

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE
SÉRIE SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES
GÉNIE ÉLECTROTECHNIQUE

SESSION 2010

ÉPREUVE : ÉTUDE DES CONSTRUCTIONS

Durée : 4 heures

Coefficient : 6

Portes automatisées RECORD[®] E TSA16

AUCUN DOCUMENT N'EST AUTORISÉ

MOYENS DE CALCUL AUTORISÉS

Calculatrice électronique de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (conformément à la circulaire N°99-018 du 1^{er} février 1999).

Ce sujet comprend 2 dossiers de couleurs différentes

- **Présentation et travail demandé** (TD 1 à TD 11) **vert**
- **Dossier des « Documents réponses»** (DR 1 à DR 4) **blanc**

Les candidats rédigeront les réponses aux questions posées sur feuille de copie ou, lorsque cela est indiqué dans le sujet, sur les « documents réponses» prévus à cet effet.

Tous les documents "réponses", même vierges sont à remettre en fin d'épreuve.

DOSSIER "PRÉSENTATION ET TRAVAIL DEMANDÉ"

Le sujet est composé de 6 parties indépendantes.

Ce dossier comporte 11 feuilles numérotées de TD 1 à TD 11.

Il est conseillé de consacrer à chacune des parties la durée suivante :

Lecture du dossier et des documents techniques	15 min
Partie A : analyse fonctionnelle et cinématique du système	30 min
Partie B : caractéristiques cinématiques du mouvement des vantaux	30 min
Partie C : détermination des efforts dans la courroie de transmission primaire	45 min
Partie D : validation du dimensionnement du moteur	40 min
Partie E : analyse des efforts sur les galets et dimensionnement	50 min
Partie F : analyse de la liaison entre la courroie primaire et le vantail rapide	30 min

Présentation

Introduction

Conçues pour réaliser des ouvertures automatisées pour le passage des piétons à l'intérieur de lieux publics ou privés, les portes de la société « RECORD® », numéro 1 français sur ce marché, feront l'objet de notre étude.

Le système étudié au travers de ce sujet est une porte coulissante télescopique à 2 vantaux modèle TSA16 avec une synchronisation parfaite de la vitesse des vantaux, rapide et lent.

Ce système permet une implantation de porte automatique dans un espace réduit, le mécanisme télescopique record TSA 16 permet d'obtenir un gain de largeur d'ouverture de 30% par rapport à une porte coulissante traditionnelle.

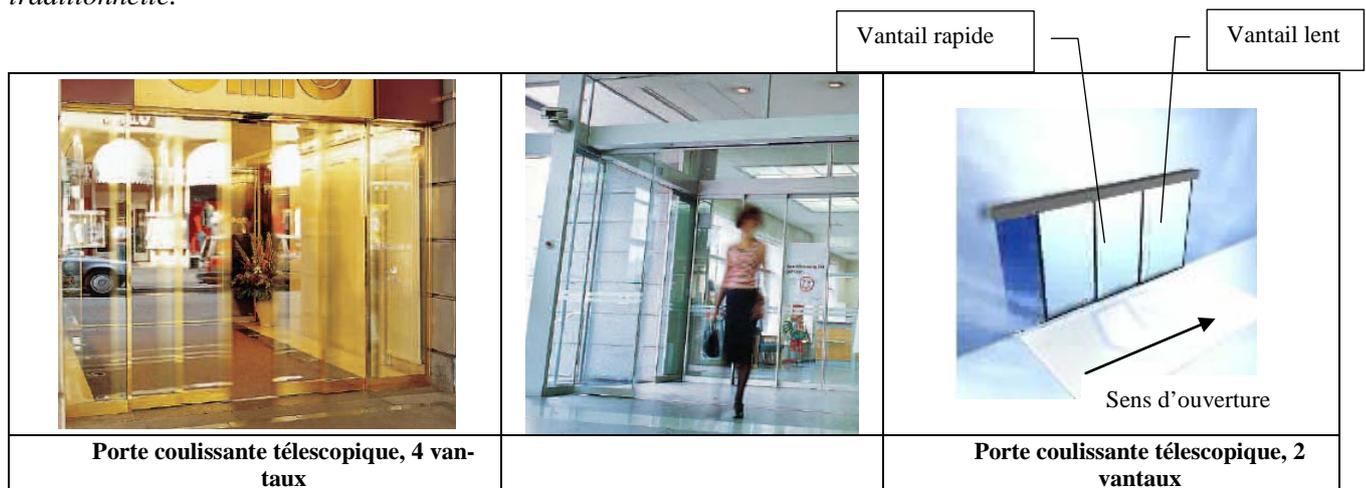
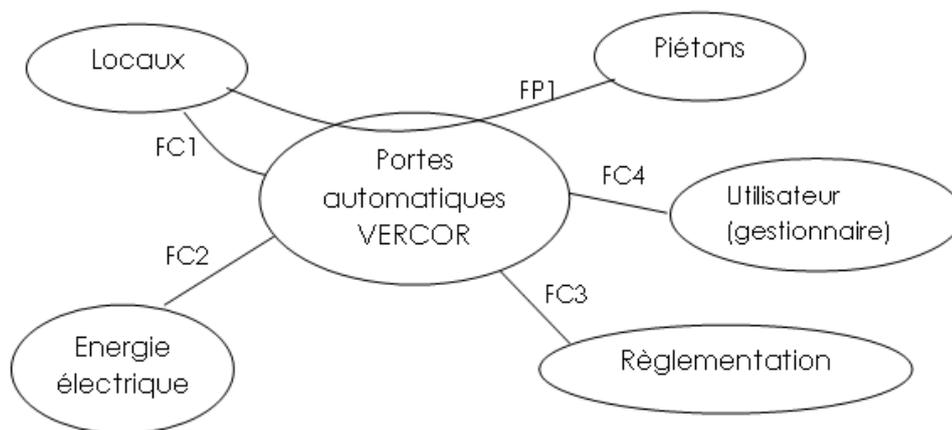


Diagramme des inter-acteurs



FP1 : gérer l'accès des piétons à des locaux.

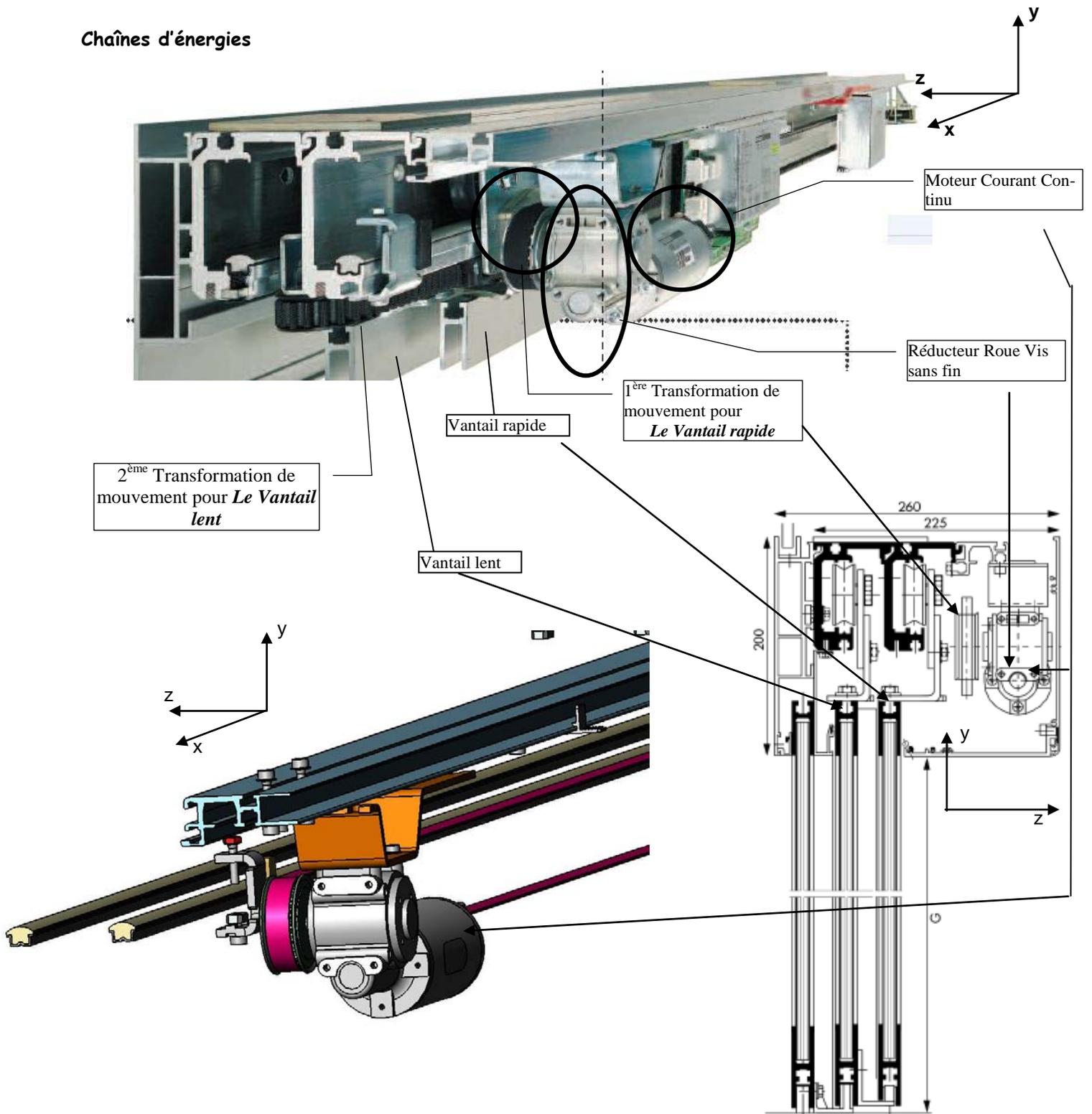
FC1 : s'adapter aux locaux (habitation, tertiaires...)

FC2 : alimenter en énergie électrique.

FC3 : respecter la réglementation en vigueur, suivant l'utilisation des locaux, visant à protéger les personnes et les biens.

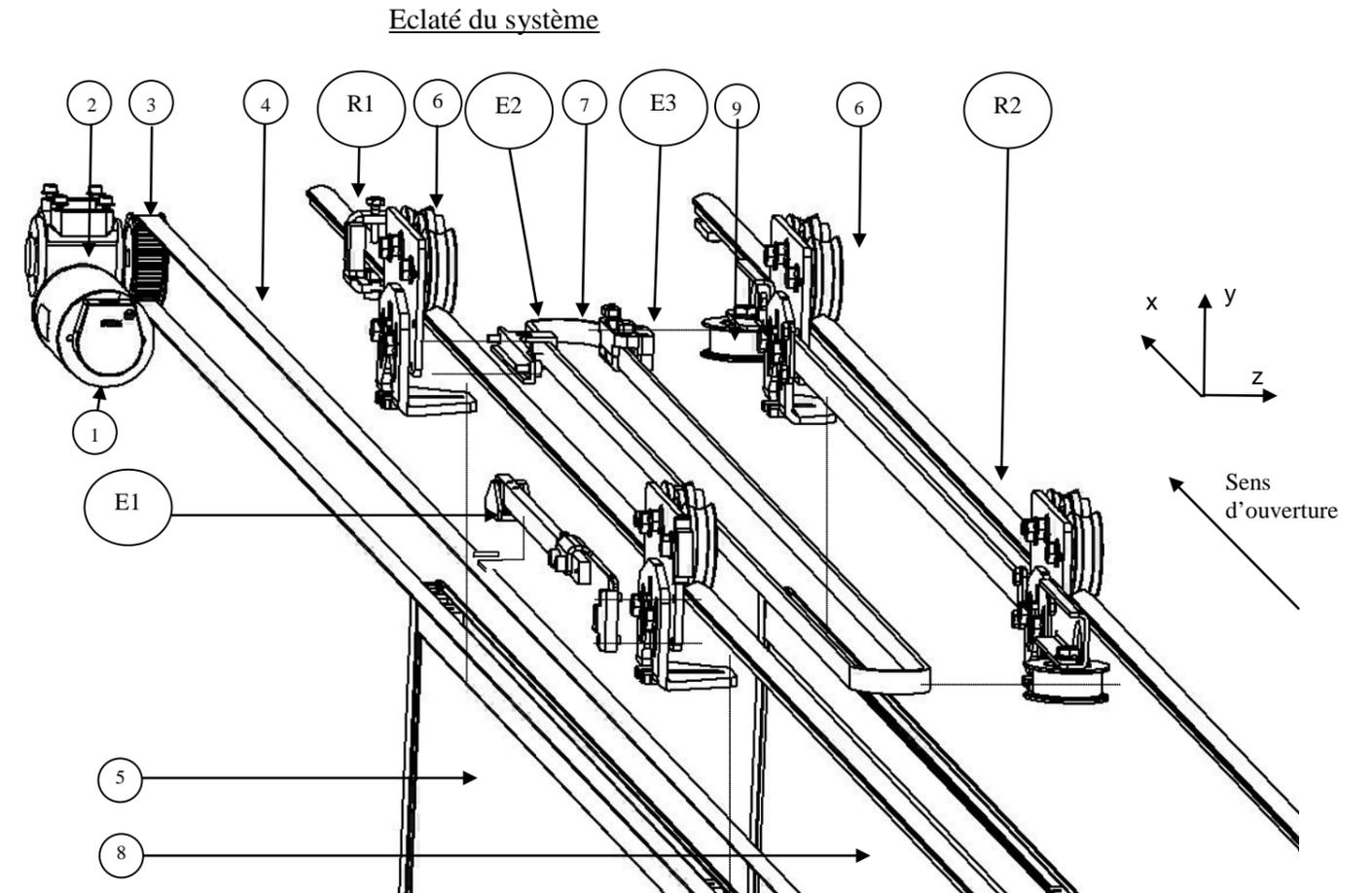
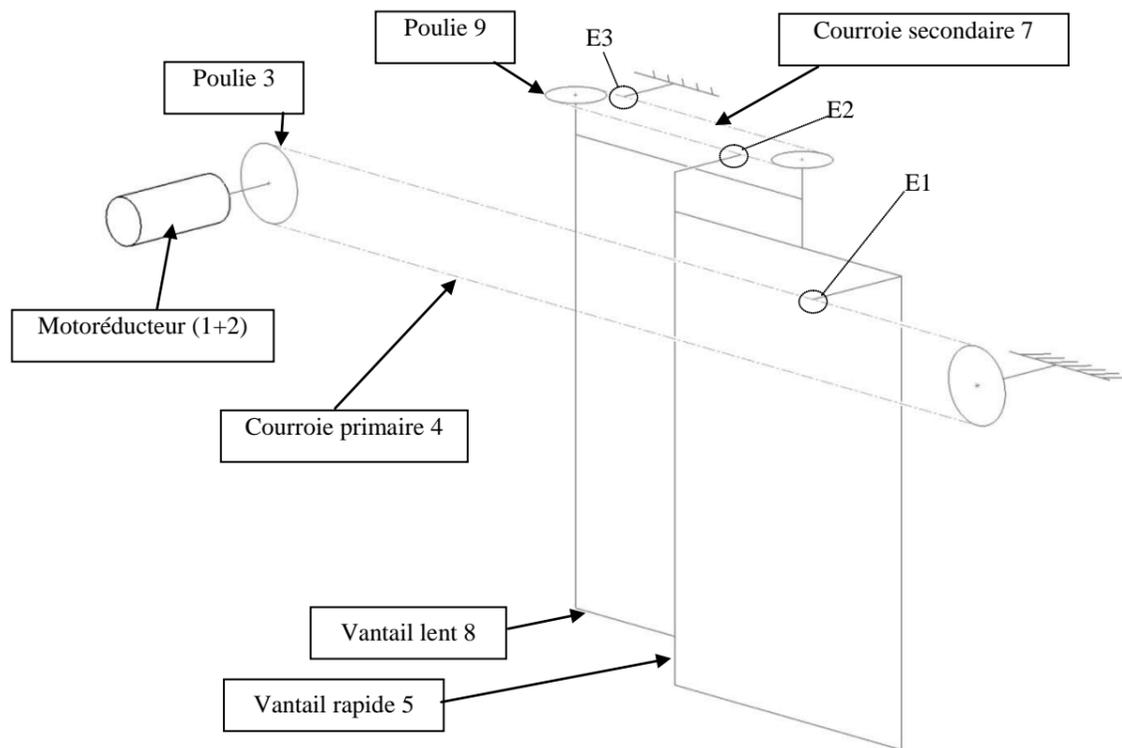
FC4 : permettre à l'utilisateur chargé de la gestion de la porte de configurer les modes de fonctionnement.

Chaînes d'énergies



Partie A- analyse fonctionnelle et cinématique du mécanisme.

Schéma de principe de la transmission de puissance entre le moteur et les vantaux.



Repère	Désignation de l'ensemble de pièces
1	Moteur
2	Réducteur roue vis sans fin
3	Poulie primaire (qté 2)
4	Courroie primaire
5	Vantail rapide
6	Galet de roulement (qté 8) 2 paires par vantail

Repère	Désignation de l'ensemble de pièces
7	Courroie secondaire
8	Vantail lent
9	Poulie secondaire (2)
R1	Rail fixe pour Vantail rapide (lié au bâti)
R2	Rail fixe pour vantail lent (lié au bâti)

Lors de la détection d'une personne, le moteur 1, lié au bâti, déplace la courroie primaire 4 par l'intermédiaire du réducteur 2 et de la poulie 3. Cette courroie, dans son mouvement, entraîne le vantail rapide 5 par la liaison encastrement E1.

Remarque : le vantail 5 est guidé en translation par deux paires de galets 6 qui roulent sur le rail fixe R1.

Le vantail 5 est également lié par une liaison encastrement E2 à l'un des brins de la courroie secondaire 7. Cette dernière entraîne la rotation des deux poulies secondaires 9. Les axes de ces deux poulies sont encastres sur le vantail lent 8. L'autre brin de la courroie 7 est fixé au bâti par la liaison encastrement E3.

Remarque : le vantail 8 est guidé en translation par deux paires de galets 6 qui roulent sur le rail fixe R2.

Consulter la modélisation cinématique partielle du système sur le DR2

Chaîne d'énergie et analyse fonctionnelle : sur le document réponse **DR1** figure le FAST partiel fonction FP1 des portes automatiques et la chaîne d'énergie correspondante.

Question A-1 : compléter les différentes parties du FAST partiel du système d'ouverture de portes (FP1) en vous aidant de l'introduction et de la chaîne d'énergie incomplète sur **DR1**.

Question A-2 : en vous aidant de tout ce qui précède et des termes ci-dessous, remplir les parties manquantes (répérées en pointillés) de la chaîne d'énergie qui se trouve sur le **DR1**.

V_{vl} : vitesse vantail lent	P_{vr} : puissance vantail rapide	P_r : puissance sortie de réducteur	V_{vr} : vitesse vantail rapide
C_m, ω_m	P_{vr} : puissance vantail lent	P_m : puissance sortie de moteur	F_{vr} : force sur vantail rapide
C_s, ω_s	F_{vl} : force sur vantail lent	I : intensité U : tension	Pertes

Modélisation du mécanisme et étude du mouvement :

Hypothèses : le mouvement s'effectue dans le plan (x, y).
les solides sont indéformables.

Données : le mouvement des portes est tel que celles-ci se recouvrent lors de leur ouverture.

Répondre aux questions suivantes sur le **DR2**

Question A-3 : en utilisant l'introduction, donner la nature du mouvement de chaque vantail : **5** et **8** en précisant les axes.

Question A-4 : indiquer la nature de la trajectoire des points $G_r, T_{Gr \in 5/b\grave{a}ti}$, et $G_l, T_{Gl \in 8/b\grave{a}ti}$, appartenant respectivement au vantail rapide **5** et au vantail lent **8**. Tracer ces trajectoires sur **DR2**.

Question A-5 : en déduire quels sont les noms et les caractéristiques des liaisons $L_{5/b\grave{a}ti}$ et $L_{8/b\grave{a}ti}$.

Question A-6 : compléter ensuite le schéma cinématique sur **DR2** en représentant ces liaisons entre les vantaux et le bâti.

Partie B : caractéristiques cinématiques du mouvement des vantaux

Nous allons dans cette partie déterminer les grandeurs caractéristiques (accélération, vitesse et position) du mouvement des vantaux afin de pouvoir par la suite mener une étude dynamique en vue de valider le dimensionnement du moteur.

Les vantaux sont animés d'un mouvement de translation rectiligne. Ce déplacement est décomposé en trois phases.

Équations horaires générales d'un mouvement uniformément varié

$x(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$	en m
$v(t) = at + v_0$	en m/s
$a(t) = \text{constante}$	en m/s ²

Avec :

v_0 la vitesse à l'instant choisi comme origine des temps en m/s

x_0 la position à l'instant choisi comme origine des temps en m

Données pour le mouvement particulier des vantaux en phase de fermeture

Le vantail lent **va deux fois moins vite** que le vantail rapide.

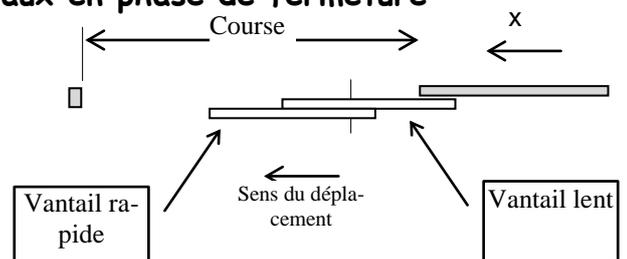
La course du vantail rapide est de 3 m.

Le temps total d'ouverture est de $t_f = 7$ s.

La vitesse maximale du vantail rapide est de 0,7 m/s.

La durée de la phase d'accélération est de 1,8 s.

La durée de la phase à vitesse constante est de 1,57 s.



<i>Phase 1</i>	<i>Phase 2</i>	<i>Phase 3</i>
<i>Accélération constante</i>	<i>Accélération nulle</i>	<i>Décélération constante</i>
$a(t) = a_{r1}$	$a(t) = 0$	$a(t) = a_{r3}$
$t_1 = 1,8 \text{ s}$		$t_f = 7 \text{ s}$
<i>Conditions limites</i>		
$v(0) = v_0 = 0 \text{ m/s}$ $v(1,8) = 0,7 \text{ m/s}$ $x(0) = x_0 = 0 \text{ m}$	$v(1,8) = 0,7 \text{ m/s}$	$v(7) = 0 \text{ m/s}$ $x(7) = 3 \text{ m}$

Répondre sur feuille de copie

Question B-1 : déterminer l'accélération du vantail rapide pour la phase 1 : a_{r1} .

Question B-2 : déterminer la position du vantail rapide à la fin de la phase 1 : $x(1,8)$.

Question B-3 : déterminer la position du vantail rapide à la fin de la phase 2.

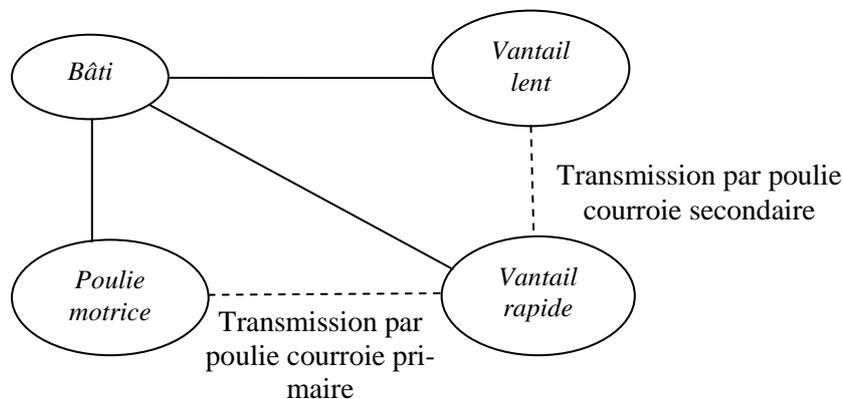
Question B-4 : déterminer l'accélération du vantail rapide pour la phase 3 : a_{r3}

Question B-5 : déterminer l'accélération du vantail lent pour les phases 1 et 3 : a_{l1} et a_{l3}

(Rappel : le vantail lent **va deux fois moins** vite que le vantail rapide)

Partie C : détermination des efforts dans la courroie de transmission primaire.

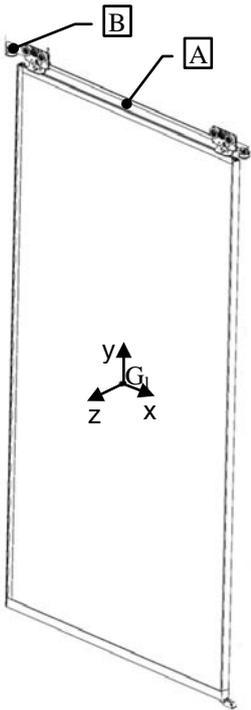
Nous vous présentons ci-dessous le graphe de liaison incomplet du mécanisme.



La phase du mouvement ou le moteur est le plus sollicité est la phase 1.

Étude de l'équilibre du vantail lent lors de la phase 1 d'accélération

Nous isolons dans cette partie le vantail lent et nous allons appliquer le principe fondamental de la dynamique à son centre de masse G_l avec les hypothèses suivantes :



Les liaisons sont parfaites

Le brin mou de la courroie a une tension nulle.

$a_{11} = 0,195 \text{ x en m/s}^2$

$M_{\text{vantail lent}} = 130 \text{ kg}$

Le système « vantail lent » est animé d'un mouvement de translation et est soumis aux actions mécaniques extérieures suivantes :

- Son poids : $\vec{P}_{\text{vantail lent}} = -M_{\text{vantail lent}} \times g \times \vec{y}$
- L'action de la glissière avec le bâti $\{\tau(\text{Bâti} \rightarrow \text{Vantail lent})\}$ que nous réduirons au point A.

Nous rappelons la forme générale du torseur des actions transmissibles par une liaison :

$$\{\tau(S_1 \rightarrow S_2)\} = \begin{Bmatrix} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ Z_A & N_A \end{Bmatrix}_A \quad (\mathcal{R}_{A, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}})$$

- L'action de la courroie secondaire sur le vantail lent qui sera modélisée par un glisseur de la forme :

$$\{\tau(\text{Courroie secondaire} \rightarrow \text{vantail lent})\} = \begin{Bmatrix} X_B & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_B \quad (\mathcal{R}_{B, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}) \text{ avec B.}$$

Formules générales :

Question C-1 : écrire le principe fondamental de la dynamique sous forme vectorielle au centre de masse du système.

Application à notre système :

Question C-2 : y-a-t-il une ou plusieurs composantes nulles dans le torseur $\{\tau(\text{Bâti} \rightarrow \text{Vantail lent})\}$. Si oui, laquelle ou lesquelles ?

Question C-3 : écrire l'équation de la résultante en projection sur x.

Question C-4 : en déduire la valeur de X_B .

Étude de l'équilibre du vantail rapide lors de la phase 1 d'accélération

Nous recherchons, dans cette partie, à déterminer l'effort qu'exerce la courroie primaire sur le vantail rapide au pont E, avec les hypothèses suivantes :

Les liaisons sont parfaites.

Le brin mou de la courroie a une tension nulle.

$X_B = 25 \text{ N}$

$a_{r1} = 0,39 \text{ x en m/s}^2$.

$M_{\text{vantail rapide}} = M_{\text{vantail lent}} = M = 130 \text{ kg}$.

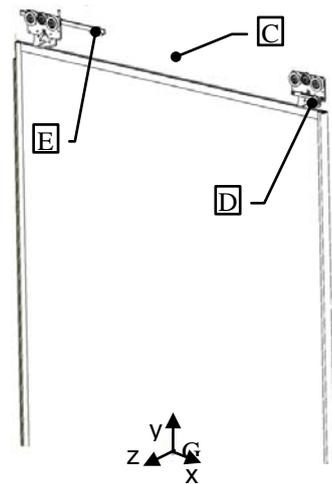
Le système « vantail rapide » est animé d'un mouvement de translation et est soumis aux actions mécaniques extérieures suivantes :

- Son poids : $\vec{P}_{\text{vantail rapide}}$
- L'action de la glissière avec le bâti que nous réduirons au point C et qui sera modélisée par un torseur de la forme :

$$\{\tau(\text{Bâti} \rightarrow \text{vantail rapide})\} = \begin{Bmatrix} 0 & L_C \\ Y_C & M_C \\ Z_C & N_C \end{Bmatrix}_C \quad (\mathcal{R}_{C, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}}) \text{ avec C.}$$

$$\begin{Bmatrix} X_D & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_D \quad (\mathcal{R}_{D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}})$$

- L'action de la courroie secondaire sur le vantail rapide au point D :



- L'action de la courroie primaire sur le vantail rapide qui sera modélisée par un glisseur de la forme :

$$\{\tau(\text{Courroie primaire} \rightarrow \text{vantail rapide})\} = \begin{Bmatrix} X_E & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{Bmatrix}_{\substack{E \\ (\vec{x}_E, \vec{z}_E)}} \text{ au point E.}$$

Question C-5 : en considérant le brin de courroie entre le vantail lent et le vantail rapide comme un solide parfait en équilibre sous l'action de deux glisseurs :

$\{\tau(\text{vantail lent} \rightarrow \text{Courroie secondaire})\}$ et $\{\tau(\text{vantail rapide} \rightarrow \text{Courroie secondaire})\}$, déterminer complètement $\{\tau(\text{Courroie secondaire} \rightarrow \text{vantail rapide})\}$ au point D.

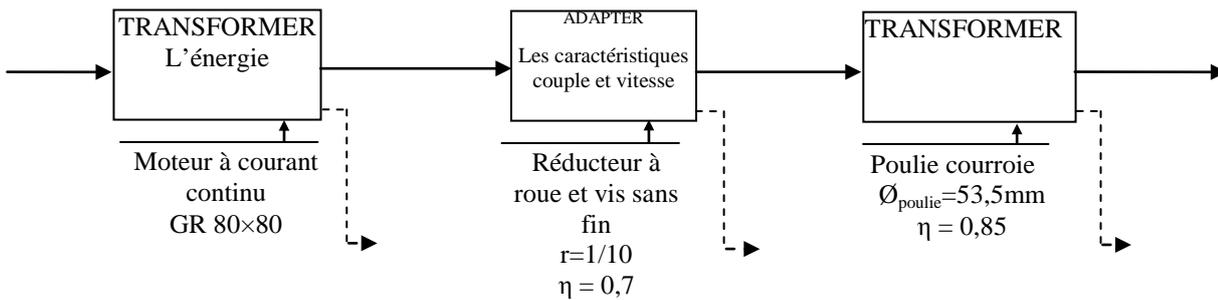
Question C-6 : décrire la démarche permettant de déterminer $\{\tau(\text{Courroie primaire} \rightarrow \text{vantail rapide})\}$. (Système isolé, principe appliqué, équation écrite).

Question C-7 : cette démarche nous permet d'obtenir l'équation suivante : $X_E = -\frac{3}{2} \times M \times \|\vec{a}_{r1}\|$.
En déduire X_E .

Partie D : validation du dimensionnement du moteur

Quel que soit le résultat obtenu précédemment on prendra l'effort exercé par la courroie sur le vantail rapide $F_{vr} = 76 \text{ N}$.

Graphe de transmission de puissance partiel :



Question D-1 : calculer P_{vr} à l'instant $t = 1,8 \text{ s}$

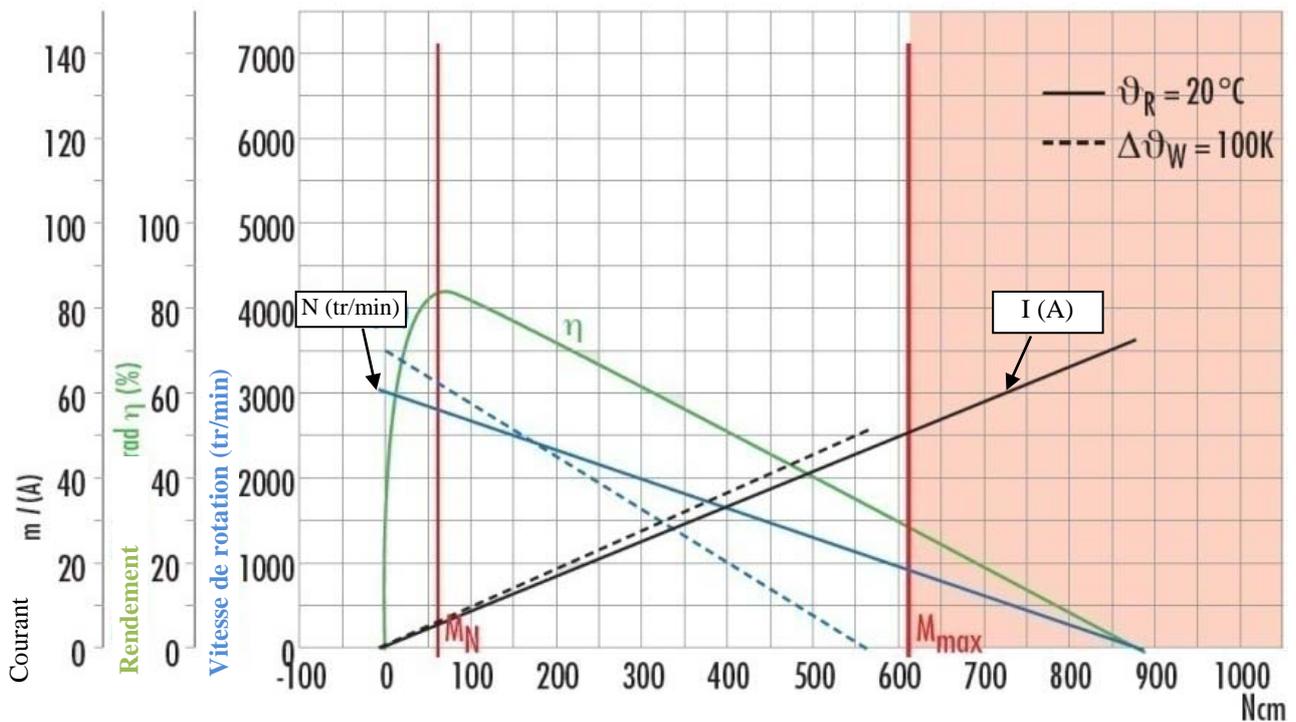
Question D-2 : en déduire la puissance en sortie du moteur : P_m

Question D-3 : calculer la vitesse de rotation en sortie du réducteur ω_s au même instant.

Question D-4 : en déduire la vitesse de rotation en sortie du moteur ω_m au même instant.

Question D-5 : calculer le couple en sortie du moteur C_m au même instant.

Question D-6 : à partir de la courbe de rendement du moteur page suivante, vérifier que le moteur fonctionne dans une plage de rendement optimum.



GR 80x80, 40V

Le système étudié peut être doté d'une batterie de secours qui en cas de défaut d'électricité **doit assurer 200 cycles d'ouverture-fermeture**. Le graphe du **DR3** représente la puissance moteur en fonction du temps sur une phase complète de fermeture. Dans cette simulation numérique les liaisons n'ont pas été considérées parfaites. L'effort résistant dans chaque glissière a été pris égal à 10 N.

Question D-7 : sur **DR3** indiquer sur l'axe des temps les instants t_1 , fin de la phase 1 d'accélération, et t_2 fin de la phase 2 à vitesse constante.

Pour dimensionner la batterie il faut obtenir l'énergie dépensée au cours d'un cycle de fermeture

On rappelle que : $W = P \times t$ avec W en Joule, P en Watt et t en secondes

Question D-8 : colorier sur **DR3** l'aire représentant l'énergie dépensée au cours d'un cycle de fermeture.

Un calcul de cette aire donne 162 Joules.

Question D-9 : calculer la dépense énergétique nécessaire à 200 cycles d'ouverture-fermeture. Préciser les hypothèses de votre calcul (énergie dépensée pour une ouverture).

Sachant que la capacité massique d'une batterie nickel - cadmium (Ni - Cd) est de l'ordre de 50 Wh par kg et que $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$.

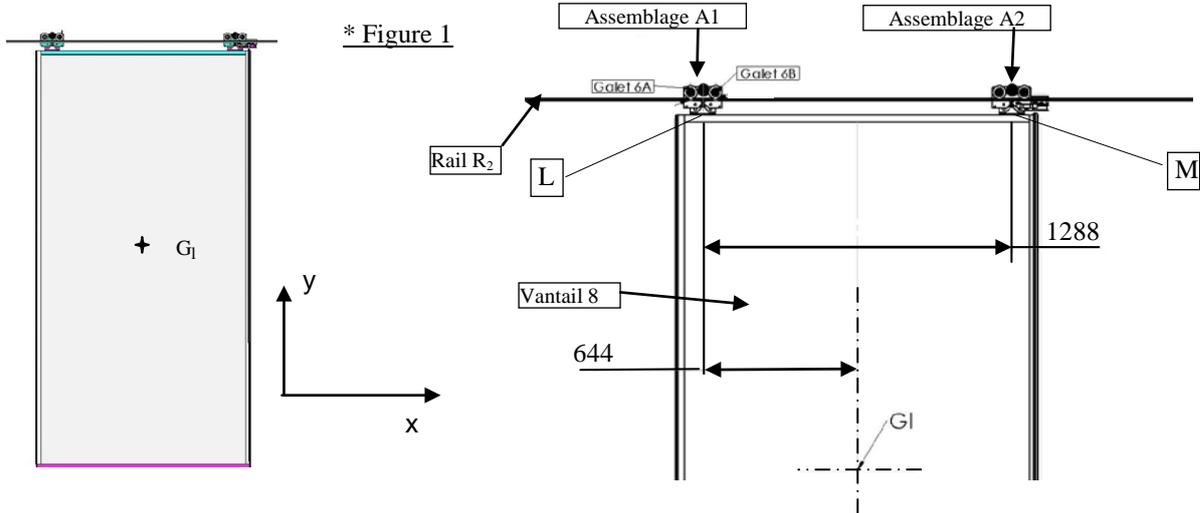
Question D-10 : calculer la masse de batterie Ni-Cd nécessaire pour satisfaire le cahier des charges.

Partie E : analyse des efforts sur les galets et dimensionnement

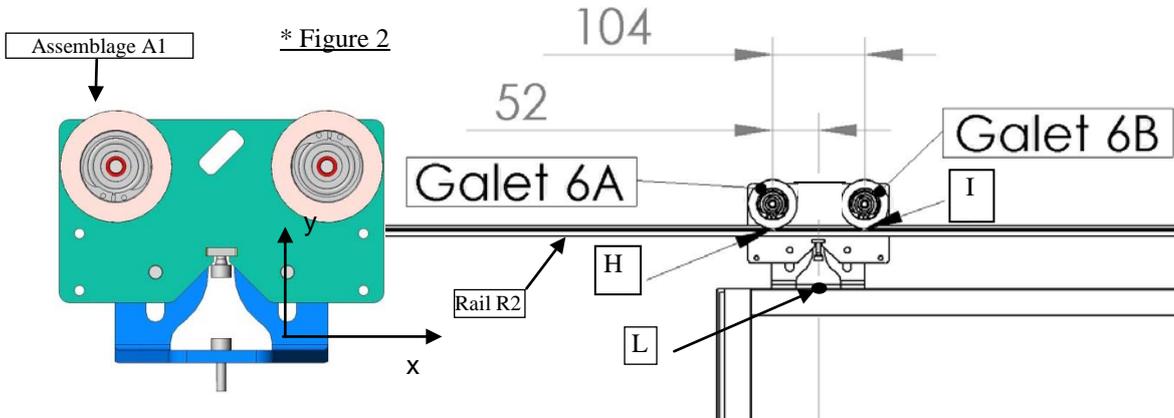
Dans cette partie nous déterminerons les efforts engendrés sur les axes de chaque galet pour faire coulisser les portes sur les rails fixes R1 ou R2 liés au bâti.

Présentation :

Nous avons vu précédemment que chaque porte coulissait sur un rail lié au bâti par l'intermédiaire de 2 assemblages A1 et A2, liés au vantail lent 8, composés chacun de deux galets 6.



L'étude est faite dans le plan de la porte (x, y), dans le cas de la charge maximum (porte de 130 kg), le poids étant porté par la droite verticale passant par le point G_1 centre de gravité du vantail lent.



On assimilera le contact entre chaque galet 6 et le rail R2 à un contact ponctuel de normale y. L'action de la pesanteur est modélisée par :

- le vecteur $\mathcal{E}P_1$, poids du vantail, dont la masse est de 130 kg.
- on prendra $g = 10 \text{ m/s}^2$

Pour déterminer l'effort sur chaque galet, on procédera par isolements successifs :

* dans un premier temps, on isolera la porte 8 sans les assemblages A1 et A2, on déterminera ainsi les efforts en L et M, $\|\mathcal{E}L_{A1/8}\|$, $\|\mathcal{E}M_{A2/8}\|$, lieux des encastremets par vis entre le vantail 8 et les assemblages A1 et A2 (figure1).

* dans un second temps, on isolera l'assemblage A1 et on déterminera $\|\mathcal{E}H_{R2/6A}\|$, $\|\mathcal{E}I_{R2/6B}\|$, connaissant $\|\mathcal{E}L_{8/A1}\|$, (Les galets 6A et 6B appartenant à l'assemblage A1). (figure2)

Répondre sur feuille de copie

Question E-1 : on isole le vantail lent 8, (fig. 1), faire le bilan des actions mécaniques extérieures s'exerçant sur cet ensemble.

Question E-2 : déterminer, par la méthode de votre choix, $\|\mathbf{EL}_{A1/8}\|$, $\|\mathbf{EM}_{A2/8}\|$.

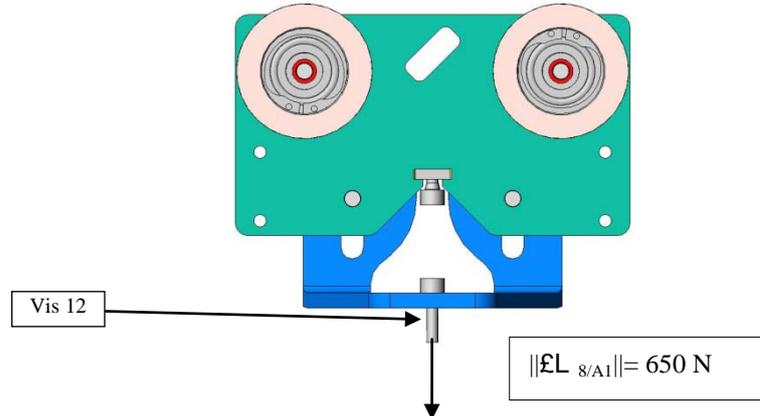
Question E-3 : on isole désormais l'assemblage **A1**, faire le bilan des actions mécaniques extérieures.

Quel que soit le résultat trouvé précédemment on prendra $\|\mathbf{EL}_{8/A1}\| = 650 \text{ N}$.

Question E-4 : déterminer par une méthode similaire les efforts du rail sur les galets en H et I :
 $\|\mathbf{EH}_{R2/6A}\|$, $\|\mathbf{EI}_{R2/6B}\|$.

Vérification du dimensionnement des vis 12.

On connaît désormais l'effort auquel est soumise la vis **12** réalisant l'assemblage entre **A1** et le vantail lent **8**



Question E-5 : déterminer la nature de la sollicitation à laquelle est soumise la vis **12**.

Rappel : ce type de sollicitation doit vérifier la condition de résistance suivante :

$$\sigma_{\max} = K_t \times \frac{N}{S} \leq R_{pe}$$

Avec :

* R_{pe} : résistance pratique à l'extension : $R_{pe} = R_e / s$

R_e : la résistance élastique d'une vis en acier : $R_e = 240 \text{ Mpa (N/mm}^2)$

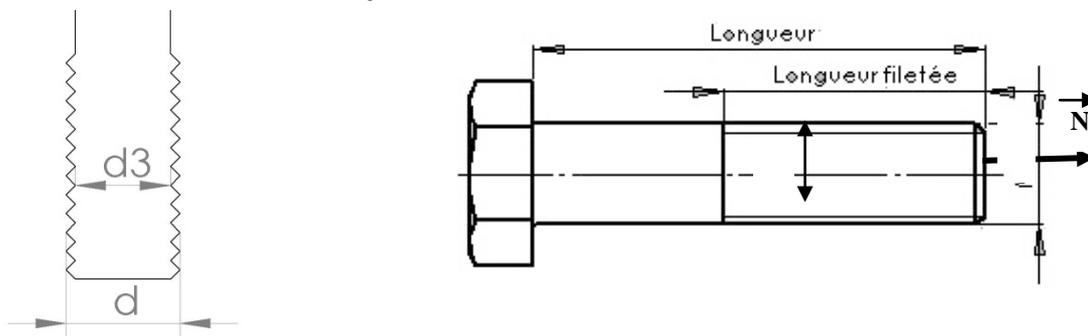
s : coefficient de sécurité (sécurité des personnes) : $s = 4$

* S : surface soumise à la sollicitation.

* N : effort en Newton.

* K_t : coefficient concentration de contrainte due au filetage de la vis. $K_t = 2,5$.

Question E-6 : à l'aide des figures suivantes, préciser quel diamètre (d_3 ou d), il faut considérer pour le calcul de notre surface S soumise à la sollicitation, justifier.



sachant que : $d = 8 \text{ mm}$
 $d_3 = d - 1,2268 \times p$

avec p le pas égal à $1,25 \text{ mm}$

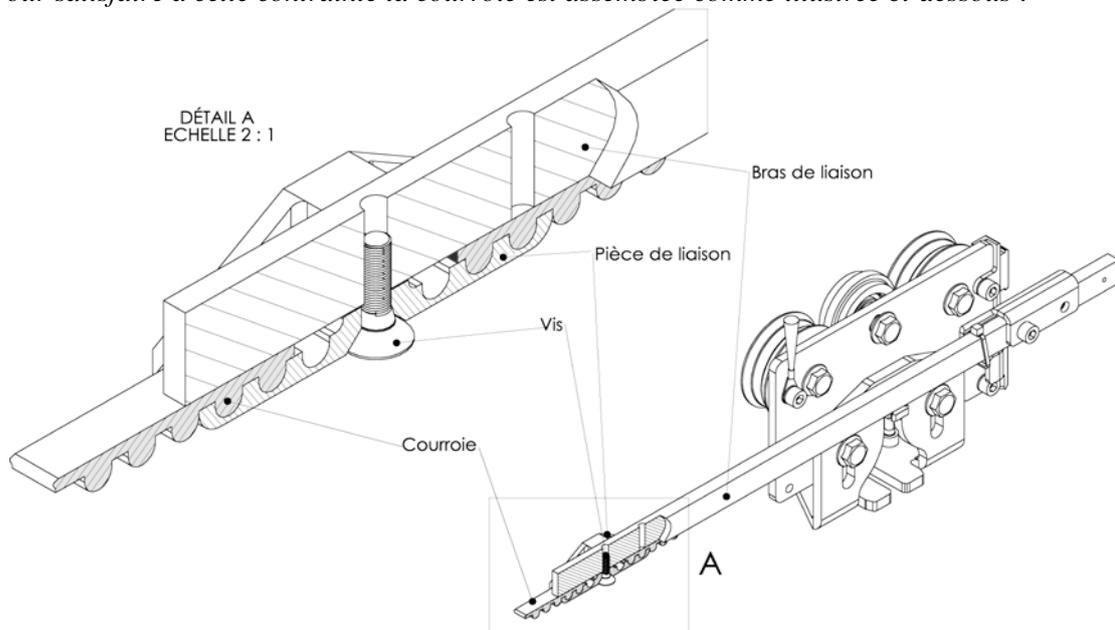
Question E-7 : calculer la surface soumise à la sollicitation : S

Question E-8 : calculer σ_{\max} et R_{pe} .

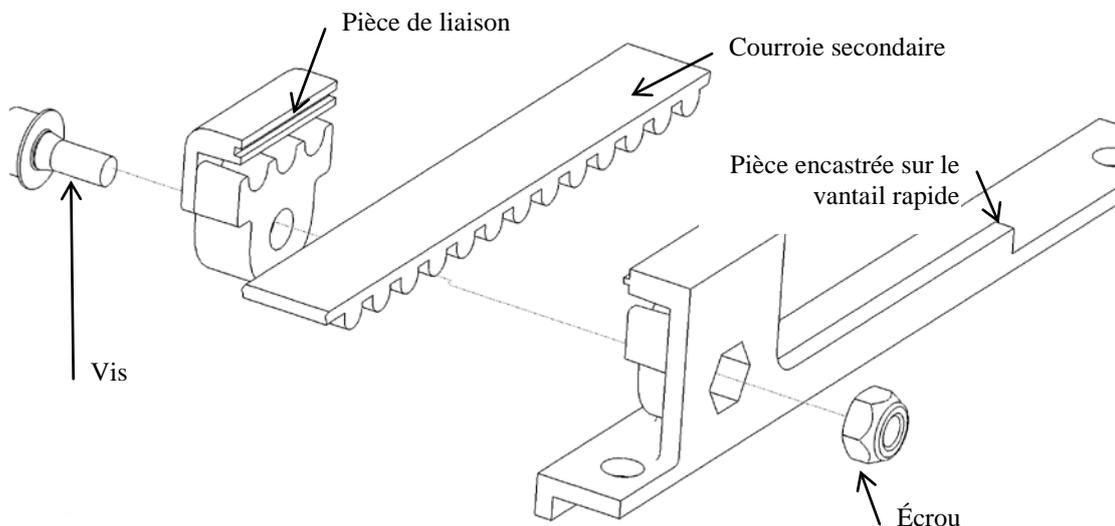
Préciser si le choix de la vis de diamètre nominal 8 mm est judicieux, justifier.

Partie F : analyse de la liaison entre la courroie primaire et le vantail rapide

La solution actuelle tient compte des différentes largeurs de portes et donc impose des longueurs de courroie variables. Pour satisfaire à cette contrainte la courroie est assemblée comme illustrée ci-dessous :



Le souhait de la société est maintenant de ne plus avoir à assembler la courroie lors du montage des portes pour des raisons de résistance de cette dernière. Il s'agit donc de lier une courroie, qui n'est pas coupée, au bras de liaison. Il faudra conserver la forme du bras de liaison comme il est représenté sur le **DR4**, il est par contre possible d'effectuer tout enlèvement de matière nécessaire à votre solution. La réalisation de la liaison entre la courroie secondaire et le vantail rapide décrite ci-dessous peut vous inspirer.



Sur le **DR4** faire :

Question F-1 : sur la vue en perspective, la description de la solution que vous avez imaginée en prenant soin de préciser :

- la désignation des éléments normalisés nécessaires à l'assemblage.
- la forme des pièces. Sur cette perspective à main levée indiquer quelles surfaces de votre pièce viennent en contact avec quelle surface des pièces déjà présentes.

Question F-2 : sur les vues planes, représenter votre solution en coupe de manière à la définir complètement.

DOSSIER "DOCUMENTS RÉPONSES"

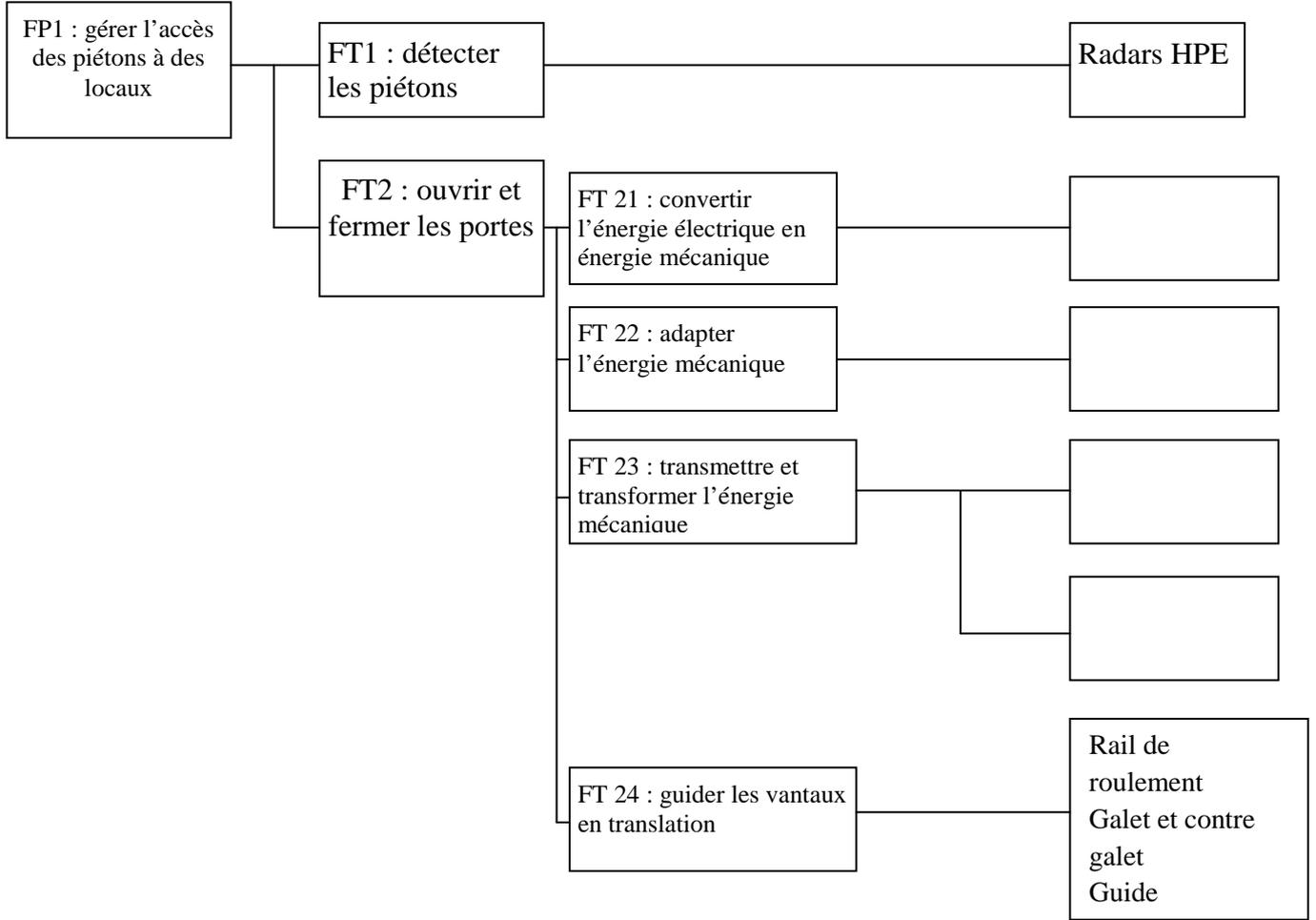
Ce dossier comporte 4 documents numérotés de DR1 à DR4.

DR 1 et 2	Étude cinématique du système
DR 3	Courbe de puissance
DR 4	Représentation de la liaison

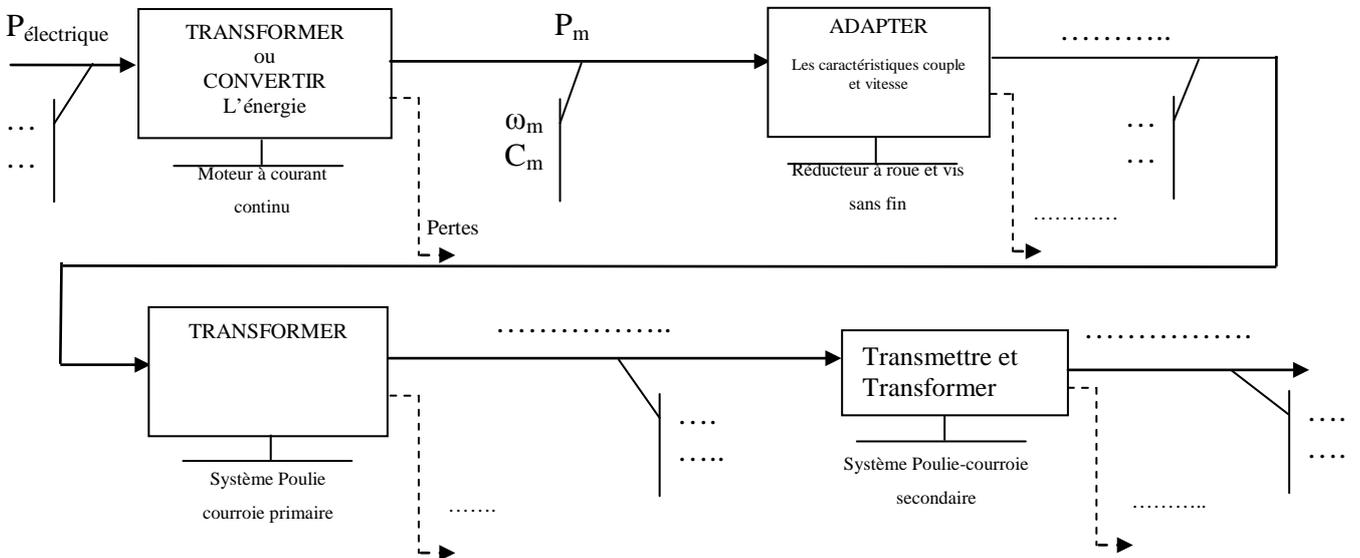
Question A-1 :

F.A.S.T. partiel des portes

Ne sont développées que les solutions étudiées dans la suite.



Question A-2 :



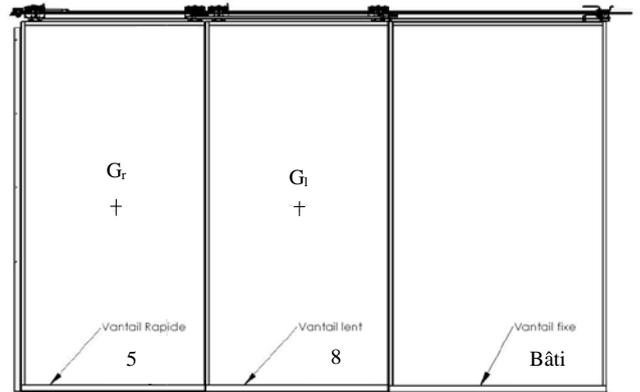
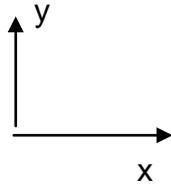
Question A-3 :

Mvt 5/bâti :
 Mvt 8/bâti :

Question A-4 :

T Gr ∈5/bâti :
 T Gr ∈8/bâti :

Tracé des trajectoires ci-contre :



Question A-5 :

L5/bâti :
 L8/bâti :

Question A-6 :

Dessiner les liaisons manquantes :

