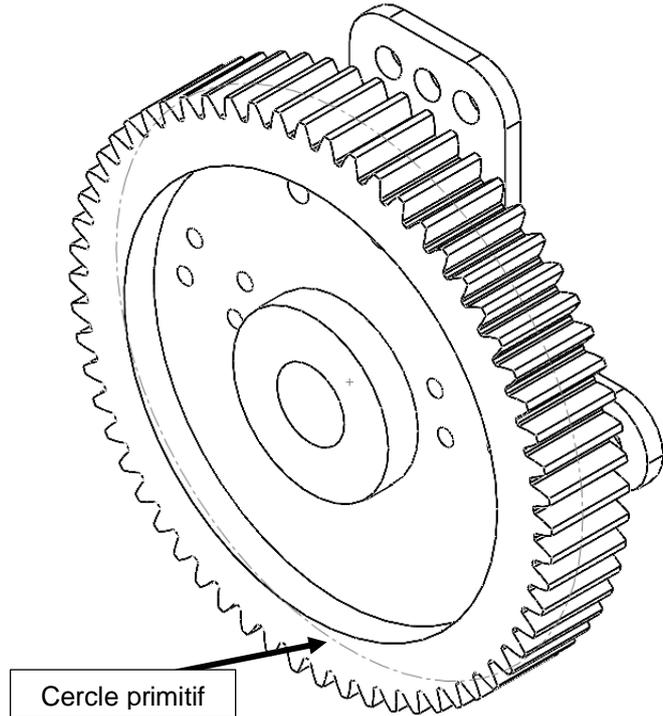
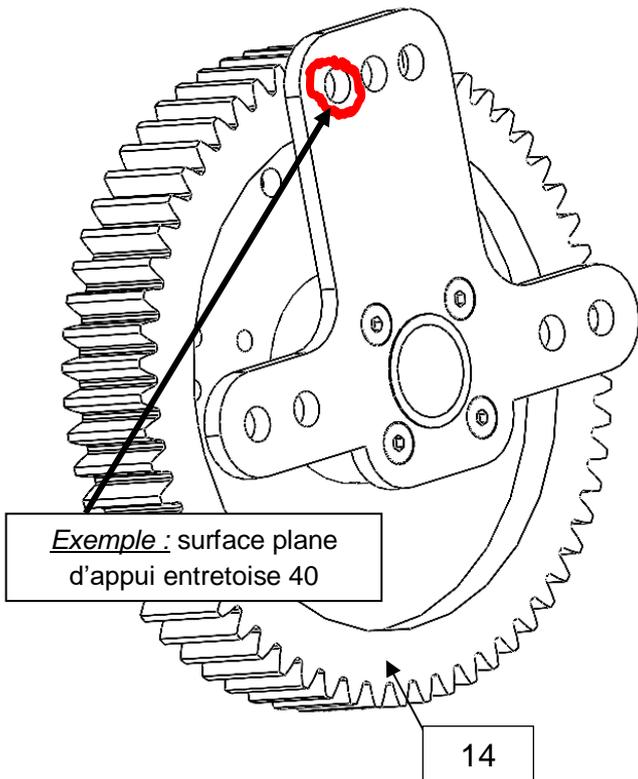


Q11) remarque α_{ar}

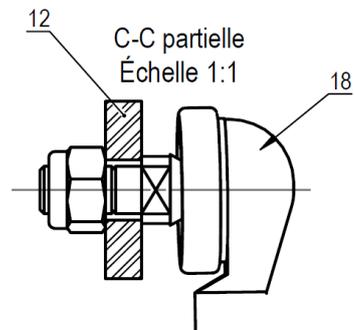
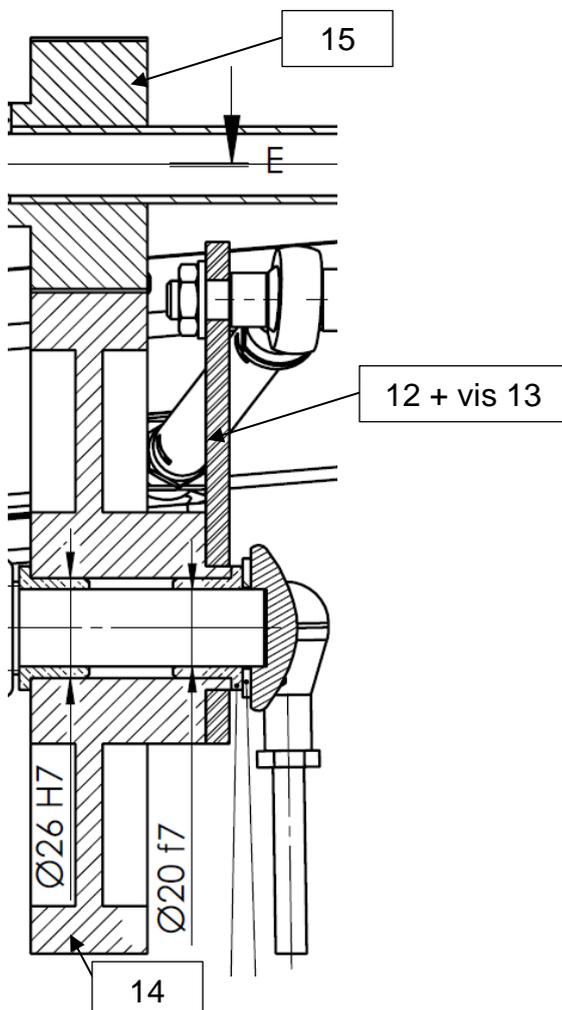
Q12) point I

Angle de braquage des roues avant en situation de virage à gauche sur un rayon de courbure de 3 mètres en fonction de l'angle de rotation de la couronne/traverse avant.





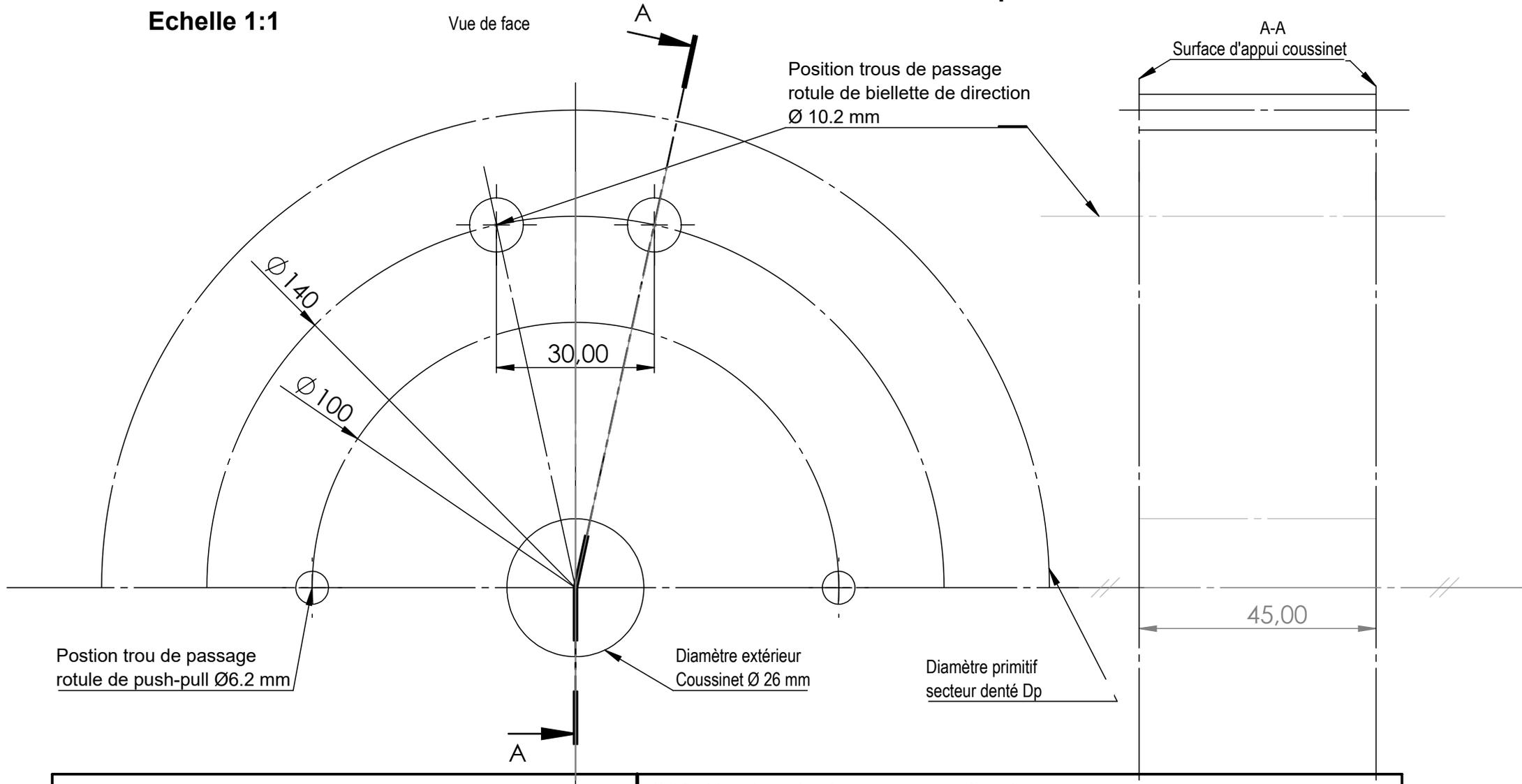
Coupe B – B



DR3 - folio 2/2 : étude d'optimisation du secteur denté

Echelle 1:1

Vue de face



Q13) Nombre de dents Couronne :

Q14) Calcul Diamètre primitif D_p :

Couronne entière ?

Q15) Nombre de dents secteur denté:

BTS CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS

DOSSIER RÉPONSE

SESSION 2022

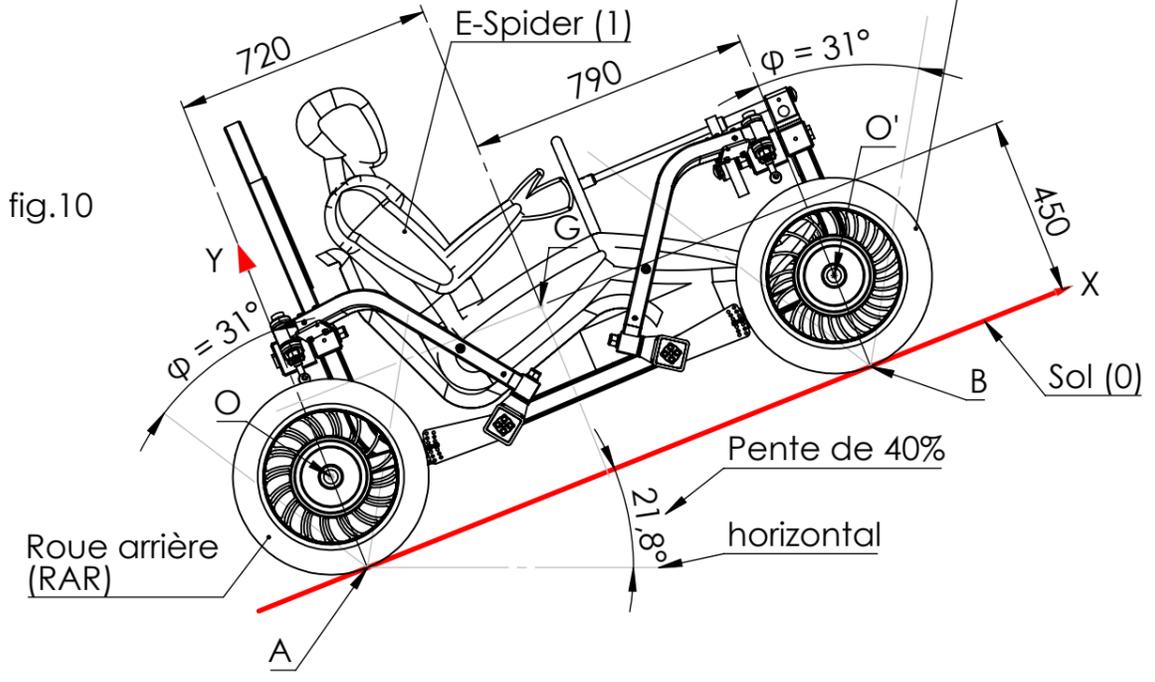
E4 : Étude préliminaire de produit

22CP42CP

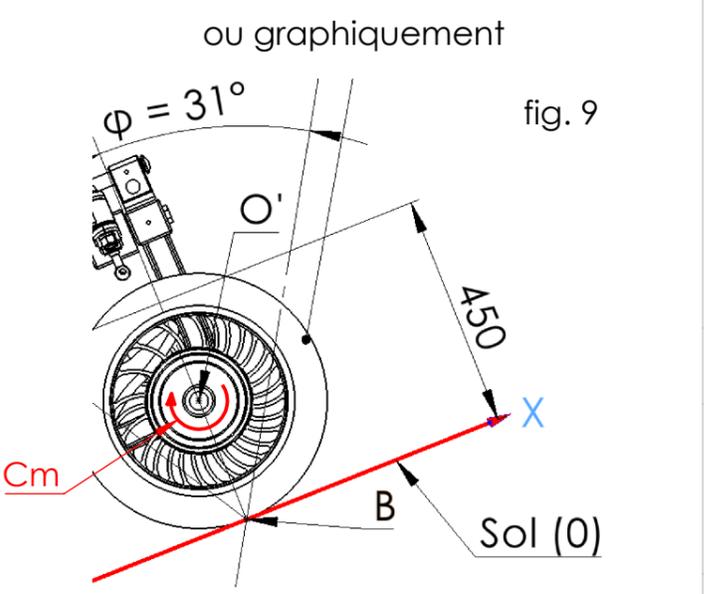
PAGE 5/9

U42 : Conception préliminaire

Q18) Repère exigence :
Diamètre d'une roue:
Coefficient d'adhérence f :



Q19)
$$\{\tau_{B,0 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} \overline{B_{0 \rightarrow 1}} \\ \vec{0} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} \text{---} & \text{---} \\ \text{---} & \text{---} \end{pmatrix}_{B, \vec{x}, \vec{y}}$$



Relation composantes :

Q20) Masse E-Spider + pilote :
Poids P =
Composantes du poids P :
Px =
Py =

Q21) Théorème de la résultante statique
proj /x:
proj /y:
Théorème du moment statique en A:
proj /z:
YB =
XB =
YA =
XA =

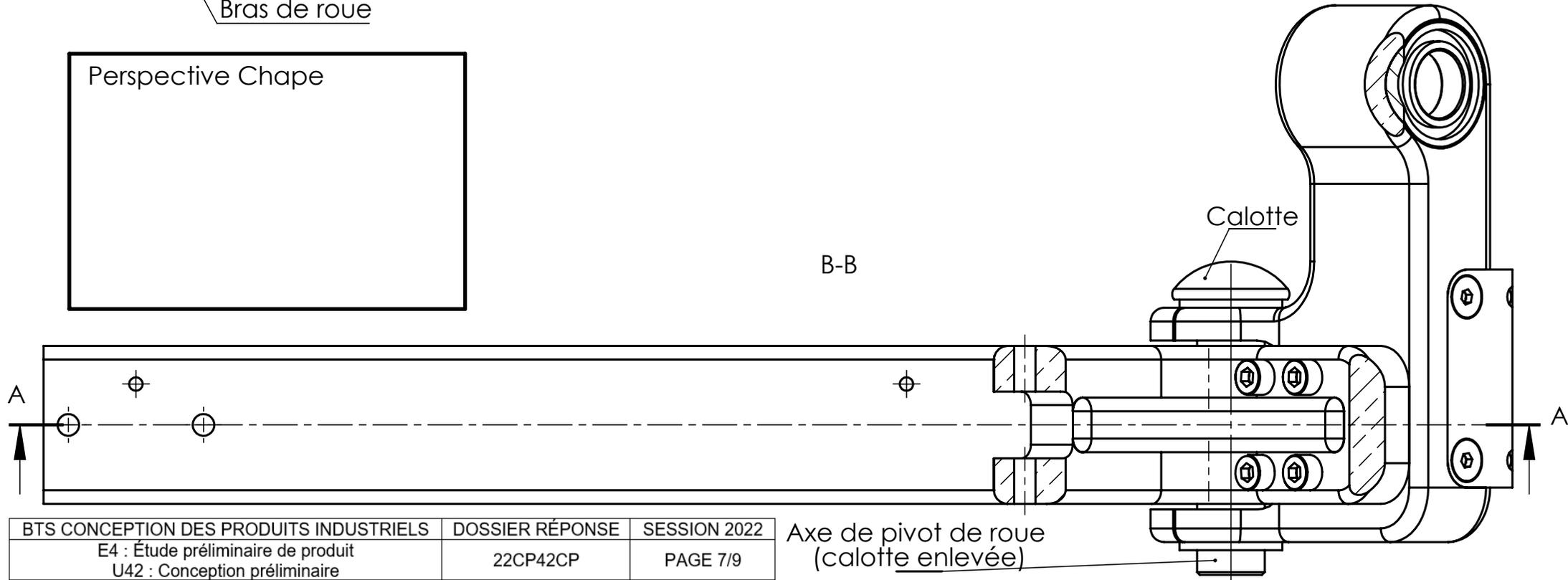
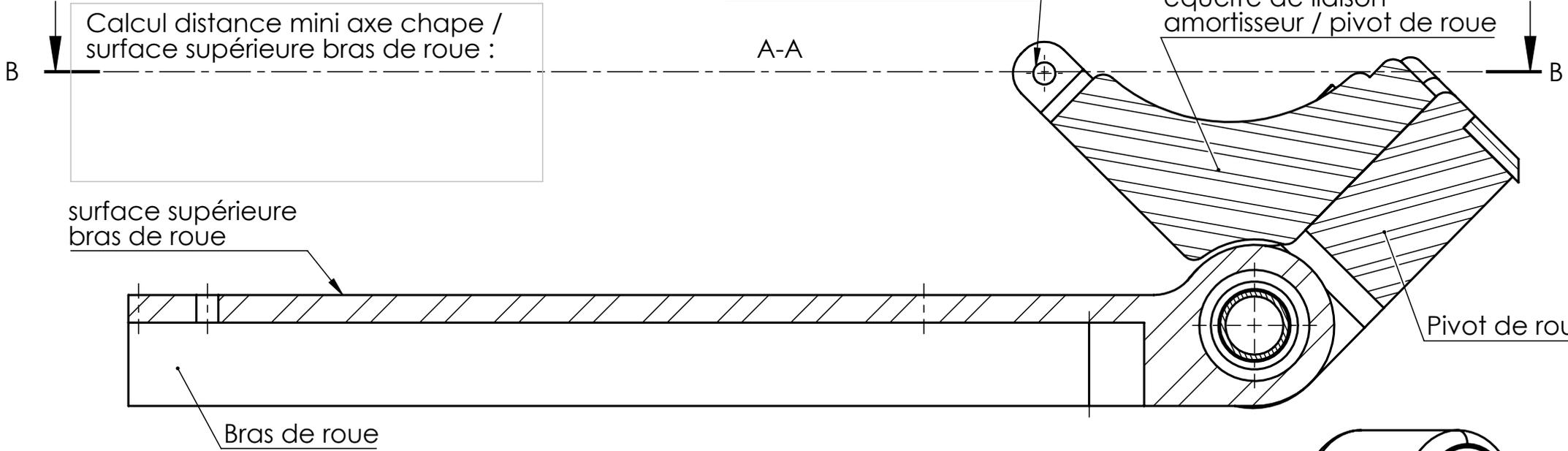
Q22) Adhérence?

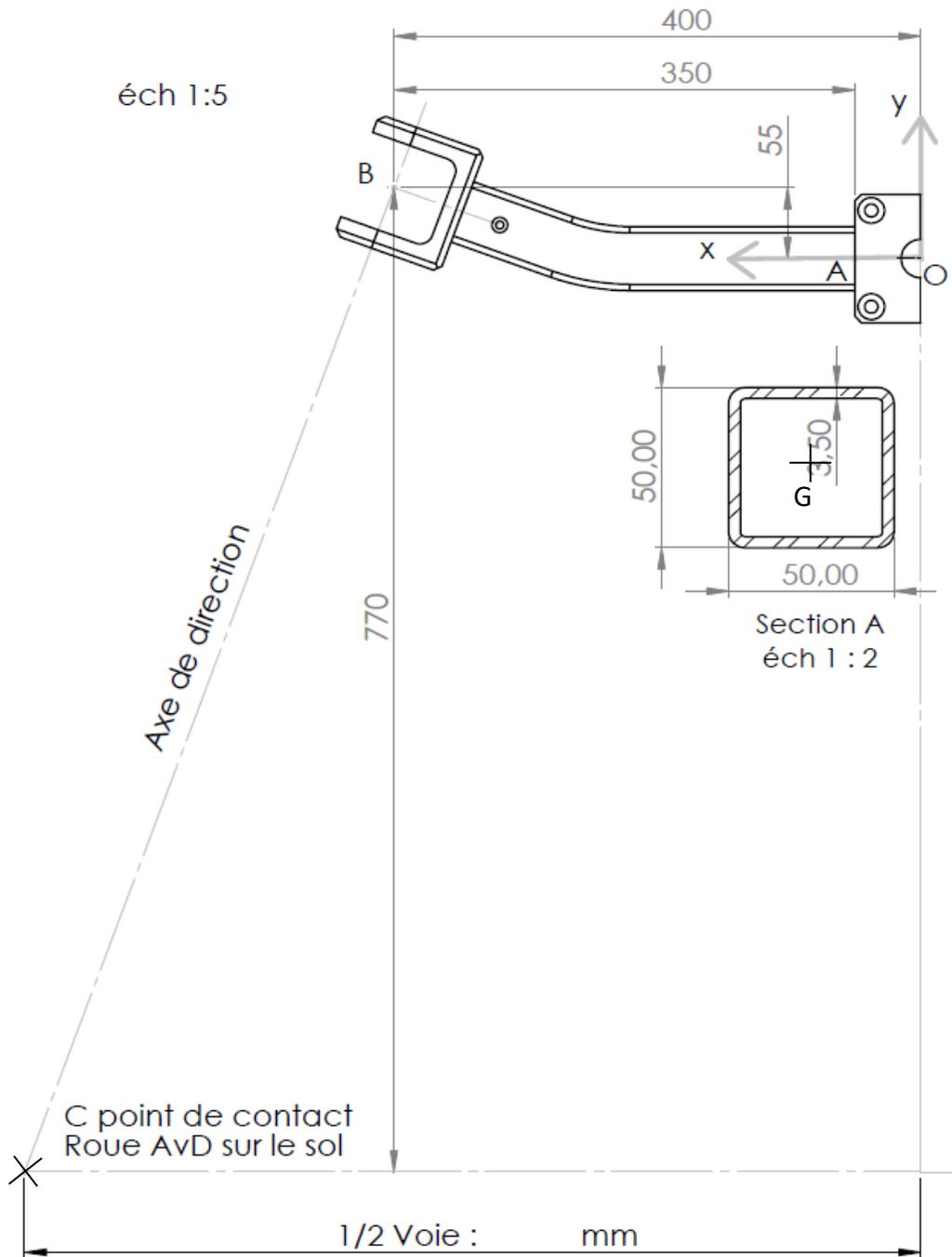
Q23) Théorème du moment statique en O':
proj /z:
Cm =
Conclusion:

DR5 - Montage amortisseur Échelle 1:2

axe de liaison supérieure
amortisseur

équerre de liaison
amortisseur / pivot de roue





Q39) torseur de cohésion en A

Q40) sollicitation

Q41) expression et calcul de $M_{f_{z,A}}$

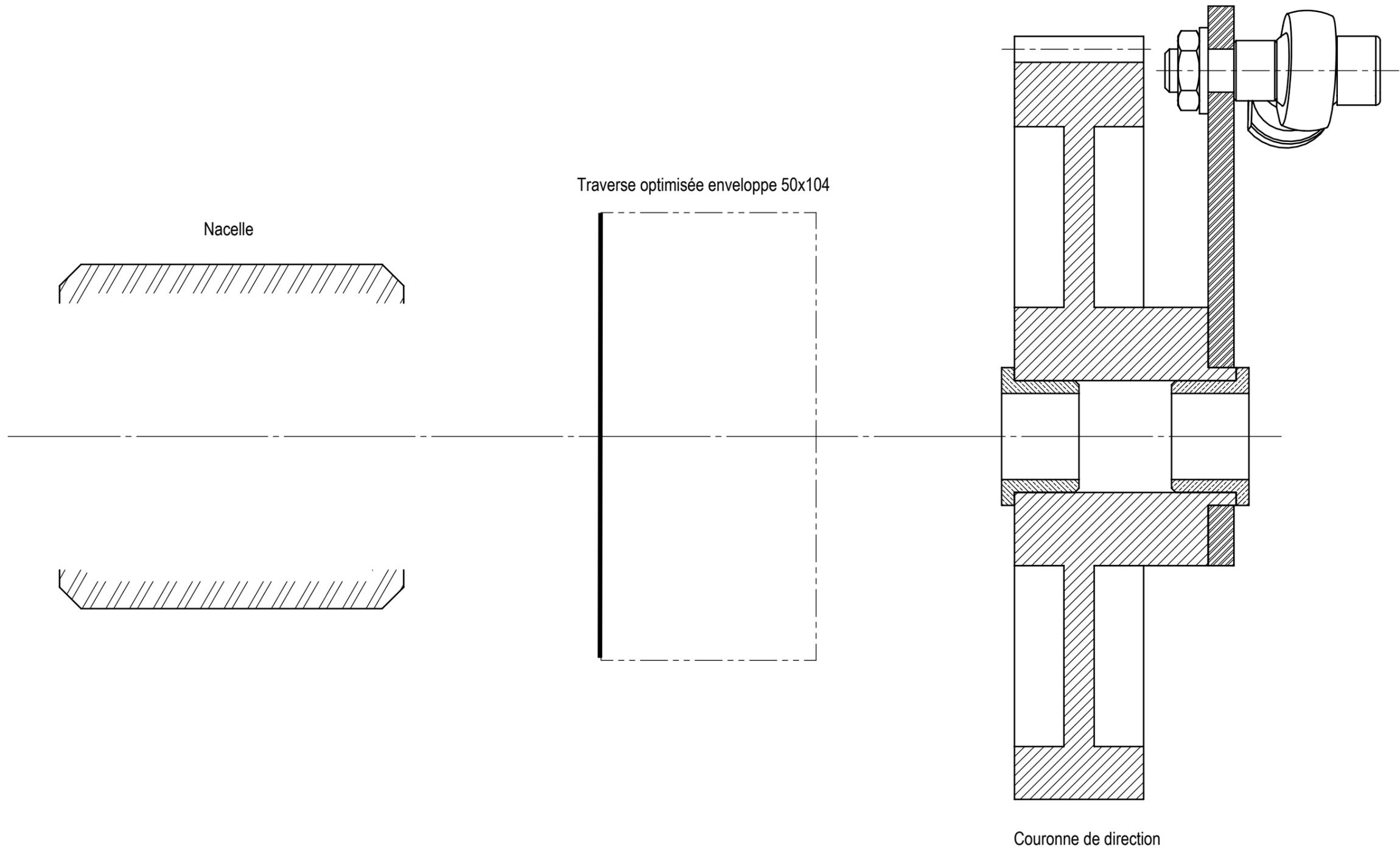
Diagramme du moment fléchissant



Q42) calcul du moment quadratique

Q43) expression et calcul de σ_{\max} en A

Q44) expression et calcul du coefficient de sécurité en A et conclure



← ZONE DE TRAVAIL → ← ZONE À NE PAS COMPLÉTER →

Nom	Désignation	Quantité
Roulements		
Joint d'étanchéité		
Écrou de serrage		
Rondelle frein		

Échelle 1:1

BTS CONCEPTION DES PRODUITS INDUSTRIELS	DOSSIER RÉPONSE	SESSION 2022
E4 : Étude préliminaire de produit U42 : Conception préliminaire	22CP42CP	PAGE 9/9