

SESSION 2011

**CAPET
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

Section : TECHNOLOGIE

**ÉCRIT 2
ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ
OU D'UNE ORGANISATION**

Durée : 5 heures

Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

Instructions

Ce document comprend :

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| – un énoncé du sujet | pages 2 à 29 ; |
| – des documents annexes | Annexes 1 à 8 ; |
| – des documents réponse | Documents réponse 1 à 4. |

Il est fortement conseillé au candidat de lire la totalité du sujet avant de composer. La répartition du temps à consacrer à chaque partie est environ la suivante :

- | | |
|----------------------------|----------|
| – lecture du sujet : | 15 min ; |
| – 1 ^{re} partie : | 3 h ; |
| – 2 ^e partie : | 1 h 45. |

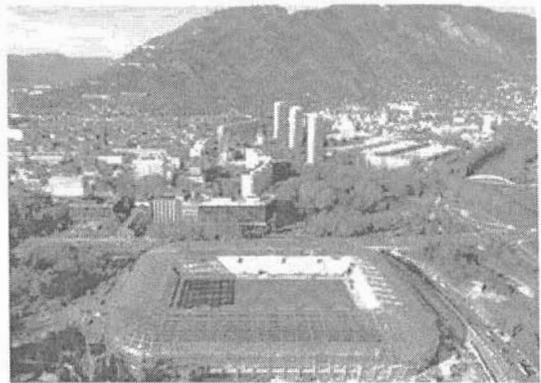
Les résultats devront être encadrés.

Le Stade des Alpes

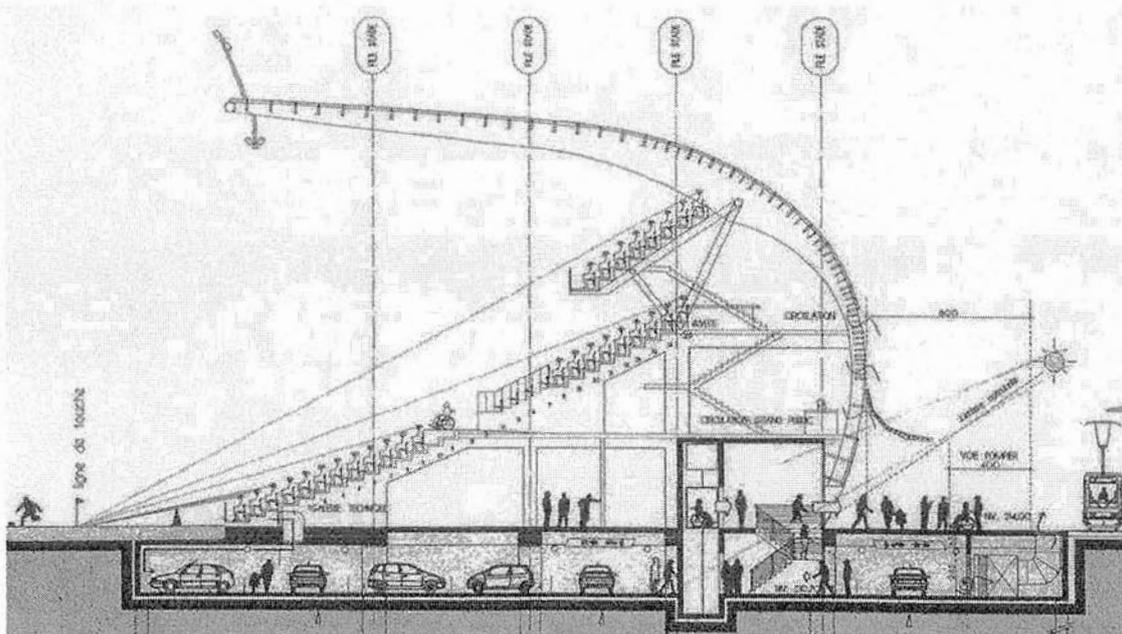
Situé en plein cœur de l'agglomération grenobloise, à deux pas du centre-ville, le Stade des Alpes a été inauguré en février 2008.

C'est aujourd'hui l'un des stades les plus modernes de France.

D'une capacité de 20 000 places, il accueille de nombreuses manifestations sportives, culturelles ou économiques d'envergure régionale, nationale ou internationale. Si le Stade des Alpes accueille principalement l'équipe de football de Grenoble, il propose par ailleurs de louer tout ou partie de l'équipement pour l'organisation de manifestations, conférences ou séminaires aux entreprises, collectivités, associations.



Le Stade des Alpes s'inscrit dans une démarche cohérente de développement durable avec un plan de gestion des déplacements des spectateurs et une part de production interne d'électricité. Ses formes galbées et ses jeux de transparence l'intègrent parfaitement à l'environnement. La forme, le volume et l'emprise au sol du bâtiment ont un impact réduit sur les espaces environnants. Sa hauteur en fait un équipement s'insérant harmonieusement dans un parc de verdure. La verrière laisse circuler la lumière et ouvre des perspectives sur les paysages avoisinants. Autant esthétique qu'efficace : elle protège le public des intempéries. Particulièrement accessible, le Stade des Alpes offre toutes les prestations de confort et de sécurité nécessaires au bon déroulement des événements qu'il accueille.



Lors de la réalisation, l'équipe conceptrice a été confrontée à une multitude de choix et de problématiques. Les aspects économique, écologie, esthétique, la localisation, les transports, les prévisions d'utilisation (capacité et polyvalence des lieux), etc. ont été étudiées et analysées avec précision. Le présent sujet amènera le candidat à valider deux problématiques majeures parmi toutes celles rencontrées, à savoir la gestion d'une foule importante de spectateurs et la qualité irréprochable de la surface technique (pelouse).

Analyse Fonctionnelle

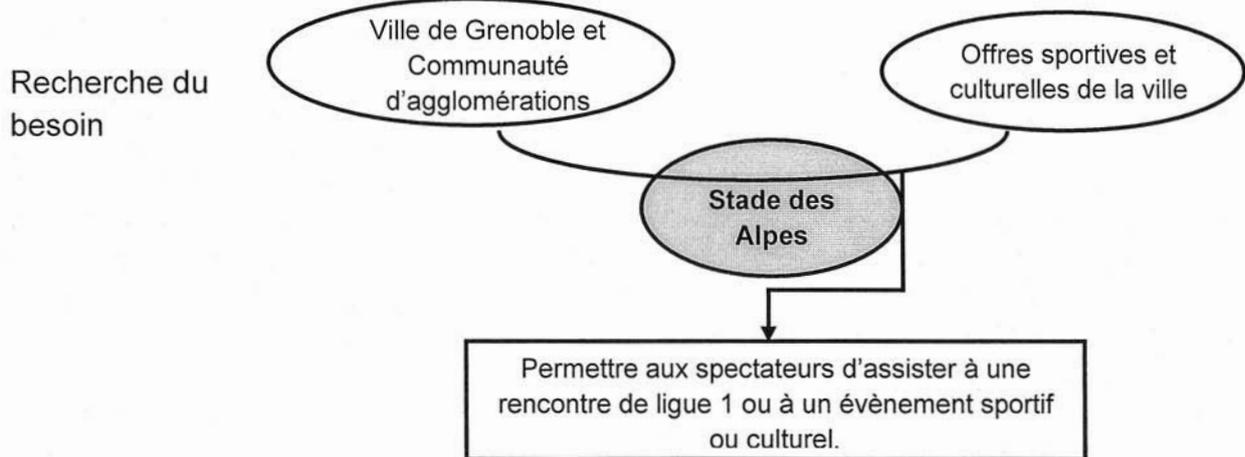
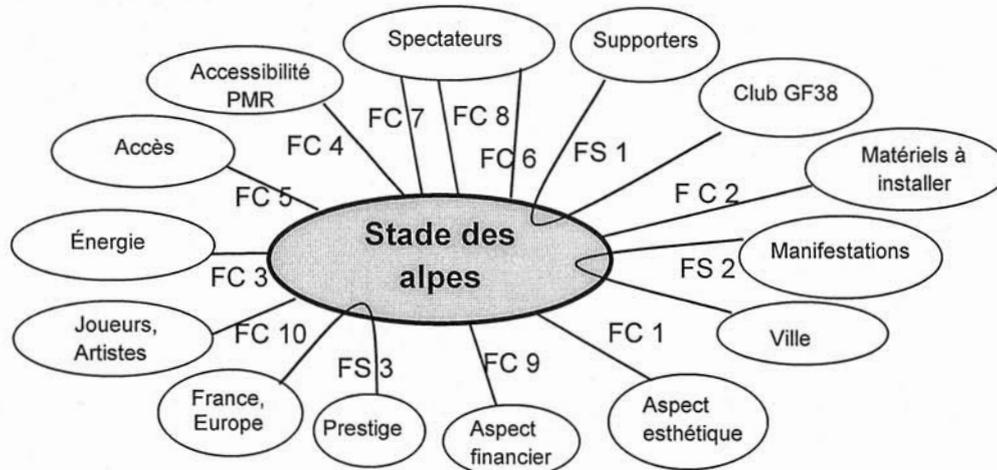


Diagramme des interacteurs. Phase de vie considérée : Exploitation du stade.



- FS 1 : Permettre aux supporters d'assister à une rencontre de football de ligue 1.
- FS 2 : Permettre à la ville d'organiser des manifestations sportives et culturelles.
- FS 3 : Permettre à la ville de véhiculer une image de prestige à l'échelon national, voire européen.
- FC 1 : S'intégrer harmonieusement au paysage.
- FC 2 : Faciliter l'installation matérielle des spectacles culturels.
- FC 3 : Optimiser la consommation électrique.
- FC 4 : Garantir l'accès aux personnes à mobilité réduite.
- FC 5 : Permettre l'accès par les transports « doux », mais aussi aux voitures.
- FC 6 : Assurer le confort et la sécurité des spectateurs.
- FC 7 : Vérifier l'accès et compter les spectateurs.
- FC 8 : Canaliser le flux des spectateurs et maîtriser la durée des entrées et des sorties.
- FC 9 : Être rentable.

Caractérisation partielle des fonctions de service étudiées

Fonction de Service	Critères	Niveaux
FS 1 : Permettre aux spectateurs d'assister à une rencontre de ligue1 du GF38.	<ul style="list-style-type: none"> – Nombre de places assises. – Respect des exigences formulées par la ligue : <ul style="list-style-type: none"> – dimensions du terrain ; – dimensions de la surface engazonnée ; – qualité du terrain : <ul style="list-style-type: none"> – sol ; – hauteur gazon. – éclairage (principal + remplacement) : <ul style="list-style-type: none"> – luminosité minimale ; – rampe des projecteurs ; – nombre de panneaux d'affichage du score. – Espaces pour les médias et sponsors : <ul style="list-style-type: none"> – positionnement des caméras ; – positionnement des commentateurs. – Dimension et nombre de vestiaires. – Loge contrôle anti dopage. – Nombre de places ou loges pour « VIP ». – Disponibilité du stade lors des matchs à domicile. 	<p>20 000 places</p> <p>105 × 68 m 120 × 75 m</p> <p>Substrat TERRAFOOT 25 mm</p> <p>1600 lux L : 21 m × l : 75 m 1</p> <p>10 loges totale</p>
FC 7 : Vérifier l'accès et compter les spectateurs.	<ul style="list-style-type: none"> – Nombre de spectateurs intrus toléré. – Portillons sécurisés. 	
FC 8 : Canaliser le flux des spectateurs et maîtriser la durée des entrées et des sorties.	<ul style="list-style-type: none"> – Densité des personnes par lieu de passage. – Durée maximale des entrées et des sorties. 	30 min

(suite en Annexe 5).

Le sujet est articulé autour des deux problématiques citées en introduction :

- la gestion du flux des spectateurs ;
- la gestion de l'arrosage de la pelouse.

1^{re} problématique : Analyse des flux de spectateurs

Fonction de service FC 8 : Canaliser le flux des spectateurs et maîtriser la durée des entrées et des sorties.

L'analyse sera conduite dans le cas le plus défavorable où la capacité du stade est atteinte.

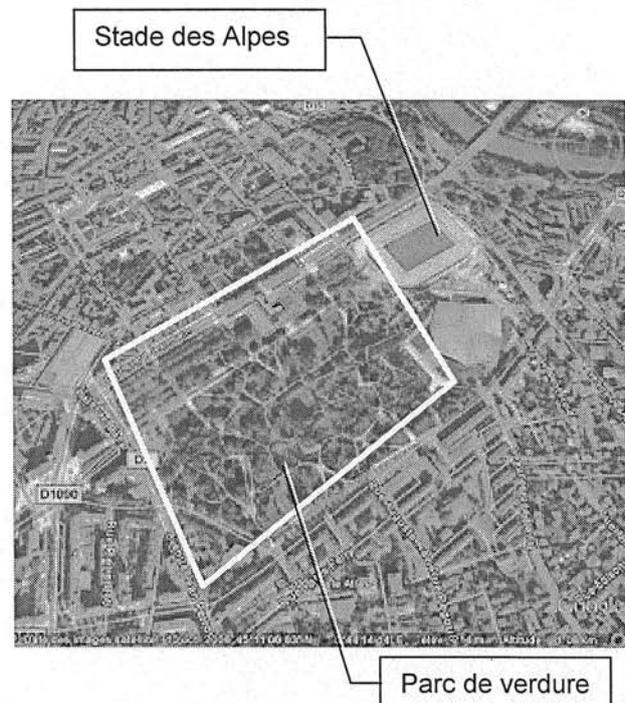
Dans cette situation, un dispositif particulier de sécurité est mis en place afin d'éviter tout débordement de foule.

A - Objectif : Valider la capacité d'écoulement du flux des spectateurs prenant le tramway en moins d'une demi-heure.

Le stade des Alpes est desservi par quatre grandes lignes de tramway dont la cadence est renforcée les soirs de match. Le stade est également très facilement accessible à pied et à vélo.

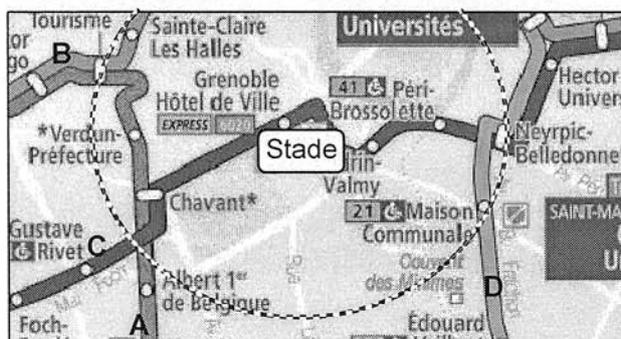
Pour les visiteurs plus éloignés, les parc-relais (parkings en périphérie de la ville) de l'agglomération sont mis à disposition avec transport en bus jusqu'au stade.

Une étude statistique, vérifiée au cours des matchs, montre qu'un tiers des spectateurs utilise les transports publics pour se rendre sur place, un autre tiers se déplace à pied et le dernier tiers en voiture.



L'infrastructure des accès au stade à pied joue un rôle de préfiltrage (au travers du parc par exemple) pour les spectateurs venant de l'hypercentre et des arrêts de tramway : les trottoirs du boulevard et les allées du parc, largement dimensionnés, supportent l'afflux d'une foule.

La répartition (calculée par rapport à la moyenne journalière des personnes transportées) des usagers entre les lignes de tramway A, B, C et D se fait à :



Plan du réseau de tramways autour du Stade avec cercle de rayon 400 m

- 29% sur la ligne A, répartition 64% et 36% entre les 2 sens de circulation ;
- 13% sur la ligne B, répartition 46% et 54% entre les 2 sens de circulation ;
- 49% sur la ligne C, répartition égale dans les 2 sens de circulation ;
- 9% sur la ligne D, répartition égale dans les 2 sens de circulation.

Le flux de spectateurs à maîtriser en tout premier lieu est celui lié à la sortie du stade, en fin de manifestation, pour éviter tout débordement.

L'objectif imposé est de transporter le maximum de spectateurs dans la première demi-heure qui suit la fin du match.

La capacité d'un tramway est de 174 personnes. L'hypothèse retenue est que, lors de la prise en charge des usagers, les rames sont quasiment vides (15% seulement de fréquentation, soit environ 150 places encore disponibles). Un renforcement de la fréquence et la fermeture des stations les plus proches de la sortie du stade sont mis en place.

La circulation des tramways, en fin de manifestation, est organisée en rafales (soit toutes les 5 minutes, soit toutes les 2 à 3 minutes).

- Q1)** Quelle ligne va être la première à arriver à saturation ? Calculer le nombre de tramways nécessaires sur cette ligne ?
- Q2)** Pour respecter l'objectif imposé, quelle devra être la cadence des tramways sur cette ligne ? Commenter. Proposer une explication du choix des organisateurs de fermer les 2 stations les plus proches.

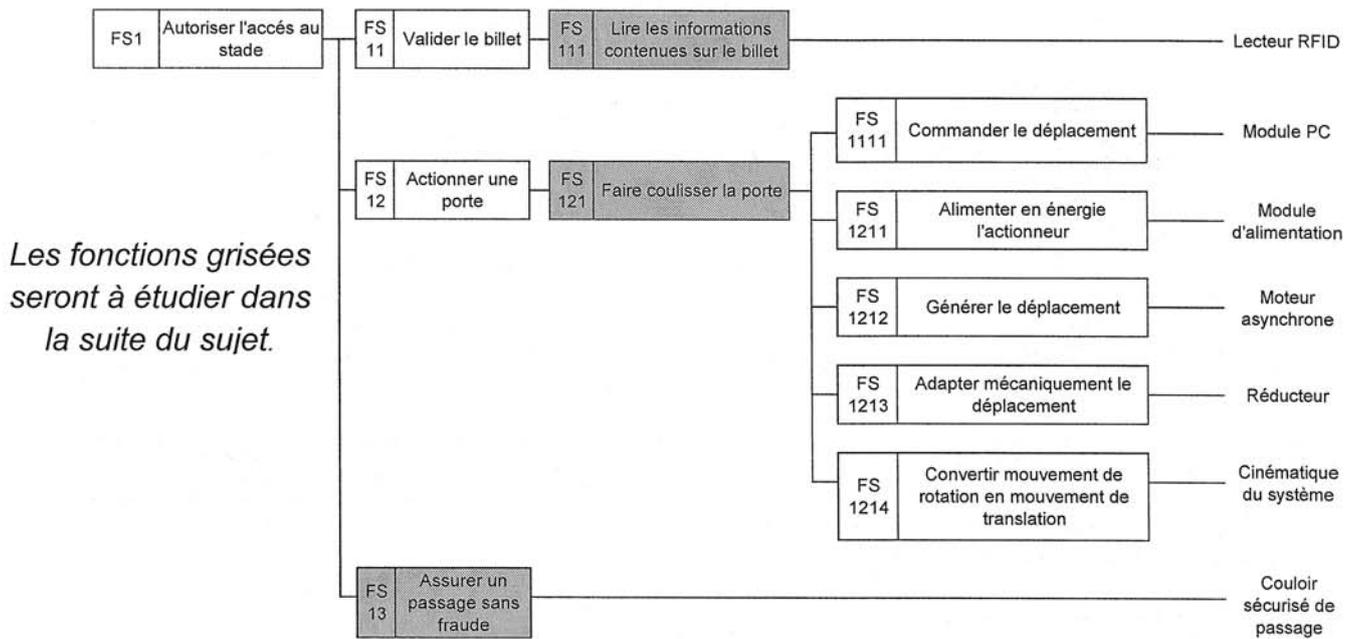
B - Objectif : Valider la capacité du flux d'entrée des spectateurs.

Le contrôle des billets doit permettre la meilleure fluidité possible.

Pour l'accès au stade des spectateurs munis d'une carte d'abonnement ou de billets prévendus, une solution innovante a été choisie : le contrôle d'accès par badge de type RFID. Il faut rappeler que la moitié des places du stade est réservée aux abonnés. Un quart des places est prévendu avant le match et les places restantes se vendent au cours des dernières minutes.

Pour l'accès au stade, le spectateur doit passer son badge devant un lecteur, puis passer dans un portillon à ouverture automatique.

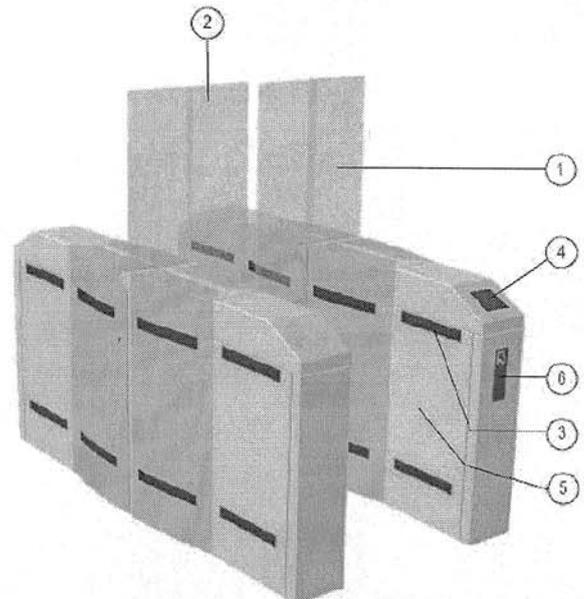
Les portillons automatiques choisis, (voir le diagramme FAST suivant), ont été conçus pour assurer le contrôle de flux dans le sens des entrées. Ils empêchent les tentatives de fraude (intrusion par effort sur les vitres ou passage au petit train) qui seront détectées par un système de capteurs optiques et signalées par un bip sonore.



Le coulisement des portes est assuré grâce à un mécanisme actionné par un moteur à courant continu. Un variateur assure un mouvement rapide et progressif des portes. Il assure aussi la sécurité des usagers en intégrant un limiteur de couple.

Présentation du portillon

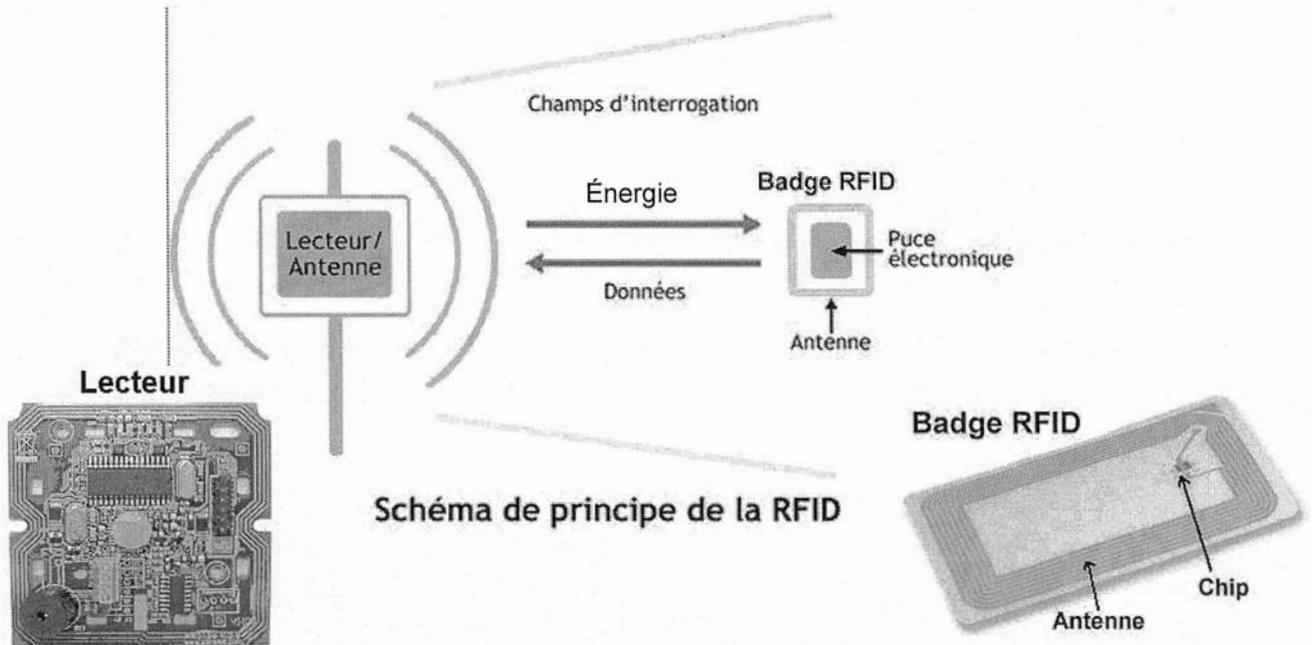
- 1- Obstacles anti-intrusion : en verre clair trempé, ils obstruent l'espace au-dessus de chaque coffre, interdisant toute possibilité de fraude par escalade du portillon. Ils sont immobiles.
- 2- Obstacles en verre clair trempé de sécurité : de 12 mm d'épaisseur, ils se rétractent dans la carrosserie à chaque mouvement d'ouverture. Hauteur standard depuis le sol : 1 700 mm.
- 3- Cellules photoélectriques de détection : 3 capteurs par zone assurent le contrôle de la progression des usagers dans le couloir d'accès.
- 4- Systèmes de lecture de badge RFID pour autoriser le passage.
- 5- Logique de contrôle programmable.
- 6- Pictogramme d'orientation du sens de passage.



Étude de la fonction FS111 : Lire les informations contenues sur le billet pour le valider.

Lorsque le spectateur passe son badge devant le lecteur, l'authentification de l'abonnement prend au maximum 0,5 seconde.

Le principe de lecture du badge repose sur la transmission bidirectionnelle d'informations sans contact entre la borne et le badge du spectateur.



Lors de la présentation du badge devant l'antenne du lecteur, ce dernier reçoit de l'énergie grâce à l'émission d'un signal de fréquence porteuse f_c égale à 13,56 MHz. Le badge s'auto alimente par la porteuse, puis répond au lecteur sur le principe de variation de charge dans sa boucle magnétique.

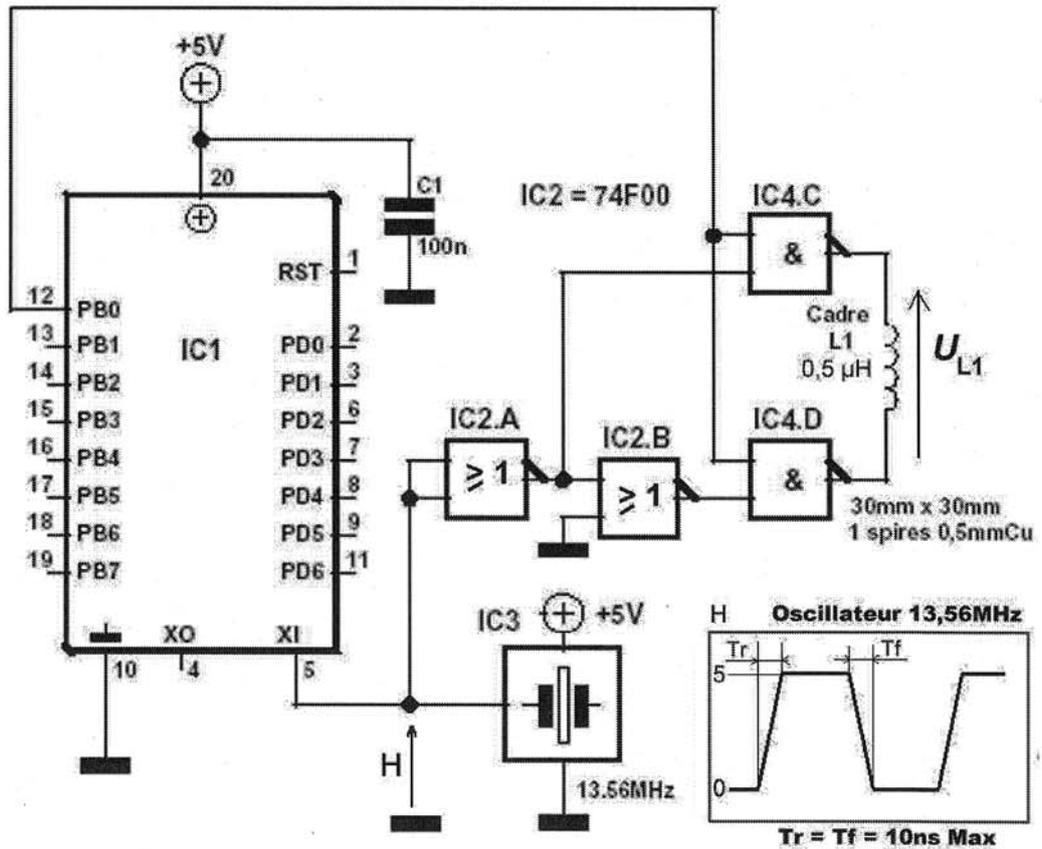
Le numéro de série d'un badge est unique et comporte 64 bits. Un bit est transmis pendant une durée $T_{\text{bit}} = 128 / f_c$ fixée par le constructeur, durée approximée à 10 μs .

Pour débiter une communication, le lecteur envoie toutes les 50 ms le code REQA (REQuestA = 26) par modulation de porteuse à 100 %. Si une carte se trouve dans le champ du lecteur, elle répondra par un code ATQA (Answer To reQuest A).

Objectif : Valider le temps de lecture du billet électronique.

La figure ci-après présente un schéma simplifié du lecteur (tous les condensateurs d'accord des antennes ne seront pas représentés).

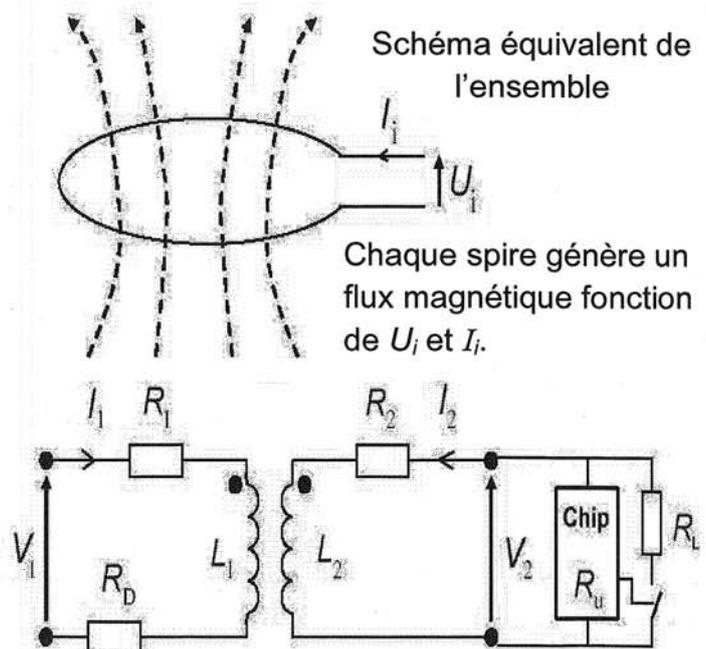
- Q3)** Tracer sur le document réponse 1 les allures des signaux de sortie de IC2. A à IC2.B en prenant pour modèle équivalent des circuits IC2 et IC4 les caractéristiques suivantes, ($V_{OL} = 0,2 \text{ V}$, $V_{OH} = 4,8 \text{ V}$, $I_{OH} = I_{OL} = 25 \text{ mA max}$).
- Q4)** Dans la situation $PB0 = 1$, tracer l'allure de la tension U_{L1} sur le document réponse 1.



Lorsque le badge est placé à moins de 5 cm, le cadre L1 et le badge peuvent être assimilés aux circuits primaire et secondaire d'un transformateur. Le cadre L1 et le circuit de réception du badge sont accordés à la fréquence de 13,56 MHz. Seul le fondamental du signal est transmis.

Données :

- $V_1(t) = V_{1M} \cdot \sin(\omega \cdot t)$;
- V_{1M} = valeur crête de $V_1(t)$;
- $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$; $f = 13,56$ MHz ;
- L_1, R_1 représentent l'antenne de l'émetteur (constituée de N_1 spires) ;
- L_2, R_2 représentent l'antenne du récepteur (constituée de N_2 spires) ;
- R_U représente la charge équivalente du système intelligent embarqué dans le badge RFID ;
- R_L est commutée par le système de contrôle en fonction du bit à transmettre (interrupteur fermé si on transmet un 1 logique) ;
- R_D représente la résistance utilisée pour la détection.



Q5) Exprimer la série de Fourier du signal $U_{L1}(t)$ tracé à la question 4 en se limitant au fondamental. En déduire l'expression de $V_1(t)$, fondamental de $U_{L1}(t)$.

Décomposition en série de Fourier :

$$v(t) = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cos(i \omega t) + b_i \sin(i \omega t))$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt ; a_i = \frac{2}{T} \int_0^T v(t) \cos(i \omega t) dt ; b_i = \frac{2}{T} \int_0^T v(t) \sin(i \omega t) dt.$$

Q6) Calculer la résistance équivalente ramenée au primaire et exprimer la valeur du courant I_{1_0} lorsque le badge cherche à émettre un 0 (interrupteur ouvert). Exprimer ensuite, la valeur du courant I_{1_1} lorsqu'il cherche à émettre un 1.

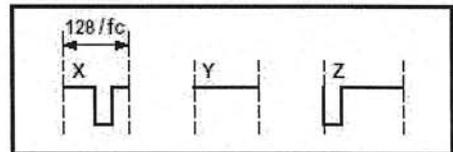
Application numérique : $N_1 = 4$ spires ; $N_2 = 6$ spires ; $R_1 = 0,5 \Omega$; $R_2 = 3 \Omega$; $R_U = 2 \text{ k}\Omega$; $R_L = 6 \text{ k}\Omega$; $R_D = 10 \Omega$.

En déduire une méthode de détection de la réponse du badge.

Principe de codage des bits :

On peut diviser la durée d'un bit T_{bit} en quatre périodes de $2,5 \mu\text{s}$.

Il existe trois formes de transmission d'un bit appelées X, Y et Z (voir figure ci contre) :



- dans la forme X, la porteuse est interrompue pendant un quart de la durée du bit, en commençant au milieu de l'intervalle entre bits ;
- dans la forme Y, il n'y a pas d'interruption ;
- dans la forme Z, l'interruption pendant un quart de la durée du bit a lieu au début d'intervalle.

Une séquence de bits commence toujours par un Z qui tient lieu de bit de départ, et se termine toujours par un « 0 » suivi d'un Y.

Le premier « 0 » d'une suite de « 0 » se code par un Y et les zéros suivants par Z.

On transmet un « 1 » logique à l'aide de la forme X.

La commande REQA se compose de 7 bits, sa valeur hexadécimale est 26. La transmission des bits commence par celui de poids le plus faible.

Q7) Tracer sur le document réponse 1 l'allure du signal de sortie PBO de IC1 qui permet de générer la trame REQA. Compléter l'allure de U_{L1} .

Q8) En déduire le pourcentage de puissance reçue par le badge par rapport à la puissance maximale (émission continue de la porteuse).

Q9) Avec ce protocole d'émission sur 7 bits, quel octet génèrera la puissance minimale émise par l'émetteur ? Quel est alors le pourcentage de puissance reçue par le badge?

L'échange entre le badge et le lecteur commence par la détection (REQA de durée 3 ms) puis continue par une authentification (ATH de durée 3 ms). Le lecteur lit ensuite 32 octets (16 octets pour le nom et 16 octets pour le numéro de la place). Le concepteur a choisi de faire 3 lectures des données afin de valider avec certitude le contenu.

Q10) Tracer sur le document réponse 1 le déroulement d'une lecture complète des informations (l'échelle ne pourra pas être respectée pour toutes les valeurs). Établir le temps minimal nécessaire pour effectuer une lecture du badge. Comparer ce résultat à la performance annoncée (0,5 seconde) par le fabricant du lecteur.

Étude de la fonction FS121 : Faire coulisser la porte.

A- Objectif : Déterminer les caractéristiques cinématiques du système de manœuvre de la porte pour répondre au besoin.

Extrait du cahier des charges fonctionnel du portillon automatique :

Fonctions	Critères	Niveaux
Faire coulisser la porte	- Amplitude du déplacement	Course : 210 mm
	- En position ouverte, débordement de la porte du carénage	Aucun
	- Temps d'ouverture	0,3 s
	- Temps de fermeture	0,5 s
	- Puissance du moteur	Minimale
	- Possibilité de mouvement en cas de forçage	Aucune
	- Coût de production du portillon	Le plus faible possible
	- Encombrement du carénage du portillon pour loger le mécanisme	<240 mm
	- Profil des vitesses	Trapèzoïdal
	- Temps d'accélération t_a - Temps de décélération t_d	$t_a = t_d = 1/3$ de la durée totale du mouvement

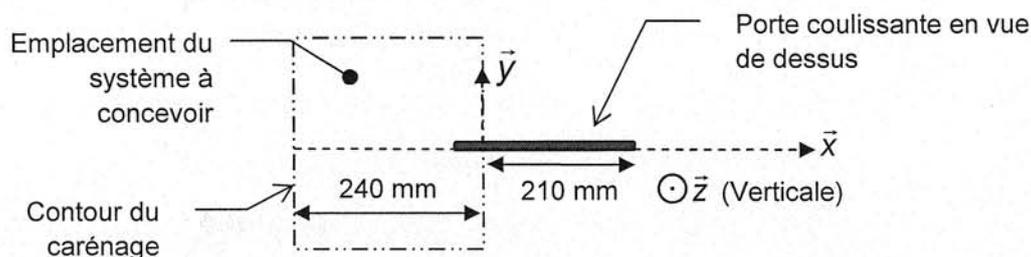
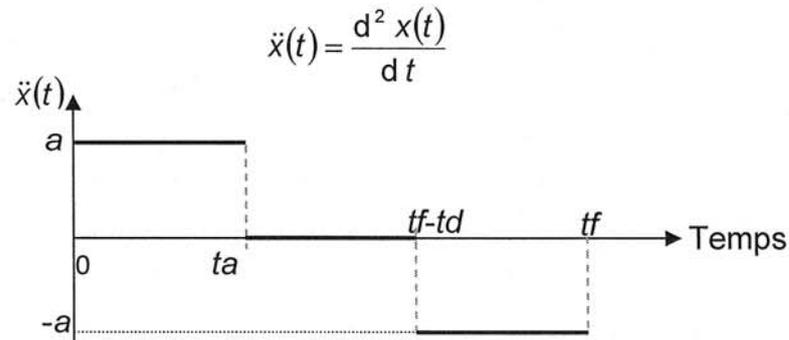


Schéma 1 : synthèse des caractéristiques dimensionnelles et repère lié au portillon

La porte coulisse dans le montant du portillon : mouvement de translation de la porte suivant l'axe \bar{x} , déplacement noté $x(t)$. La liaison glissière des portes est obtenue par un guidage en translation dans le montant.

Lors de l'ouverture de la porte, les directives du cahier des charges permettent de choisir les caractéristiques ci-dessous pour l'accélération, variant entre a et $-a$, notée :



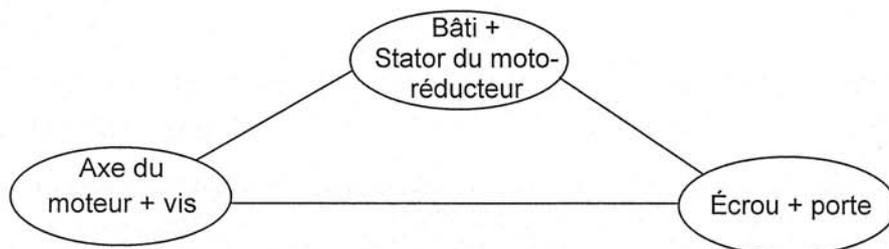
Q11) Tracer les caractéristiques en vitesse puis en déplacement du mouvement de la porte. D'après les données, déterminer les valeurs du temps ta , de l'accélération a et de la vitesse maximale atteinte, nécessaires au dimensionnement du portillon.

Q12) Le cahier des charges du portillon impose de minimiser la puissance délivrée par le motoréducteur. Sur quelle phase du mouvement doit-on cibler cette étude ? Commenter.

B- Objectif : Choisir le mécanisme de transformation de mouvement du portillon compatible avec le cahier des charges.

1^{re} solution envisagée : mécanisme vis/écrou.

Le déplacement des portes est obtenu à partir d'un motoréducteur qui entraîne une vis. La rotation de la vis entraîne un écrou sur lequel est fixée la porte. Le schéma 1 lié à l'extrait du cahier des charges précise le repère lié au portillon et les caractéristiques dimensionnelles maximum admissibles.



Q13) Désigner les 3 liaisons mises en évidence dans le graphe de liaisons ci-dessus.

Q14) Établir le schéma cinématique montrant la transformation du mouvement.

On envisage dans un premier temps de remplacer le mécanisme vis-écrou classique à contact direct par un mécanisme vis-écrou à billes. Cette solution technologique permet de rendre négligeable le frottement.

Q15) Quel critère du cahier des charges incite à choisir le mécanisme vis-écrou à billes ? Quel critère du cahier des charges conduit au rejet de cette solution ?

La solution vis-écrou à billes ne sera pas retenue.

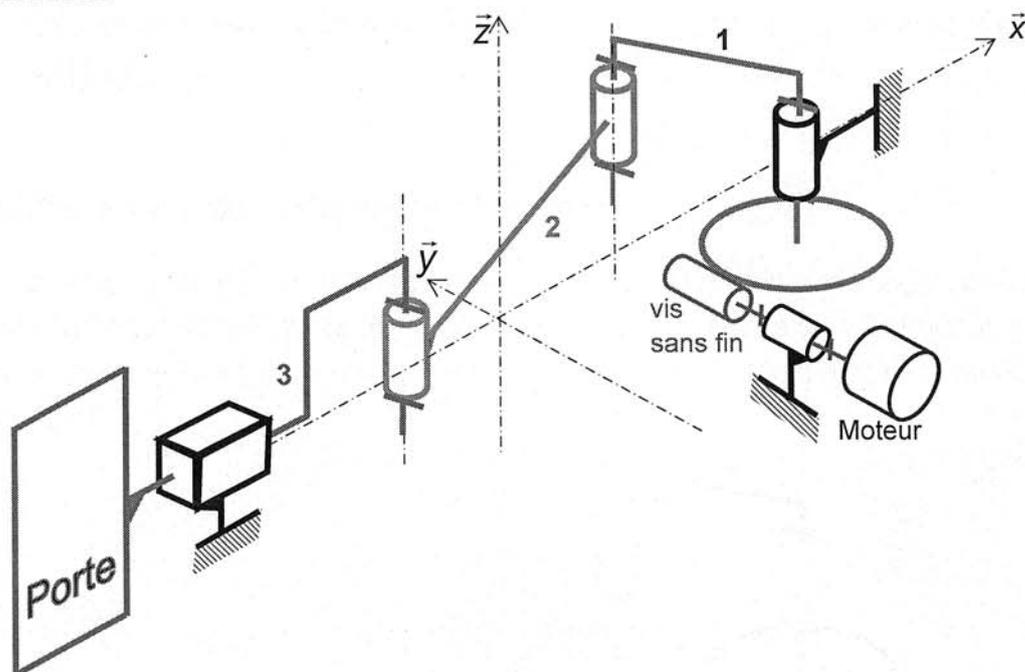
Un des critères contraignants du cahier des charges est l'encombrement.

Q16) À l'aide d'un schéma de principe, déterminer la limite de dimension suivant l'axe \bar{x} de l'ensemble (écrou + moteur) afin d'obtenir la course voulue en respectant l'encombrement du carénage. Conclure sur la faisabilité de cette solution.

2^e solution envisagée : mécanisme bielle-manivelle.

Cette solution permet un gain du point de vue de l'encombrement puisque le moteur est désaxé et pourra être inséré longitudinalement selon l'axe \bar{y} du portillon.

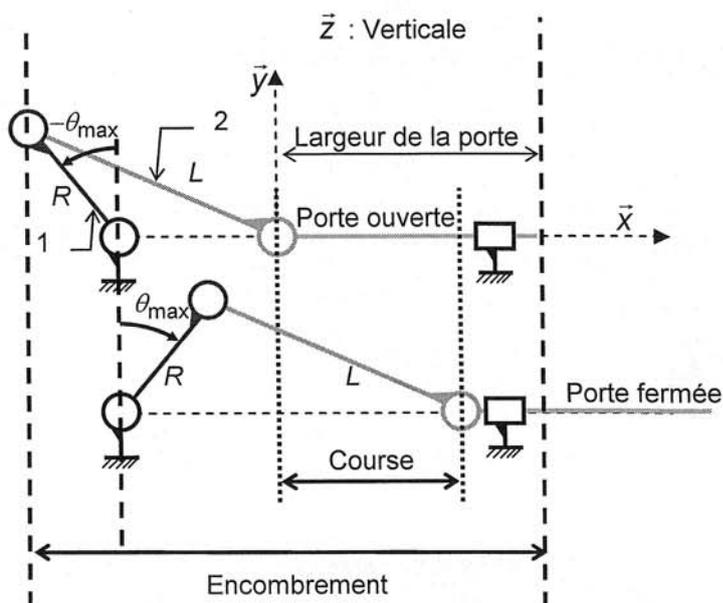
Un réducteur roue et vis sans fin monté sur l'arbre moteur assure l'irréversibilité du mécanisme.



Afin d'étudier la faisabilité de cette autre solution par rapport au cahier des charges, il est nécessaire de dimensionner dans un premier temps les différents éléments :

- la manivelle 1 (de longueur R) ;
- la bielle 2 (de longueur L) ;
- l'amplitude de la rotation en sortie de réducteur roue et vis sans fin (notée $2 \times \theta_{\max}$) ;

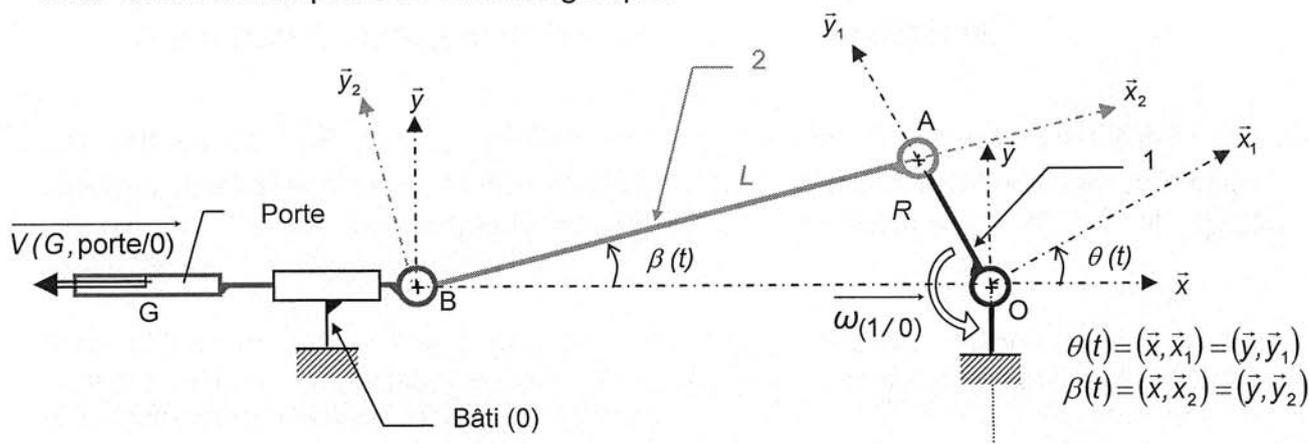
afin de respecter la course voulue et l'encombrement maximal.



Q17) Donner les expressions de la course et de l'encombrement en fonction des paramètres L , R , θ_{\max} et de la largeur de la porte (230 mm).

Les valeurs de L , R et θ_{\max} , vérifiant ces expressions et convenant au cahier des charges sont déterminées par itération. Les résultats de ces itérations sont présentés en Annexe 1. Ils font apparaître plusieurs combinaisons de (L , R et θ_{\max}) compatibles.

Pour affiner le choix, il faut prendre en compte un autre critère du cahier des charges : limiter la puissance du moteur. L'objectif est donc maintenant d'étudier cette solution d'un point de vue énergétique.



$\mathcal{R}(O, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$: repère lié au bâti.

$\mathcal{R}_1(O, \bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z})$: repère lié à la pièce 1.

$\mathcal{R}_2(A, \bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z})$: repère lié à la pièce 2.

Les masses des pièces 1 et 2 sont négligeables devant celle de la porte.

Les inerties des pièces 1 et 2 sont négligées.

Les liaisons sont considérées comme parfaites.

Le mouvement de la porte est une translation de direction \bar{x} .

On notera pour toute la suite :

– m_p , la masse de la porte (14 kg) ;

– $\overrightarrow{C}_{\text{moteur} \rightarrow 1}$, le couple d'entrée sur la pièce 1 en sortie de réducteur :

$$\overrightarrow{C}_{\text{moteur} \rightarrow 1} = C_1 \cdot \vec{z} ;$$

– $\overrightarrow{\omega}_{(1/0)}$, la vitesse de rotation de la pièce 1 par rapport au bâti (en sortie de réducteur) :

$$\overrightarrow{\omega}_{(1/0)} = \omega_{(1/0)} \cdot \vec{z} = \frac{d\theta(t)}{dt} \cdot \vec{z} = \dot{\theta}(t) \cdot \vec{z} ;$$

– $\overrightarrow{V(G, \text{porte}/0)}$, la vitesse de translation de la porte par rapport au bâti :

$$\overrightarrow{V(G, \text{porte}/0)} = -V(G, \text{porte}/0) \cdot \vec{x} = -\frac{dx(t)}{dt} \cdot \vec{x} = -\dot{x}(t) \cdot \vec{x} .$$

On considère l'ensemble E constitué des pièces : {1, 2, porte}.

Q18) À quelles actions extérieures l'ensemble E est-il soumis ?

Q19) Donner l'expression de la puissance galiléenne des actions mécaniques extérieures appliquées à E dans son mouvement par rapport au bâti 0.

Q20) Donner l'expression de l'énergie cinétique de l'ensemble E dans son mouvement par rapport au bâti 0.

Q21) Établir l'équation du mouvement de l'ensemble E, obtenue à l'aide du théorème de l'énergie cinétique, reliant m_p , C_1 , $\dot{\theta}(t)$, $\dot{x}(t)$ et $\ddot{x}(t)$.

Un calcul du point de vue cinématique donne la relation suivante :

$$\dot{x}(t) = R \cdot \dot{\theta}(t) \cdot \cos\theta(t) \cdot \left[1 + \frac{R \cdot \sin\theta(t)}{\sqrt{L^2 - R^2 \cdot \cos^2\theta(t)}} \right] .$$

Q22) En déduire l'équation liant m_p , C_1 , $\ddot{x}(t)$ et les inconnues dimensionnelles du système à concevoir.

L'amplitude de $\theta(t)$ va être de $2\theta_{\max}$ donc $\theta(t) \in \left[\left(\frac{\pi}{2} - \theta_{\max} \right), \left(\frac{\pi}{2} + \theta_{\max} \right) \right]$.

Q23) Pendant ce mouvement, dans quelle position du bras 1 faut-il calculer C_1 pour dimensionner le moteur ? Justifier.

Q24) Quelles valeurs pour R , L et θ_{\max} doit-on retenir de l'Annexe 1 pour optimiser cette solution du point de vue énergétique.

Il est maintenant nécessaire de déterminer la puissance du moteur nécessaire.

Le rendement μ du réducteur roue et vis sans fin est considéré constant : $\mu = 0,4$.

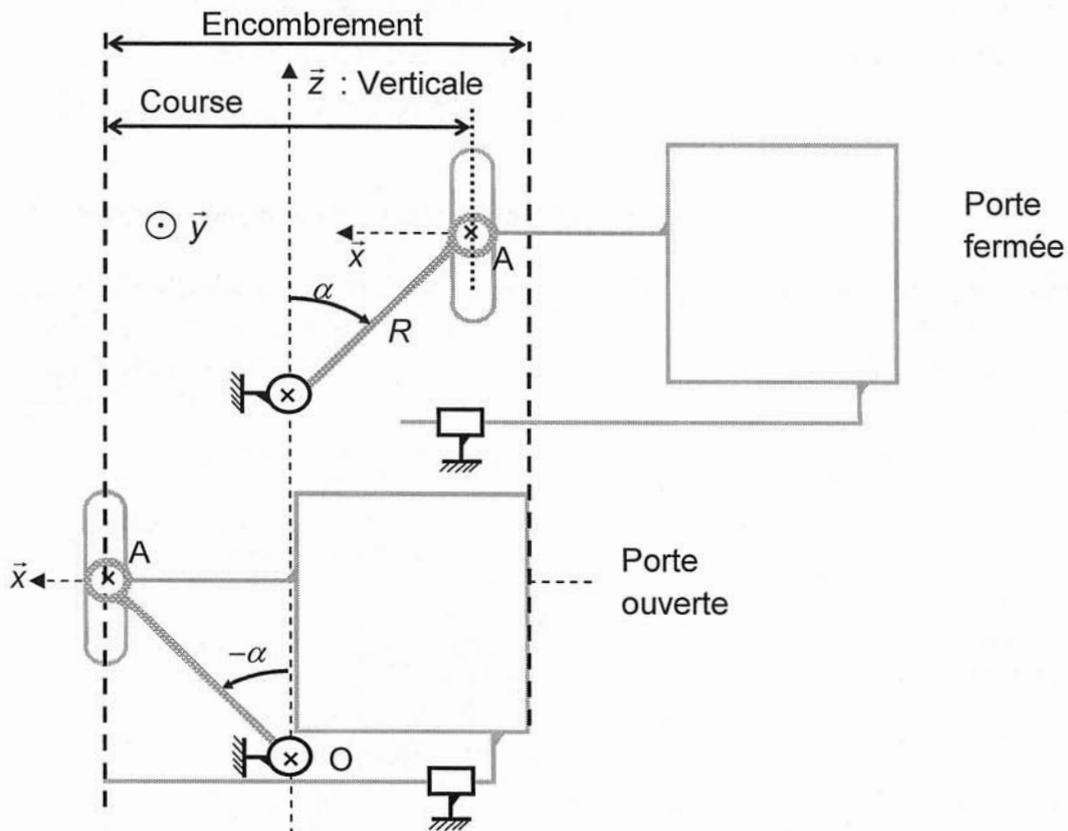
Q25) Calculer la valeur moyenne de $\omega_{(1/0)}$ puis la puissance moyenne P_1 nécessaire en sortie de réducteur.

Q26) En déduire la puissance à délivrer par le moteur en entrée de réducteur.

Q27) Proposer sur le Document réponse 2 les critères de choix (avantages et inconvénients) de chacun des moteurs proposés. Quel serait au final le choix idéal du moteur du point de vue économique ?

3^e solution envisagée : mécanisme à maneton.

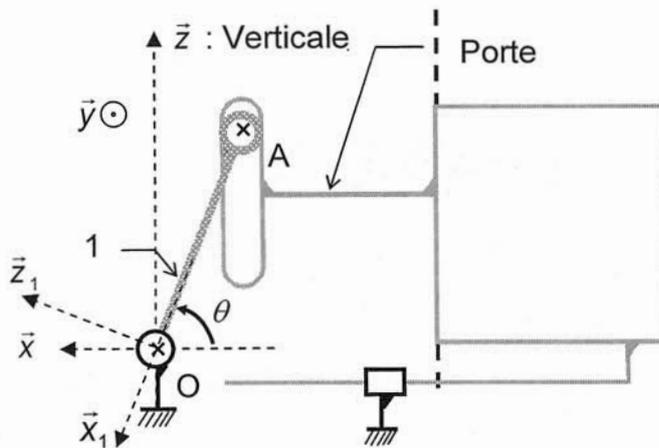
Le mécanisme bielle-manivelle est remplacé par le mécanisme modélisé sur le schéma suivant. Le réducteur roue et vis sans fin est toujours lié à la pièce 1. L'orientation du système a également été modifiée afin de laisser plus d'espace à la réalisation technique.



Cette solution est envisagée car elle a l'avantage de respecter aisément le critère du cahier des charges lié à l'encombrement : la *course* et l'*encombrement* ont des valeurs très proches.

$$\text{Course} = 2 \cdot R \cdot \sin \alpha \text{ avec } OA = R$$

Schéma cinématique en position quelconque :



$$\theta(t) = (\bar{x}, \bar{x}_1) = (\bar{y}, \bar{y}_1)$$

$\mathfrak{R}(O, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$: Repère lié au bâti.

$\mathfrak{R}_1(O, \bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z})$: Repère lié à la pièce 1.

Hypothèse : l'inertie de la pièce 1 est négligeable.

On utilise les mêmes notations que précédemment.

L'objectif est de comparer, avec la solution précédente, le couple d'entrée nécessaire à l'ouverture du portillon.

Q28) Calculer la vitesse absolue du point A lié à la pièce 1 par rapport au bâti 0. En déduire une relation entre $\dot{x}(t)$, $\dot{\theta}(t)$, R et $\theta(t)$.

Q29) Déterminer par la méthode de votre choix, l'équation qui relie C_1 à $\dot{\theta}(t)$ en fonction de $\dot{x}(t)$, $\ddot{x}(t)$ et m_p puis simplifier (à l'aide du résultat précédent), afin d'obtenir C_1 en fonction de \ddot{x} , m_p , R et $\theta(t)$.

Le tableau en Annexe 2 donne les valeurs du couple C_1 en fonction de différentes valeurs de R .

Q30) Pour une valeur de l'angle α de 70° , quelles vont être les caractéristiques liées à cette structure cinématique ?

Choix final

Q31) Comparer les trois solutions ; laquelle est en accord avec le cahier des charges ?

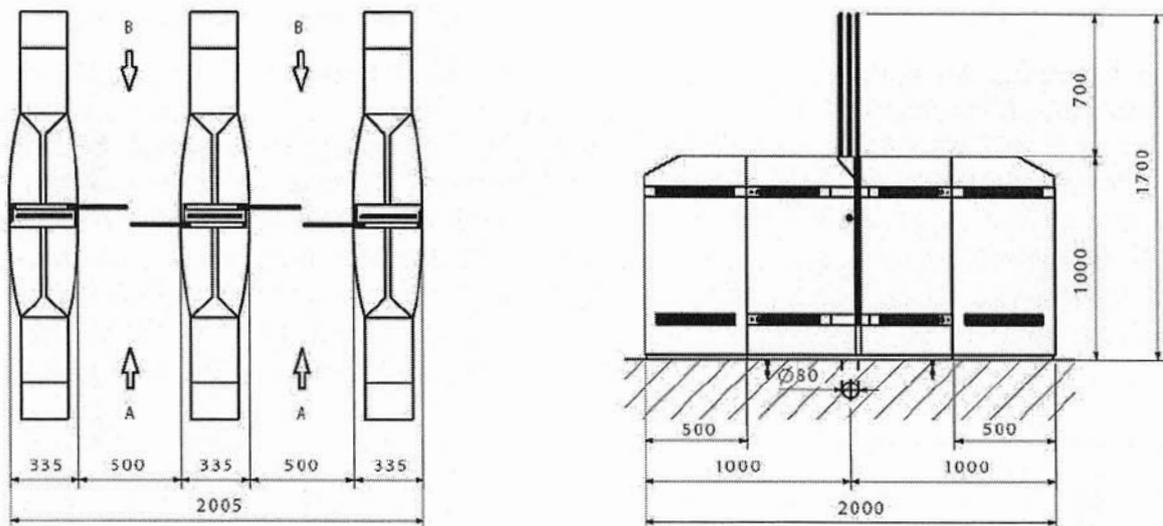
Étude de la fonction FS13 : Assurer un passage sans fraude.

Lors de son passage, le spectateur doit être détecté dans les différentes zones.

Objectif : Valider la capacité de détection du passage d'un spectateur.

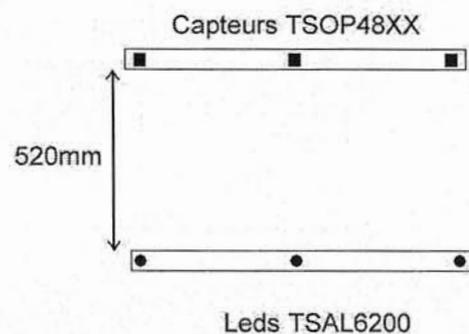
Principe de détection du portillon

Le portillon est divisé en 4 zones matérialisées par les 4 tôles de carénage (voir figure ci-dessous). Dans chacune de ces zones sont implantées 3 cellules de détection optiques de façon à analyser la progression du piéton. Un capteur se trouve au centre de la zone, les deux autres étant à 5 cm de chaque extrémité de zone. Lorsque le système de lecture de billet électronique donne l'autorisation d'ouverture, le système mécanique ouvre les portes en 0,3 s. Le spectateur traverse alors le portillon. Par mesure de sécurité, la fermeture se déclenche dès la détection de sa présence dans la dernière zone. La fermeture des portes s'effectue en 0,5 s. Le système est alors prêt à autoriser une autre entrée.

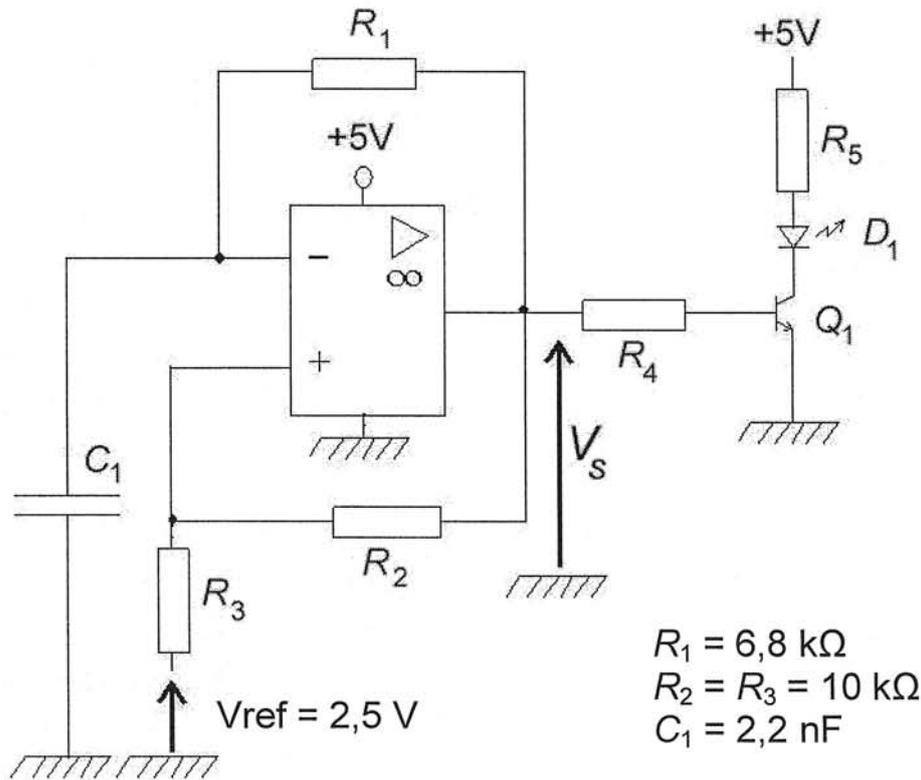


Dimensions standards (mm)

Le système est constitué de la façon suivante : les capteurs de type TSOP48XX (documentation en Annexe 4) permettent une détection fiable du passage du spectateur. Ils reçoivent une lumière infrarouge qui est émise par des leds TSAL6200 (documentation en Annexe 3).



Le circuit de génération du signal d'émission des leds est le suivant :



On considérera l'AOP comme idéal.

- Q33)** Quel est le mode de fonctionnement de l'AOP ?
- Q34)** Quelle condition doit remplir V_- pour que V_s bascule de $+V_{sat}$ à 0 ?
- Q35)** Quelle condition doit remplir V_- pour que V_s bascule de 0 à $+V_{sat}$?
- Q36)** On considère la phase de mise en route du système et le condensateur C_1 initialement déchargé. Établir l'équation littérale de $V_-(t)$ si $V_s = +V_{sat}$. Tracer l'évolution de V_- et de V_s sur le Document réponse 2.
- Q37)** Exprimer t_1 , le temps du 1^{er} basculement.
- Q38)** Pour $t > t_1$, exprimer $V_-(t)$. Tracer l'évolution de V_- et de V_s sur le Document réponse 2.
- Q39)** Exprimer t_2 , le temps du 2^e basculement.
- Q40)** Pour $t > t_2$, exprimer $V_-(t)$. Tracer l'évolution de V_- et de V_s sur le Document réponse 2.
- Q41)** Exprimer t_3 , le temps du 3^e basculement. En déduire l'équation de la période T du signal.

- Q41)** Exprimer t_3 , le temps du 3^e basculement. En déduire l'équation de la période T du signal.
- Q42)** À partir de la valeur de la période trouvée à la question précédente, donner la référence exacte des capteurs optiques montés sur le portillon pour détecter le passage.

Les caractéristiques du transistor BC337-40 sont : $\beta_{\min} = 250$; $V_{be} = 0,7 \text{ V}$ et $V_{cesat} = 0,4 \text{ V}$. La led D1 doit être parcourue par un courant de $0,2 \text{ A}$.

- Q43)** Calculer R4 de façon à obtenir un coefficient minimal de sursaturation de 3. Calculer R5 et définir la puissance dissipée. Choisir ces résistances dans la série E12.

Rappel : E12 : 10 ; 12 ; 15 ; 18 ; 22 ; 27 ; 33 ; 39 ; 47 ; 56 ; 68 ; 82

- Q44)** Proposer un organigramme de traitement des informations provenant des capteurs. Conclure sur la capacité du système à détecter des fraudes.

Le choix des portillons étant maintenant arrêté, il est nécessaire de mener une étude liée à leur implantation : combien faudra-t-il implanter de portillons pour respecter la durée maximale des entrées, fixée par le cahier des charges du stade ?

Étude de la fonction FC8 (par rapport aux entrées) : maîtriser la durée des entrées.

Données

Pour cette étude, la vitesse des spectateurs avant et dans le couloir du portillon est supposée constante et égale à $2,5 \text{ km/h}$. On considérera également que le spectateur, à la fin de la lecture de son badge (temps de $0,5 \text{ s}$), est exactement à l'entrée du portillon.

- Q45)** En considérant les données à votre disposition, quelle est la distance parcourue pendant la lecture du badge ? Le temps de lecture du badge vous semble-t-il trop long ? Cela contraint-il le spectateur à s'arrêter ?
- Q46)** Quel est le temps minimal pour faire entrer un spectateur ?
- Q47)** Déterminer le nombre de portillons nécessaires pour faire entrer les trois quarts des spectateurs de manière à respecter le cahier des charges.
- Q48)** En déduire la marge de sécurité choisie, sachant que 30 portillons ont été installés autour du stade.