

SESSION 2026

---

## **AGRÉGATION CONCOURS INTERNE ET CAER**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

**Options :** sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique,  
sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique,  
sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des  
constructions.

**ANALYSE ET EXPLOITATION PÉDAGOGIQUE  
D'UN SYSTÈME PLURITECHNOLOGIQUE**

Durée : 5 heures

---

*Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.*

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

*Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.*

*Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.**

**Tournez la page S.V.P.**

A

### **INFORMATION AUX CANDIDATS**

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

#### **► Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement public :**

##### **Option : sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1414A	101	7809

##### **Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1415A	101	7809

##### **Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1416A	101	7809

#### **► Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement Privé :**

##### **Option : sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1414A	101	7809

##### **Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1415A	101	7809

##### **Option : Sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des constructions**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1416A	101	7809





**Conseils aux candidats**

Il est demandé aux candidats :

- de rédiger les réponses aux différentes parties sur des feuilles de copie séparées et clairement repérées ;
- de numéroter chaque feuille de copie et d'indiquer le numéro de la question traitée ;
- de rendre tous les documents réponses, même non complétés ;
- d'utiliser exclusivement les notations indiquées dans le sujet lors de la rédaction des réponses ;
- de justifier clairement les réponses ;
- d'encadrer ou souligner les résultats ;
- de présenter lisiblement les applications numériques, sans omettre les unités, après avoir explicité les expressions littérales des calculs ;
- de formuler les hypothèses nécessaires à la résolution des problèmes posés si celles-ci ne sont pas indiquées dans le sujet.

Toutes les études sont indépendantes les unes des autres. En outre, au sein d'une même étude, un grand nombre de questions peuvent être traitées de manière indépendante. Pour chaque question, en complément des résultats de calculs proprement dits, il convient de justifier les choix effectués et les calculs réalisés ainsi que de commenter les résultats obtenus. Une attention particulière doit être apportée à la présentation et à la clarté des explications.

**Étude proposée**

L'étude est composée de quatre parties permettant de répondre à des problématiques techniques. Le sujet est organisé selon la trame suivante :

**Mise en situation**

**Partie 1.** Comment créer une nouvelle expérience tout en minimisant l'impact environnemental ?

1. Gain environnemental de la conservation du bâtiment existant
2. Validation dimensionnelle du bâtiment

**Partie 2.** Comment rendre l'expérience immersive ?

1. Étude des limites cinématiques de l'expérience
2. Dimensionnement de la motorisation

**Partie 3.** Comment modéliser et simuler l'expérience luneXplorer ?

**Partie 4.** Validation de l'expérience luneXplorer

## Mise en situation

La nouvelle expérience immersive de la cité de l'espace de Toulouse.

Extrait du site de la Cité de l'espace

<https://www.cite-espace.com/rendez-vous/animations/lunexplorer/>

Une nouvelle expérience immersive unique en Europe qui vous fera vivre une mission lunaire comme les astronautes européens.

### **PRÉPAREZ, EMBARQUEZ, ET DÉCOLLEZ !**

Et si, cette fois, l'astronaute c'était vous ?

Avec le LuneXplorer, embarquez pour une mission vers la Lune et ressentez « une pression » de 2g ou 3g tout comme les spationautes de l'ESA ; l'Agence spatiale européenne.

### **Préparation et briefing**

✓ Étape 1 : la préparation

Dans le hall de préparation, découvrez et comparez les missions lunaires Apollo et les nouvelles missions Artemis, qui préparent le retour vers la Lune, dans lesquelles l'ESA est impliquée aux côtés de la NASA américaine.

✓ Étape 2 : le briefing

Composez votre équipage capsule : 4 personnes maximum. 9 autres équipages décollent en même temps que vous.

Dans la salle de briefing, les astronautes de l'ESA :

Samantha Cristoforetti (Italienne)

Matthias Maurer (Allemand)

Et Thomas Pesquet (Français)

vous préparent pour la mission.

Suivez ensuite les instructions de Claudie Haigneré (Française).

### **La mission vers la lune**

Il est temps de décoller vers la Lune !

✓ Étape 3 : Prenez place à bord de votre capsule. Vous allez ressentir des phases d'accélération et de décélérations jusqu'à 3g soit trois fois votre poids. Ces



phases sont comparables aux sensations d'un astronaute en mission.

✓ Effectuez les missions du centre de contrôle

Comme un astronaute, vous devrez effectuer des manipulations pendant le voyage. Soyez le plus rapide possible pour être aussi qualifié qu'un spationaute !

Participez au débriefing

Repartez avec vos données de mission.



Figure 1. Cité de l'espace - Auteur Pierre Carton

La Cité de l'espace a franchi une nouvelle étape dans la médiation scientifique en dévoilant luneXplorer, une attraction révolutionnaire qui permet aux visiteurs de vivre une expérience spatiale authentique. Ce projet ambitieux, né d'une volonté de toujours plus de réalisme, offre au public l'opportunité de ressentir les sensations d'un spationaute en mission vers la Lune.

Pour faire vivre cette expérience la Cité de l'espace a voulu être respectueuse des normes environnementales mais aussi du développement durable. C'est ainsi que le projet a vu le jour en lieu et place de l'ancien Terradome. En réutilisant un bâtiment existant, l'empreinte carbone a été minimisée. Proche d'une zone verte, il est aussi à noter l'engagement de planter des arbres s'il devait avoir lieu de toucher les espaces verts, engagement qui a été tenu.

Les différentes entreprises ont respecté des pratiques commerciales éthiques, dans le respect des intérêts des parties prenantes.

Cette expérience a un impact positif sur la société en général, les visiteurs évidemment, mais le respect du confort des employés aussi.



Figure 2. Terradome, Cité de l'espace - Toulouse



Figure 3. LuneXplorer © Cité de l'Espace - L. Garcia

Le nouveau bâtiment est donc composé d'une nouvelle structure qui joue le rôle de Spatioport, et du Terradome reconverti en simulateur de vol spatial (voir documents DT1 et DT2). Grâce à une collaboration étroite avec des professionnels du secteur spatial, dont des astronautes de renommée internationale, luneXplorer reproduit fidèlement les conditions d'un vol spatial.

La Mission LuneXplorer propose une simulation immersive d'une mission lunaire complète, du décollage orbital à l'alunissage. Ce parcours expérientiel, d'une durée d'environ 30 minutes, met en scène 40 « spationautes » répartis en dix capsules distinctes. Les passagers sont soumis à des accélérations centrifuges simulées, atteignant jusqu'à 3g, reproduisant fidèlement les sensations éprouvées lors d'un véritable lancement spatial.

Les phases critiques du vol, telles que le décollage et l'alunissage, sont caractérisées par des séquences dynamiques d'une durée respective de 110 et 75 secondes, accompagnées d'effets spéciaux multisensoriels pour renforcer l'expérience immersive. Ces séquences sont conçues pour offrir une expérience réaliste en termes d'accélération, de vitesse, d'altitude et de distance parcourue. LuneXplorer propose deux scénarios expérimentaux, variant en fonction de l'intensité de l'accélération centrifuge (2g ou 3g).

Cette simulation immersive, qui s'appuie sur les dernières avancées technologiques en matière de scénographie et d'audiovisuels, offre une expérience unique et inoubliable (voir documents DT1 et DT2).

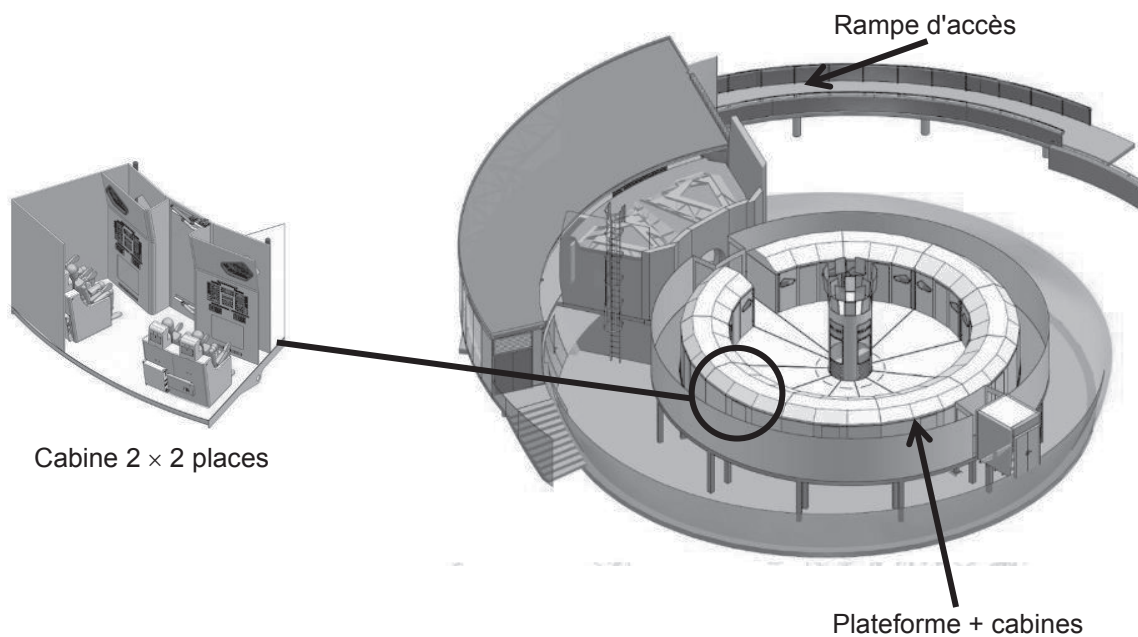


Figure 4. **Vue 3D du simulateur de vol et des sas d'entrée et de sortie.**

## Partie 1. Comment créer une nouvelle expérience tout en minimisant l'impact environnemental ?

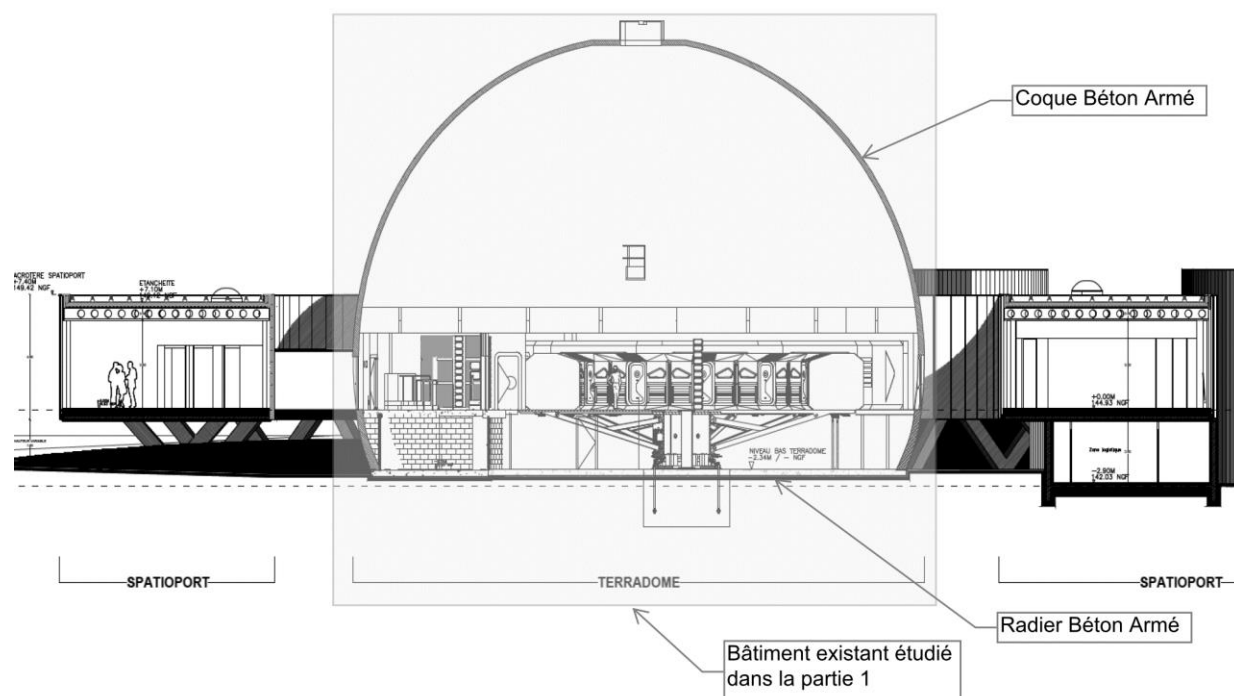
**Objectif :** *La Cité de l'espace, tout en voulant faire vivre des expériences immersives à ses visiteurs, a aussi le souhait de s'intégrer dans une démarche de développement durable. L'objet de cette partie est de démontrer la pertinence de la conservation du bâtiment, en analysant le gain environnemental de la conservation de la structure, et de déterminer les contraintes fonctionnelles que cela engendre.*

Un des objectifs de la Cité de l'espace étant de limiter l'impact environnemental du projet, il est proposé de conserver un bâtiment en béton armé déjà existant (le Terradome) pour l'implantation de l'expérience.

Les fiches FDES (Fiches déclarative environnementale et sanitaire) du béton et des armatures sont fournies sur les documents DT4 et DT5.

### 1.1 Gain environnemental de la conservation du bâtiment existant

Le bâtiment existant est constitué d'une coque considérée sphérique partielle en béton armé (BA) d'épaisseur constante 30 cm ainsi que d'un radier BA épaisseur 40 cm. La hauteur extérieure de la coque sphérique est de 23 m et son diamètre extérieur est de 30 m. Une coupe de ce bâtiment est proposée figure 5.



## Équation de calcul du volume d'une calotte sphérique

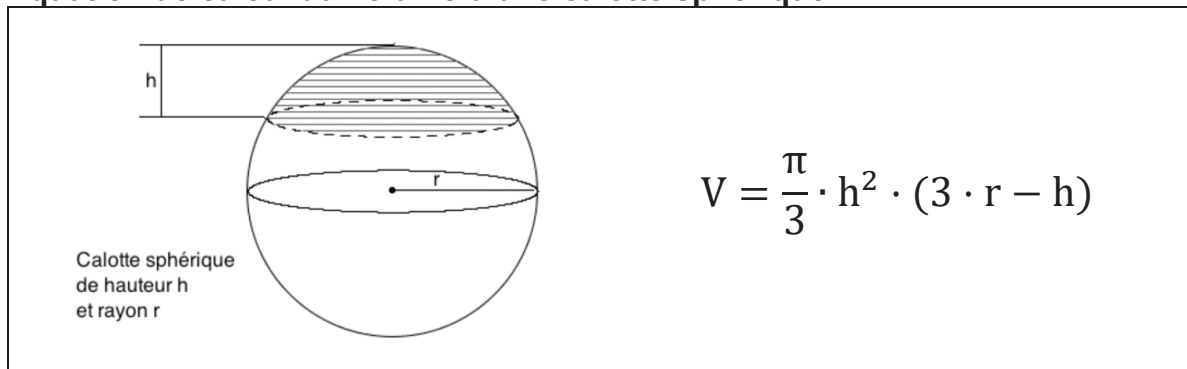


Figure 6. Volume d'une calotte sphérique

**Question 1 :** À partir des données fournies sur les figures 5 et 6, **calculer** le volume de béton armé de la coque sphérique.

**Question 2 :** **Démontrer** que le rayon du radier est égal à  $R_{\text{radier}} = \sqrt{2 \cdot r \cdot h - h^2}$ . **Calculer** le volume du radier en béton armé (BA).

Le béton armé est composé de béton et d'armatures. Les ratios d'armatures (quantités d'armatures par  $\text{m}^3$  de béton) mis en œuvre à l'origine dans le Terradome sont les suivants :

- Radier :  $70 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Coque :  $85 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

**Données pour les questions suivantes :**

- Volume du radier  $V_{\text{RADIER}} = 200 \text{ m}^3$
- Volume de la coque  $V_{\text{COQUE}} = 640 \text{ m}^3$

**Question 3 :** **Déterminer** les masses d'armatures en acier mises en œuvre dans l'ensemble de la structure étudiée.

Dans les questions suivantes il est proposé de déterminer le bilan carbone dans le cas de la construction d'un nouveau bâtiment équivalent.

L'analyse de cycle de vie (ACV) peut être menée de manière statique (toutes les émissions de  $\text{CO}_2$  s'additionnent simplement sans prendre en compte la période d'émission) ou dynamique (les émissions de  $\text{CO}_2$  sont pondérées en fonction de la période d'émission).

**Question 4 :** À l'aide des documents DT4 et DT5, **déterminer** les émissions équivalent  $\text{CO}_2$  pour l'ensemble de la structure (sur la base d'un calcul en ACV statique, y compris partie D « Bénéfices et charges au-delà des frontières du système »).

La surface utile du bâtiment est d'environ  $500 \text{ m}^2$ . Sur ce type de bâtiment, pour une construction neuve, il est d'usage de ne pas dépasser  $795 \text{ kg eq CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}$  de surface utile.

**Question 5 : Estimer** le gain potentiel en pourcentage sur le bilan carbone, par rapport à une construction neuve de structure identique. **Conclure** quant à l'intérêt d'un tel réemploi.

### 1.2 Validation dimensionnelle du bâtiment

Il convient désormais de vérifier la capacité du bâtiment existant à accueillir la nouvelle expérience dans le respect de la réglementation des manèges, machines et installations pour fêtes foraines ou parcs d'attraction, norme NF EN 13 814-1.

La plateforme doit être réalisée à 2,75 m en dessous du rayon de plus grand diamètre de la sphère. Il est prévu une zone d'accès de 8,5 m en entrée de la plateforme, et une zone de 3,3 m en sortie, comme représenté figure 7.

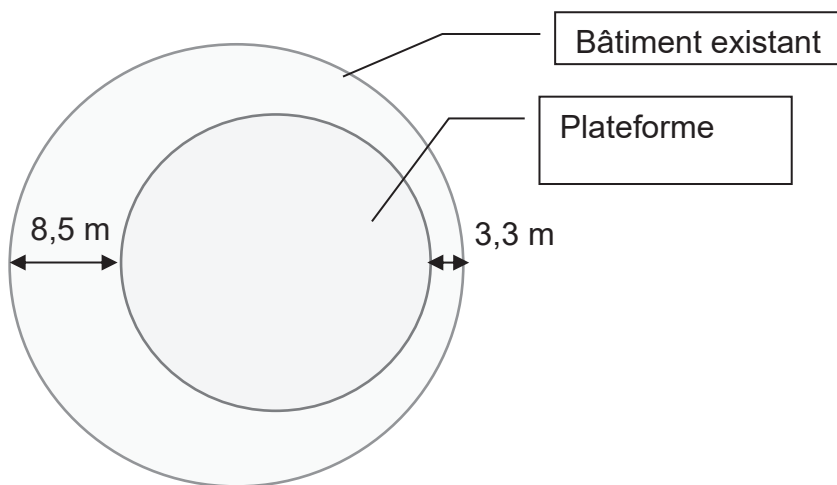


Figure 7. Représentation du bâtiment existant et de la plateforme

**Question 6 : Déterminer** le rayon maximal de la plateforme.

Le diagramme des exigences de l'expérience LuneXplorer est fourni sur le document DT3. L'abaque figure 8 permet de pré-dimensionner un manège tournant selon l'accélération souhaitée (1g, 2g ou 3g).

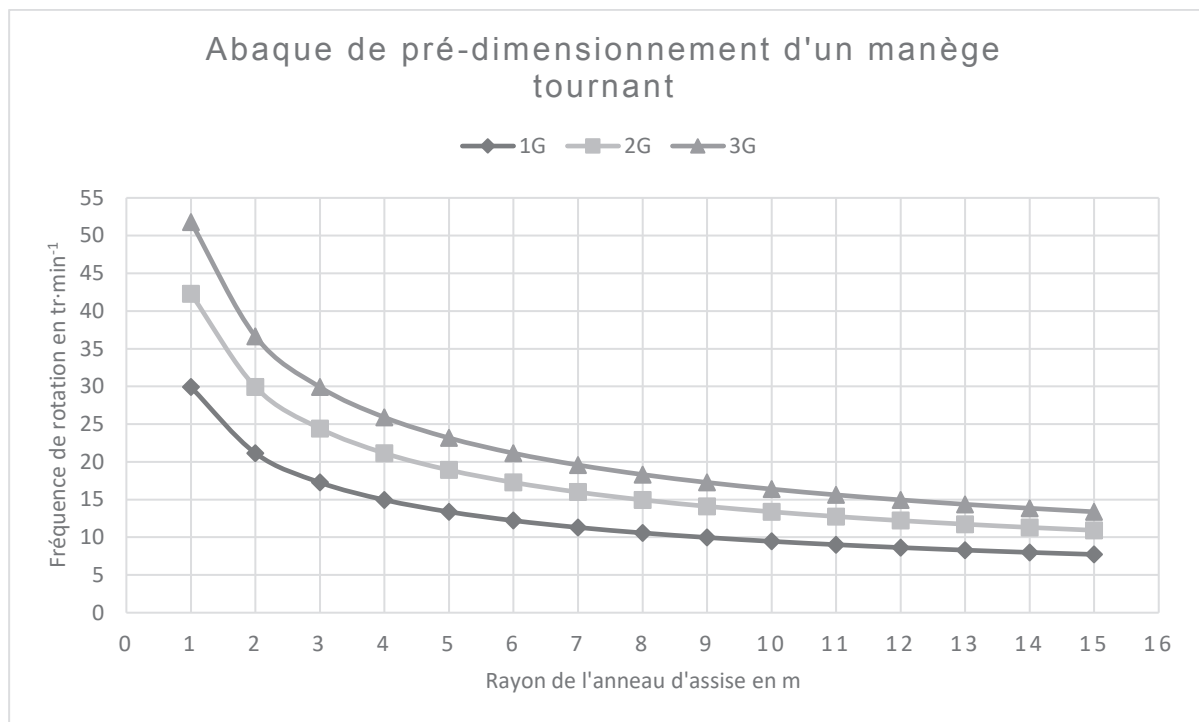


Figure 8. **Abaque de pré-dimensionnement d'un manège tournant**

**Question 7 : Déterminer** le rayon minimum de positionnement du passager pour satisfaire les exigences du cahier des charges. **Conclure** sur la capacité dimensionnelle du bâtiment existant à accueillir l'expérience.

## Partie 2. Comment rendre l'expérience immersive ?

*Objectif : cette partie a pour objectif d'étudier la cinématique nécessaire pour réaliser l'expérience luneXplorer, puis de dimensionner les actionneurs.*

Comme présenté sur les documents DT1 et DT2, le principe de cette expérience est de faire ressentir des accélérations jusqu'à 3g aux visiteurs. À cette fin le principe utilisé est celui d'une centrifugeuse.

Le plateau et les cabines tournent suivant un cycle de vitesse défini, qui permet d'alterner les phases d'accélération, et ainsi ressentir les différentes phases d'un vol spatial.

Le diamètre défini précédemment, et les différentes contraintes techniques imposent une plateforme de diamètre  $D_{ext} = 14\,705\text{ mm}$ . Ce diamètre enjoint des paramètres de vitesse et d'accélération ressenties au niveau des passagers.

Une première étude sur les limites cinématiques de l'expérience au regard des ressentis et limites humaines est donc nécessaire. La validation, autorise alors le dimensionnement de la motorisation tout en respectant les normes NF EN 13 814-1 pour les manèges.

### 2.1. Étude des limites cinématiques de l'expérience

Durant la mission, le passager peut ressentir jusqu'à 3g en accélération ventre-dos, équivalent de 3g en +X sur la figure 9.

Extrait de ressources scientifiques :

*Le corps humain est habitué aux accélérations verticales car il subit l'accélération de la pesanteur en permanence. En accélération ventre-dos la résistance est assez forte, les pilotes peuvent supporter 9g de façon durable. Les spationautes supportent eux entre 3 et 4g. Par contre le corps a une faible résistance aux accélérations latérales qui peuvent vite devenir mortelles.*

Pour respecter la dynamique de l'expérience il faut donc ressentir 3g en accélération ventre-dos, mais la norme impose uniquement 0,1g en latéral.

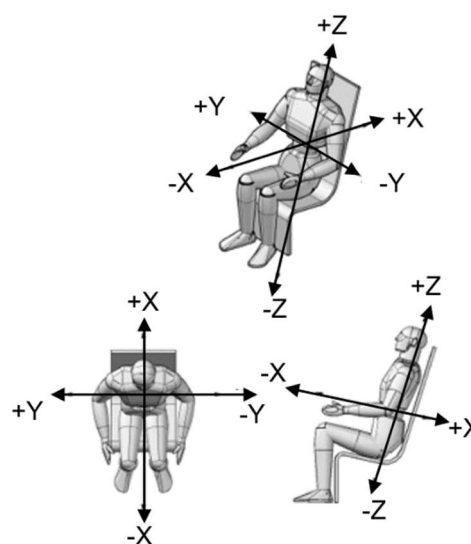


Figure 9. Système de coordonnées liées au corps

**Données de l'étude :**

- les documents DT6 et DT7 récapitulent les paramètres de l'étude.
- extrait du cahier des charges :

Cinématique du simulateur		
Contraintes cinématique de la colonne pour scénario 3g		
Vitesse de rotation de l'anneau de support	maximum	22 tr · min <sup>-1</sup>
Vitesse équivalente au centre du passager	environ	15 m · s <sup>-1</sup>
Contraintes physiques acceptables pour les passagers		
Accélération g équivalente au centre du passager, ventre-dos	Scénario grand public maximum	2g 3g
Accélération g équivalente au centre du passager, latéral	maximum	0,1g
Le passager doit être plaqué dans son siège	Inclinaison optimale siège	16,5° entre la verticale et le dossier

**Question 8 :** Exprimer la vitesse du passager  $\vec{V}_{1/0}^G$  puis l'accélération  $\vec{\Gamma}_{1/0}^G$  dans le repère  $R_1$ . Calculer la fréquence de rotation admissible, pour le scénario 3g, de la colonne d'entraînement  $n_{\text{colonne}}$  en tr · min<sup>-1</sup>.

**Question 9 :** Vérifier l'exigence 1.30.2.1.2 (voir document DT3) pour les critères « vitesse de l'expérience », « vitesse équivalente au centre du passager » et « accélération latérale < 0,1g ».

Le principe fondamental de la dynamique permet d'écrire

$$\sum \vec{F}_{\text{extérieur} \rightarrow \text{passager}} = m \cdot \vec{\Gamma}_{1/0}^G$$

avec

$$\sum \vec{F}_{\text{extérieur} \rightarrow \text{passager}} = F_x \cdot \vec{x}_p + F_y \cdot \vec{y}_p + F_z \cdot \vec{z}_p$$

**Question 10 :** Exprimer  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  en fonction des composantes de l'accélération sur le passager dans le repère  $R_p$ . Commenter ces relations au regard du ressenti passager et conclure quant au respect des contraintes physiques acceptables.

## **2.2. Dimensionnement de la motorisation**

Le dôme du bâtiment a imposé un diamètre du plateau supportant les cabines de  $D_{\text{ext}} = 14\,705\text{ mm}$ . Le système d'entraînement est composé d'une colonne mise en rotation par des roues de friction.

Ce système d'entraînement permet de mettre en rotation les dix cabines comme le montrent les documents DT2 et DT6.

Pour la suite de l'étude, le dimensionnement se fait aux conditions limites d'usage, voir exigence 1.30.2.1.3 sur le document DT3.

### **► Descriptif des scénarios**

Scénario 3g : les 6 moteurs sont nécessaires au fonctionnement, et un temps de cycle de 20 min entre chaque entrée de visiteurs est préconisé. Le temps de la mission reste inchangé.

Scénario 2g : il doit pouvoir se faire avec 5 moteurs seulement, un temps de cycle de 15 min minimum est autorisé. Le temps de la mission est inchangé.

### **2.2.1. Dimensionnement dû au scénario 2g**

Pour la suite de l'étude, les données retenues pour le scénario 2g sont :

- fréquence de rotation  $n_{\text{colonne}} = 16,6\text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$  ;
- accélération angulaire  $\dot{\omega}_{\text{colonne}} = 0,144\text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Le système est décomposé en trois sous ensembles comme indiqué sur la figure 10.

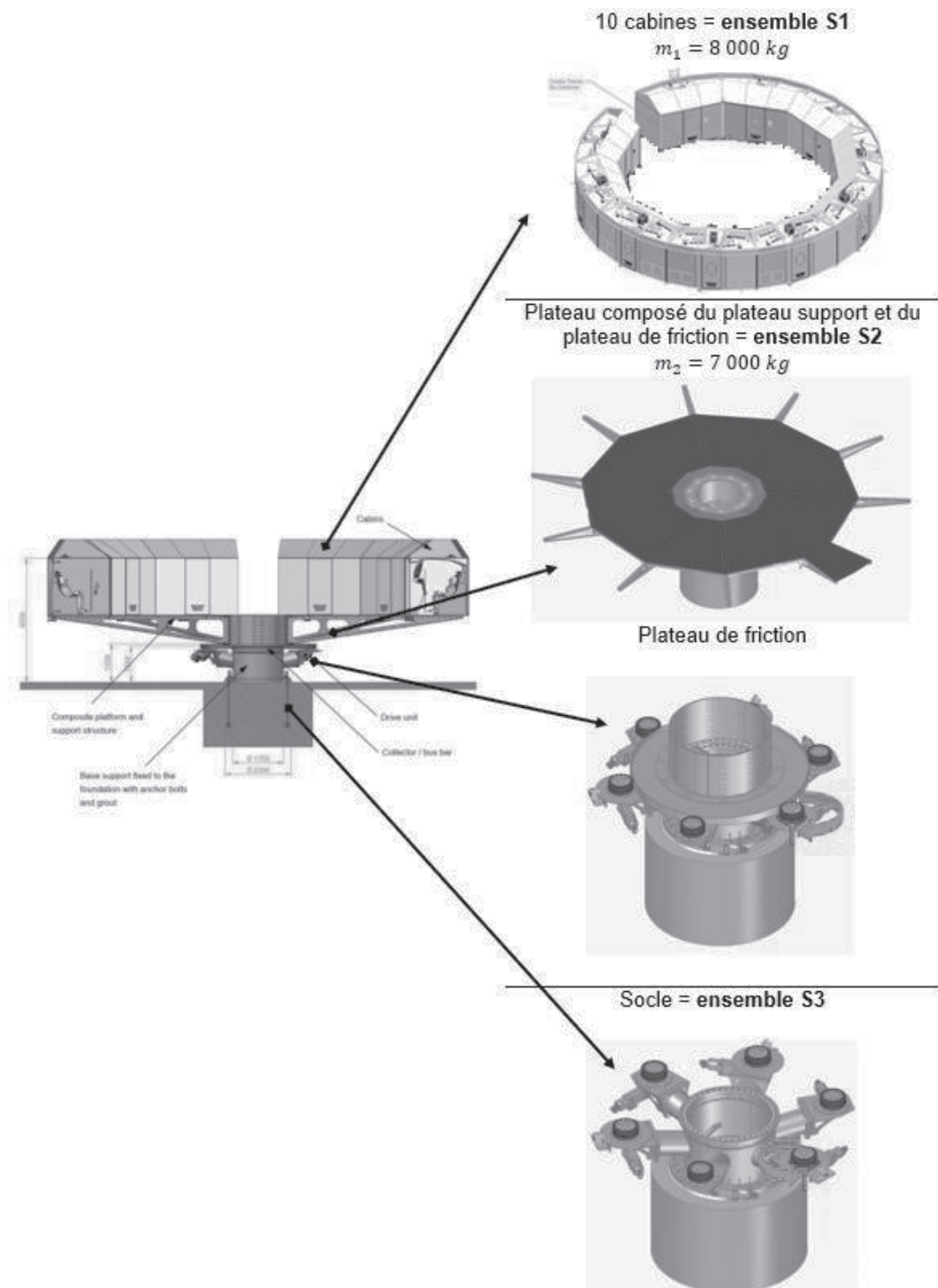


Figure 10. **Décomposition du système d'entraînement**

Selon le diagramme des blocs internes de la figure 11, la chaîne de puissance du LuneXplorer® est constituée de 6 moteurs asynchrone (MAS) triphasés alimentés par un variateur de vitesse connecté au réseau triphasé 230/400V – 50Hz. Les moteurs asynchrones entraînent l'ensemble 1 « cabine » du LuneXplorer via 6 réducteurs de rapport de transmission  $i_1$ .

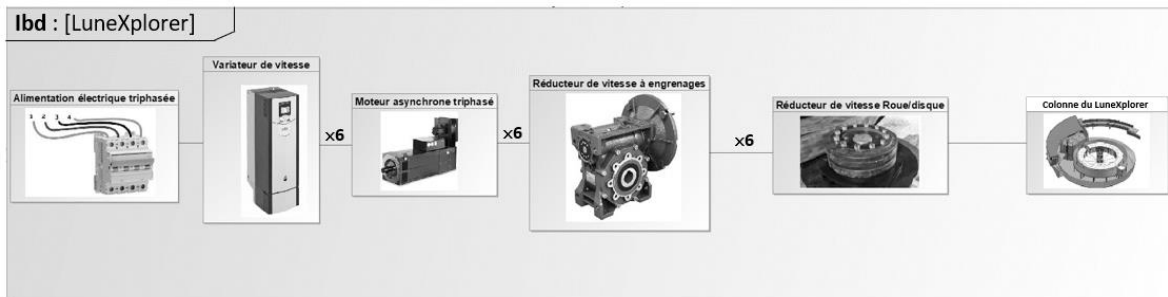


Figure 11. Ibd LuneXplorer.

Les groupes motoréducteurs sont répartis spatialement autour d'un disque qu'ils entraînent en rotation par l'intermédiaire de 6 roues (figure 12).

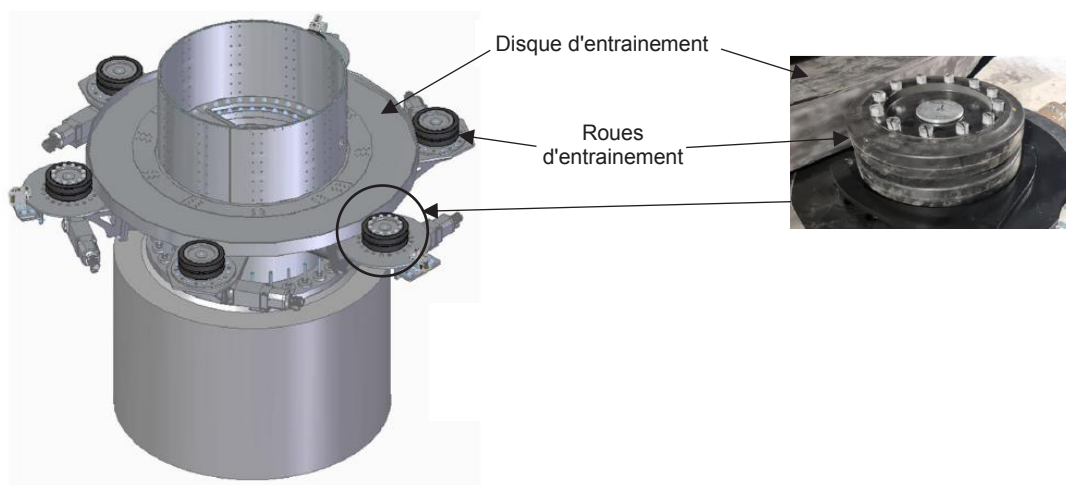


Figure 12. Colonne centrale + groupe motoréducteurs + roues .

### Données techniques :

#### ► Réducteur :

Rapport de réduction  $i_1 = \frac{1}{12,88}$

Rendement  $\eta_r = 0,975$

Puissance  $P = 16,2 \text{ kW}$

#### ► Motorisation

Voir document DT8

#### ► Entraînement par roue de friction

Diamètre des roues :  $\varnothing_{\text{roue}} = 500 \text{ mm}$

Diamètre du disque d'entraînement :

$\varnothing_{\text{disque}} = 4\,000 \text{ mm}$

Rendement  $\eta_{\text{rf}} = 0,98$

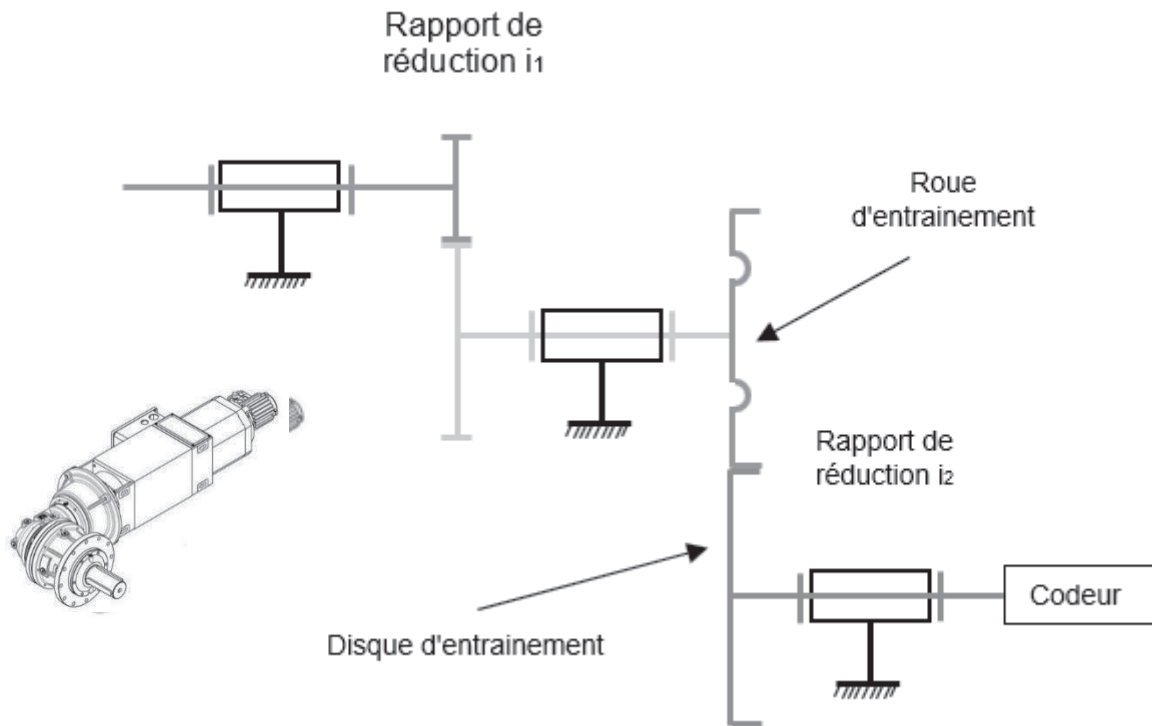


Figure 13. **Schéma cinématique.**

L'ensemble S1 (partie entraînée) peut donc être modélisé par un cylindre creux de diamètre intérieur  $D_{\text{int}} = 10\,500$  mm et un diamètre extérieur  $D_{\text{ext}} = 14\,705$  mm et de hauteur  $h = 2\,500$  mm. La masse de cet ensemble est de  $m_1 = 8$  tonnes.

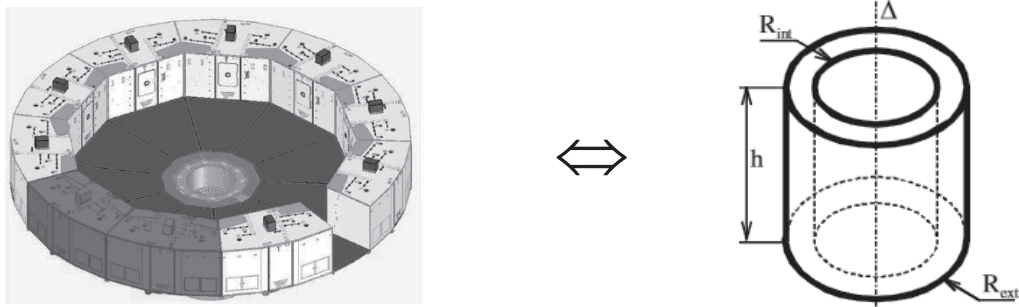


Figure 14. **Modélisation de la plateforme avec cabines (ensemble 1)**

Le dimensionnement de puissance nécessaire pour la motorisation peut se calculer à partir du théorème de l'énergie cinétique. Le moment d'inertie de l'ensemble S2 par rapport à son axe de rotation est  $J_{\text{eq2}} = 36\,500 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ .

**Question 11 : Résoudre** l'équation ci-dessous pour déterminer l'expression de l'inertie de l'ensemble S1 par rapport à l'axe de rotation (figure 14), en fonction de la masse, du rayon extérieur et du rayon intérieur.

$$J_{eq1} = I_{\Delta S1} = \int d(M, \Delta)^2 \cdot dm = \iiint d(M, \Delta)^2 \cdot \rho \cdot r \cdot dr \cdot d\theta \cdot dh$$

Avec :

- $d(M, \Delta)$  la distance entre un point M appartenant au solide et  $\Delta$  l'axe de rotation ;
- $\rho$  la masse volumique.

**Question 12 : Exprimer** l'énergie cinétique de l'ensemble S1+S2, en fonction de  $m_1$ ,  $R_{ext}$ ,  $R_{int}$ ,  $J_{eq2}$ ,  $\omega_{colonne}$ .

La technologie de l'entraînement par adhérence est telle que l'on peut négliger le couple résistant au roulement ainsi que les frottements.

**Question 13 :** En appliquant le théorème de l'énergie cinétique **déterminer** la puissance nécessaire  $P_{colonne}$  à la mise en rotation de la colonne. **Réaliser** l'application numérique.

Quels que soient les résultats obtenus précédemment, la valeur de la puissance retenue est  $P_{colonne} = 81\,700\text{ W}$ .

**Question 14 : Calculer** alors la puissance moteur  $P_{moteur}$  nécessaire ainsi que le couple moteur. **Conclure** sur le choix du moteur (voir document DT8).

Afin de diminuer les coûts et d'optimiser le fonctionnement, le moteur choisi est déclassé (voir document DT9). Le fonctionnement-type 6 est retenu au vu du cycle de l'expérience.

**Question 15 :** Pour répondre à l'exigence 1.30.1 (voir document DT3) **calculer** le  $S6 - x\%$  et en **déduire** la puissance admissible pour la motorisation. Au regard de ces résultats et des résultats du scénario 3g (donnés ci après) **conclure** sur le choix de la motorisation.

### 2.2.2. Dimensionnement dû au scénario 3g

$P_{colonne}$ [W]	$P_{moteur}$ [W]	$P_{moteur}^*$ [W]
		après déclassement fonctionnement-type S6 et pour un temps de cycle de 17,5 min
111 250	19 400	19 440

Le support étudié permettant d'aborder le principe fondamental de la dynamique, il est pertinent de l'exploiter pour évaluer le niveau d'acquisition d'élèves de la compétence « Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé ». Le contexte de l'évaluation visée est le suivant :

### Données pédagogiques

**Enseignement de spécialité : Sciences de l'ingénieur**

### Compétences :

<b>RESOUDRE ET MODELISER</b>		
<b>Compétences développées</b>	<b>Connaissances associées</b>	<b>Classe</b>
Déterminer la grandeur flux (vitesse linéaire ou angulaire) lorsque les actions mécaniques sont imposées	Principe fondamental de la dynamique Solide en rotation autour d'un axe fixe dont le centre de gravité est sur l'axe de rotation	Terminale
Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé	Notion d'inertie et d'inertie équivalente <del>Solide en translation rectiligne</del>	

**Durée de l'évaluation : 1 h**

**Format : évaluation sommative**

**Question 16 :** Sur le document réponse DR1, **compléter** la fiche descriptive de l'évaluation sommative à destination des élèves.

**Question 17 :** Sur le document réponse DR2, **proposer** des indicateurs et des niveaux d'appréciation pour évaluer le niveau d'acquisition de la compétence « Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé ».

### Partie 3. Comment modéliser et simuler l'expérience ?

**Objectif :** *Modéliser la chaîne cinématique via un modèle multi-physique afin de déterminer la loi de commande et vérifier si le système proposé répond aux attentes du cahier des charges.*

Les concepteurs en charge du projet LuneXplorer ont défini le profil type du nombre de « g » subi par un spationaute en fonction du temps lors d'une phase de décollage et d'alunissage (rappel : pour l'attraction les temps sont réduits). Afin de respecter ce profil les groupes moteurs vont être commandés en conséquence.

Le profil souhaité est fourni sur la figure 15.

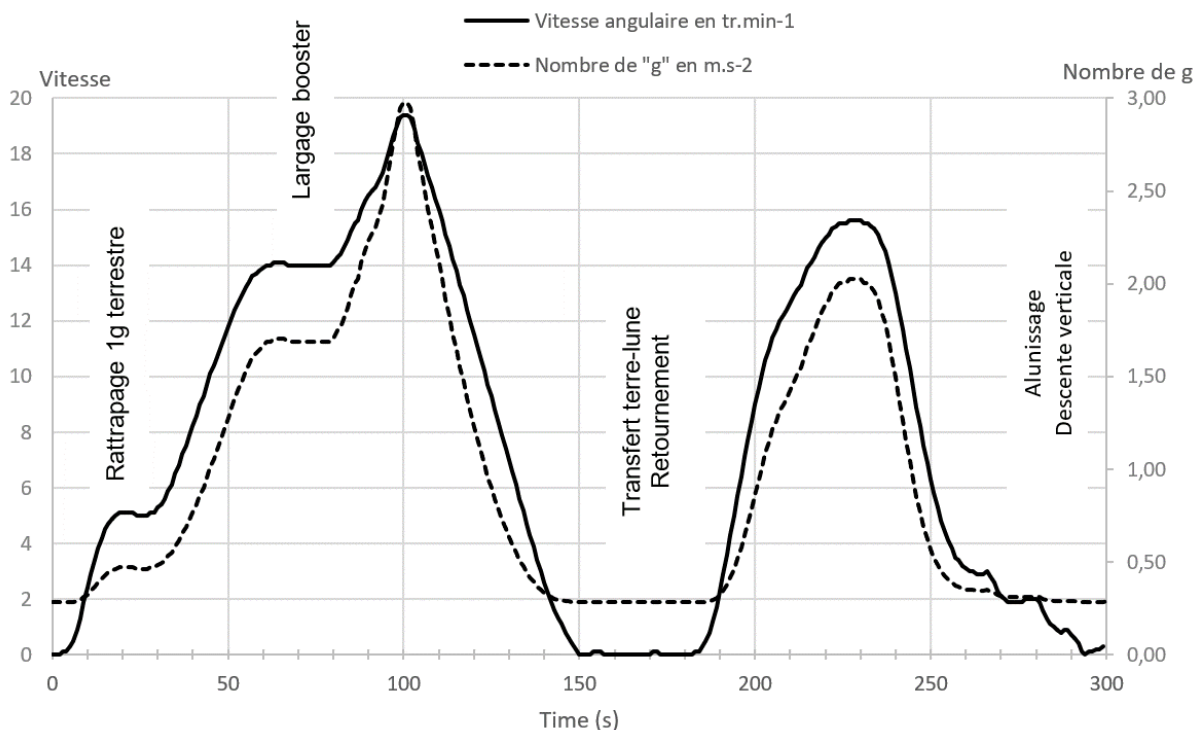


Figure 15. Vitesse angulaire N en tr.min<sup>-1</sup> et nombre de g en m.s<sup>-2</sup> en fonction du temps en s.

Afin de vérifier le paramétrage de la loi de commande un modèle multi-physique est réalisé (voir figure 16).

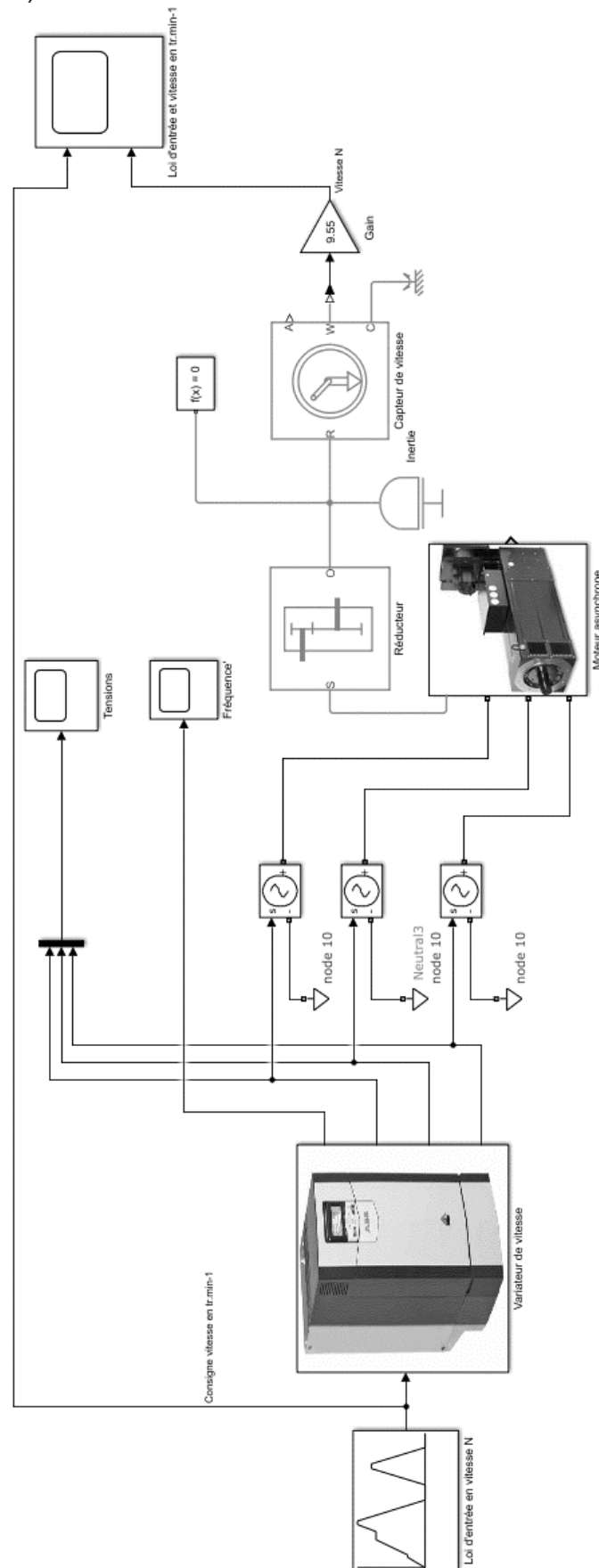


Figure 16. **Modèle multi-physique**

Afin de procéder à la simulation qui se veut être au plus proche de la réalité, il est nécessaire de procéder à l'identification des différents paramètres de ce modèle.

### 3.1. Paramétrage de la machine asynchrone

Dans le modèle multiphysique illustré figure 16, sous le « mask » de la photo du moteur asynchrone a été placé un « block » : « asynchronous machine » dont les paramètres par défaut se trouvent sur la figure 17.

Block Parameters: Asynchronous Machine pu Units

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [ Pn(VA), Vn(Vrms), fn(Hz) ]: 15000 ....

Stator resistance and inductance [ Rs, Lls ] (pu): [0.01965 0.0397]

Rotor resistance and inductance [ Rr', Llr' ] (pu): [0.01909 0.0397]

Mutual inductance Lm (pu): 1.354

Inertia constant, friction factor, pole pairs [ H(s) F(pu) p() ]: [... 0 ...]

Mechanical power (W) 0

Figure 17. Paramètres du moteur

Le moteur choisi a la référence **HQL 100X Oemer 3-Ph AC motor**. Le document DT8 permet de compléter les champs manquants de la figure 17.

**Question 18 : Donner** la valeur des paramètres suivants : tension entre phase du réseau, valeur de la fréquence du réseau, inertie du moteur, valeur de la puissance utile du moteur.

**Question 19 : Déterminer** le nombre de paires de pôles « p » de la machine asynchrone.

**Question 20 :** La machine asynchrone est couplée au réseau en étoile, **indiquer** la valeur efficace de la tension aux bornes d'un enroulement statorique pour un fonctionnement nominal de la machine asynchrone. **Justifier** la réponse.

### 3.2. Éléments du modèle équivalent de la MAS

On souhaite maintenant identifier les éléments du schéma équivalent de la machine asynchrone, la résistance et la réactance du stator sont négligées et seules les pertes par effet Joule rotoriques seront prises en compte.

Le schéma équivalent retenu pour un enroulement statorique est représenté figure 18.

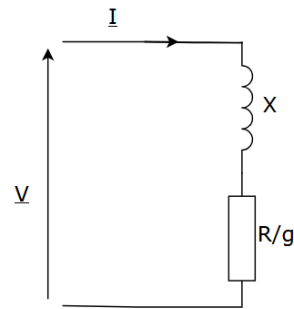


Figure 18. Schéma équivalent d'un enroulement statorique

Données :

- Dans ce schéma, impédance  $\frac{R}{g}$  utile à la détermination de la puissance transmise au rotor.
- Motorisation définie sur le document DT8.
- Notations :
  - $R$  la résistance rotorique ramenée au stator en  $\Omega$  ;
  - $X = L\omega$  la réactance de fuite rotorique ramenée au stator en  $\Omega$  ;
  - $L$  l'inductance de fuite rotorique ramenée au stator en H ;
  - $V$  la tension efficace aux bornes d'un enroulement statorique en V ;
  - $I$  l'intensité efficace du courant dans un enroulement statorique en A ;
  - $g$  le glissement  $g = \frac{N_s - N_{mot}}{N_s} = \frac{\Omega_s - \Omega_{mot}}{\Omega_s}$  ;
  - $\Omega_s$  la vitesse de synchronisme en  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$   $\Omega_s = \frac{\omega}{p}$  ;
  - $N_s$  la vitesse de synchronisme en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$  ;
  - $\Omega_{mot}$  la vitesse de l'arbre de la MAS en  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
  - $N_{mot}$  la vitesse de l'arbre de la MAS en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$  ;
  - $\omega = 2\pi f$  la pulsation des tensions et courants statoriques en  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$  ;
  - $p$  le nombre de paires de pôles de la MAS ;
  - $f$  la fréquence des tensions et courants statorique en Hz ;
  - $C_m$  le couple sur l'arbre moteur.

**Question 21** : Sachant que la puissance transmise au rotor s'exprime par

$$P_{tr} = 3 \cdot \frac{R}{g} \cdot I^2 = C_m \cdot \Omega_s$$

et en supposant que les pertes mécaniques sont négligées, **montrer** que l'expression du couple moteur  $C_m$  en fonction du glissement peut s'écrire :

$$C_m = \frac{3V^2}{\Omega_s} \frac{\frac{R}{g}}{\left(\frac{R}{g}\right)^2 + X^2}$$

**Question 22 : Déterminer** l'expression littérale du glissement  $g_{C_{max}}$  pour lequel le couple est maximal, en fonction de  $R$  et  $X$ .

**Question 23 :** Montrer alors que l'expression du couple maximale  $C_{m_{MAX}}$  est :

$$C_{m_{MAX}} = 3 \frac{p \cdot V^2}{2 \cdot \omega \cdot X}.$$

**Question 24 :** Déterminer la valeur  $L$  de l'inductance de fuite rotorique ramenée au stator.

**Question 25 :** Déterminer la valeur du glissement au démarrage. En déduire l'expression littérale du couple de démarrage  $C_d$ .

**Question 26 :** Connaissant la valeur du rapport  $\frac{C_d}{C_n}$ , déterminer la valeur numérique  $R$  de la résistance rotorique ramenée au stator (la résolution admet deux solutions, pour la suite seule la plus petite des deux valeurs de  $R$ , qui contribue à un meilleur rendement de la MAS, est retenue).

L'identification des différents éléments étant complète, on simule le modèle multi-physique et les résultats de la simulation sont donnés figure 19.

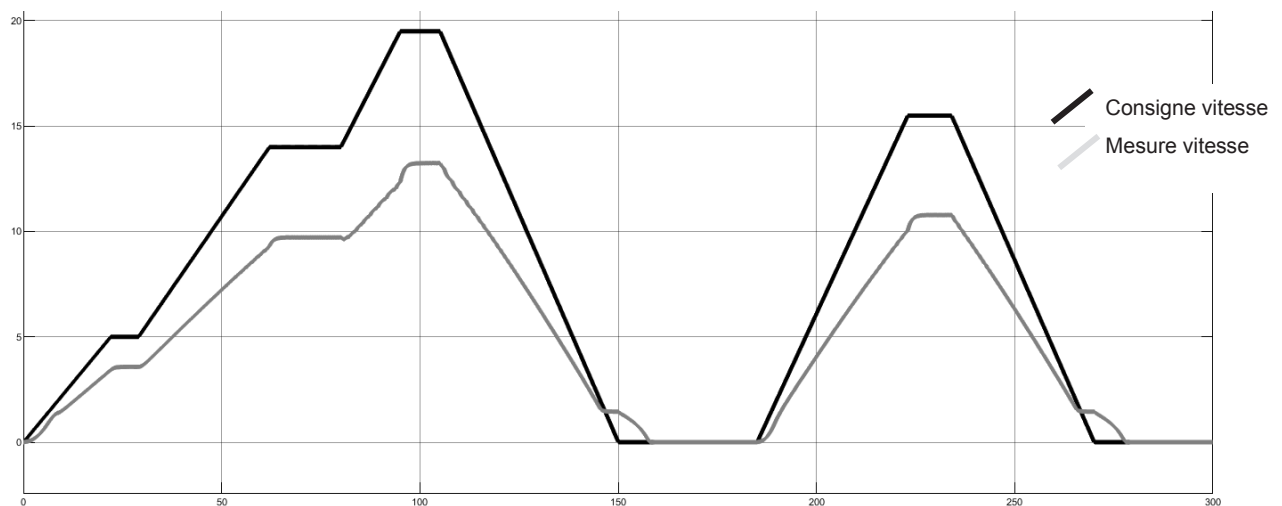


Figure 19. "Consigne vitesse" et "mesure vitesse" en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$  en fonction du temps en s.

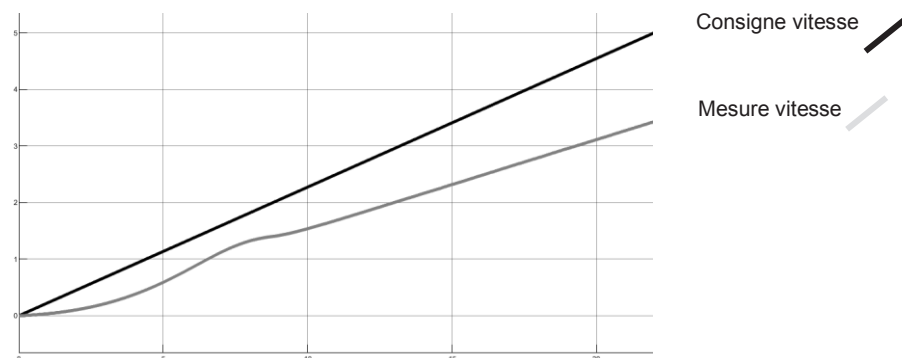


Figure 20. Zoom sur "consigne vitesse" et "mesure vitesse" en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$  en fonction du temps en s

**Question 27 :** En fonction de l'allure de la réponse temporelle (figure 20), **préciser** si le système est modélisable par un système de premier ou second ordre. **Justifier** la réponse.

Afin que l'évolution de la sortie suive l'évolution de la consigne un asservissement de la vitesse de rotation a été mis en place. Cet asservissement de vitesse peut se représenter par le schéma-bloc illustré figure 21.

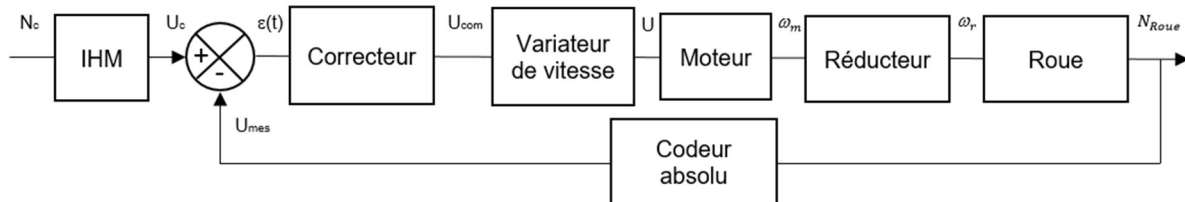


Figure 21. **Modélisation de l'asservissement sous forme de schéma blocs**

Les concepteurs en charge du projet ont installé un codeur afin de mesurer la vitesse de rotation des cabines. Ce codeur multi-tours est placé au centre du disque d'entraînement et fournit un mot binaire de 29 bits.

Extrait des performances attendues de l'asservissement :

Précision	Erreur de poursuite	Nulle
	Erreur de position	< 3 mm Au niveau du diamètre extérieur des cabines (D <sub>ext</sub> )

**Question 28 : Déterminer** la résolution en points par tour de ce codeur afin de respecter cette précision.

**Question 29 : En déduire** le nombre de bits nécessaire au codage de la position ainsi que le nombre de bits permettant le comptage du nombre de tours.

Cet asservissement est mis en œuvre dans le modèle multi-physique précédent et la nouvelle simulation conduit aux résultats illustrés figure 22 et 23.

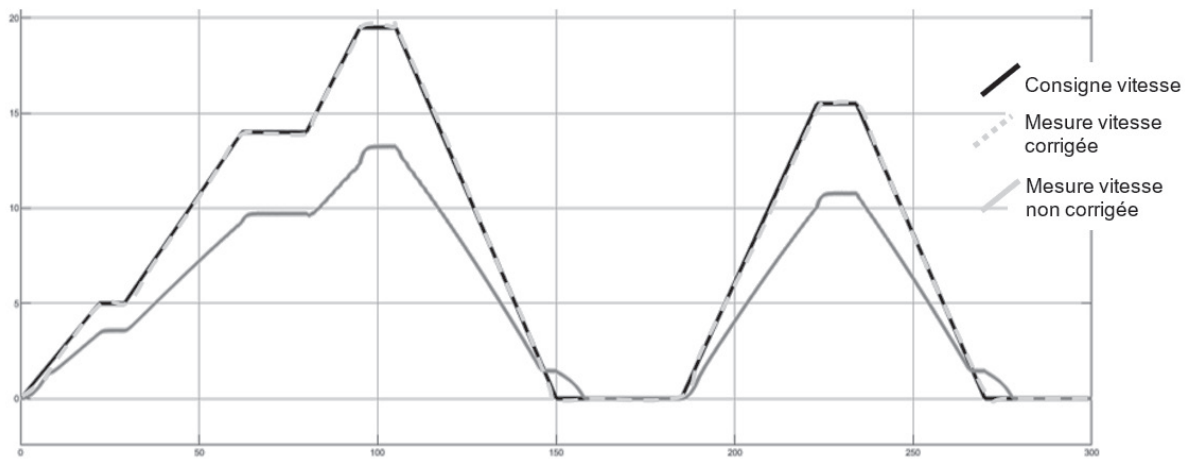


Figure 22. « Consigne vitesse », « mesure vitesse non corrigée » et « mesure vitesse corrigée » en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$  en fonction du temps en s

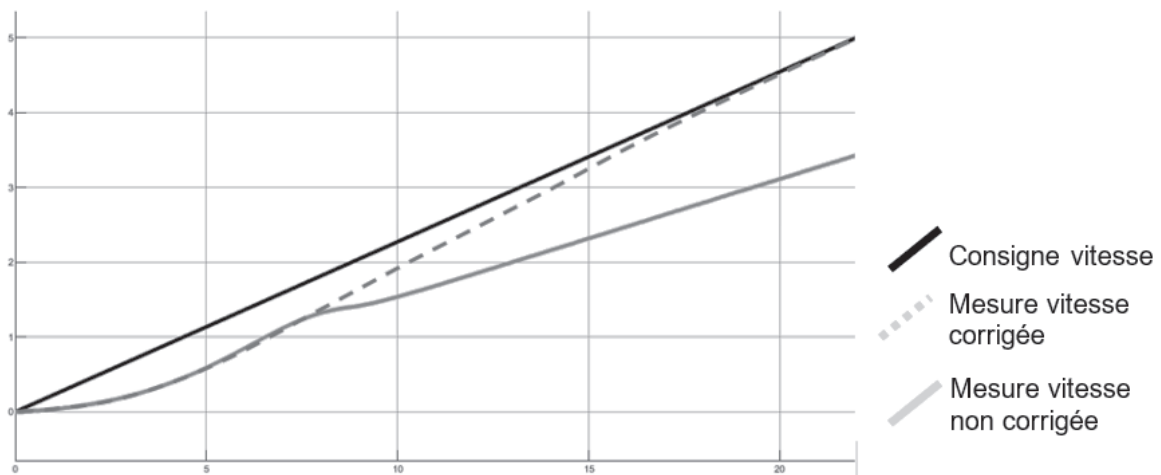


Figure 23. Zoom sur « consigne vitesse », « mesure vitesse non corrigée » et « mesure vitesse corrigée » en  $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$  en fonction du temps en s

**Question 30 : Conclure et justifier** si les exigences sont respectées et si l'objectif de cette partie est atteint.

## Partie 4. Validation de l'expérience luneXplorer

---

*Objectif : Vérifier les accélérations ressenties au niveau d'un siège avant ouverture au public.*

---

L'entreprise créatrice du système préconise de tester le simulateur, en mettant un accéléromètre attaché sur un siège.

Les données ainsi récupérées permettent de vérifier les contraintes de la norme NF EN 13 814-1, notamment l'exigence  $< 0,1g$  en latéral ainsi que les demandes de la Cité de l'espace d'une accélération 2g ou 3g en ventre-dos.

Les données sont récupérées dans un tableur, comme le montre la figure 24.

A	B	C	D
t(s)	Ax - Basis	Ay - Basis	Az - Basis
0	0,305168	0,005076	0,945695
0,005	0,305201	0,005285	0,945545
0,01	0,305253	0,005526	0,945434
0,015	0,305323	0,005735	0,945308

Figure 24. Extrait du tableur contenant les données de l'accéléromètre.

Un traitement informatique permet de récupérer les courbes des accélérations en x, y et z. Il apparaît que le signal sur y est fortement bruité. Un filtrage FIR est utilisé afin d'améliorer le rapport signal sur bruit de la mesure (voir document DT10).

Le programme suivant est appliqué aux données de l'accéléromètre :

```
1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  """
3  Created on Thu Mar 14 14:23:59
4
5  @author: MB
6  """
7
8  # importation des bibliothèques
9  from matplotlib import pyplot as plt
10 import pandas
11 import os
12 import numpy as np
13 from math import sqrt
14
15 # emplacement du dossier de mesures
16 os.chdir('C:/Users/Patrice/Desktop/TestAcceleration')
17 os.listdir()
18
19 # lecture du fichier de mesures type DataFrame
20 mesures = pandas.read_excel('test_acc_v1.xlsx')
21 (L,C)=mesures.shape
22
23
24 c=mesures.columns                # les clés des colonnes
25 temps= _ _ _ _ _                # valeurs associées
26 Ax=mesures[c[1]] _              # valeurs associées
27 Ay=mesures[c[2]] _              # valeurs associées
28 Az=mesures[c[3]] _              # valeurs associées
29
30
31 # Le plot des résultats
32 plt.subplot(3,1,1)
33 plt.plot(temps, Ax, label='Ax',marker='.',linewidth=2)
34 plt.ylabel("Ax [g]",fontsize=40,color = 'blue')
35 plt.yticks(fontsize=20,rotation = 0,color = 'red')
36 plt.xlim([0, temps[L-1]])
37 titre="Accélération suivant les 3 axes"
38 plt.title(titre,fontsize=40,color = 'blue')
39 plt.grid(True)
40
41 # suppression des labels suivant x
42 plt.tick_params(
43     axis='x',                # changes apply to the x-axis
44     which='both',            # both major and minor ticks are affected
45     labelbottom=False)       # labels along the bottom edge are off
46 plt.show()
47
48 plt.subplot(3,1,2)
49 plt.plot(temps, Ay, label='Ay',marker='.',linewidth=2)
50 plt.ylabel("Ay [g]",fontsize=40,color = 'blue')
51 plt.yticks(fontsize=20,rotation = 0,color = 'red')
52 plt.xlim([0, temps[L-1]])
53 plt.grid(True)
54
55 # suppression des labels suivant x
56 plt.tick_params(
57     axis='x',                # changes apply to the x-axis
58     which='both',            # both major and minor ticks are affected
59     labelbottom=False)       # labels along the bottom edge are off
60 plt.show()
61
62 plt.subplot(3,1,3)
63 plt.plot(temps, Az, label='Az',marker='.',linewidth=2)
```

```

64 plt.xlim([0, temps[L-1]])
65 plt.ylabel("Az [g]",fontsize=40,color = 'blue')
66 plt.xlabel("temps [s]",fontsize=40,color = 'blue')
67 plt.xticks(fontsize=20,rotation = 0,color = 'red')
68 plt.yticks(fontsize=20,rotation = 0,color = 'red')
69 plt.grid(True)
70 # fin du traitement
71 # courbes des signaux bruts
72
73
74 #-----
75 # filtrage linéaire de la mesure bruité Ay par un filtre RIF
76 #-----
77 from scipy import signal
78 from scipy.fft import fft
79
80 # Lecture du fichier txt où sont les coefets du filtre dans le "bon
81 " répertoire
82 FIR = np.loadtxt('RIF200.txt')
83
84 # filtre RIF palyndromique
85 # Arguments :
86 # FIR : Les coefficients du filtre RIF
87 # m : La séquence discrète à filtrer
88
89 def filtrage(FIR, Ay):
90     M=len(Ay)                # dim du signal à filtrer
91     N=len(FIR)               # Nbre de coefets. du filtre numérique
92     s = np.zeros(M)
93
94     for n in range(N-1, M):
95         # On va remplir le tableau s avec les valeurs de s_n
96         # Les valeurs de n commencent à N-1 car la convolution
97 n'est pas définie pour n < N-1
98         for
99             # à compléter
100
101
102 # Génération du signal et affichage du résultat
103 s = filtrage(FIR, Ay)
104
105 # Affichage des résultats : plot du signal et signal+bruit
106 plt.subplot(3,1,2)
107 plt.plot(temps,s,'r',markersize=15,linewidth=4,label='Ay filtré')
108 plt.legend(fontsize=20)

```

**Question 31 : Compléter** la ligne 25 du programme, et **expliquer** le traitement effectué par les lignes 32, 33 et 34.

**Question 32 : Compléter**, sur feuille de copie, le filtrage FIR, lignes 94 à 103.

Les courbes obtenues sont illustrées figure 25.

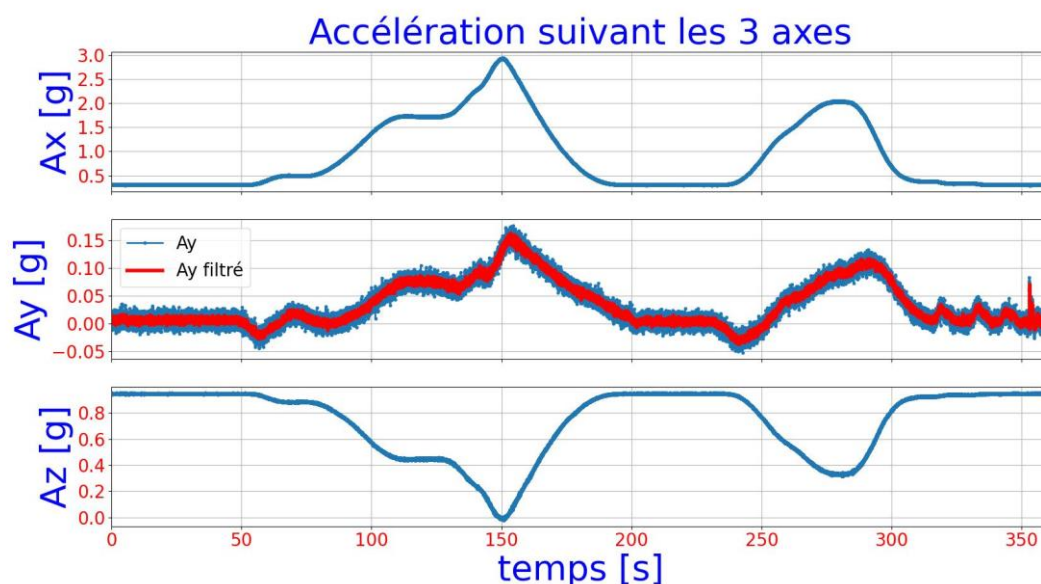


Figure 25. Courbes des accélérations Ax, Ay et Az après traitement numérique.

**Question 33 : Conclure** sur les résultats du test au regard du cahier des charges. **Préciser** les recommandations souhaitables.

Afin de reproduire en laboratoire l'expérience luneXplorer et d'autres scénarios de voyages spatiaux, la réalisation d'une maquette, pour des élèves de terminale spécialité sciences de l'ingénieur, est envisagée. Le contexte de réalisation de cette maquette est le suivant :

### Données pédagogiques

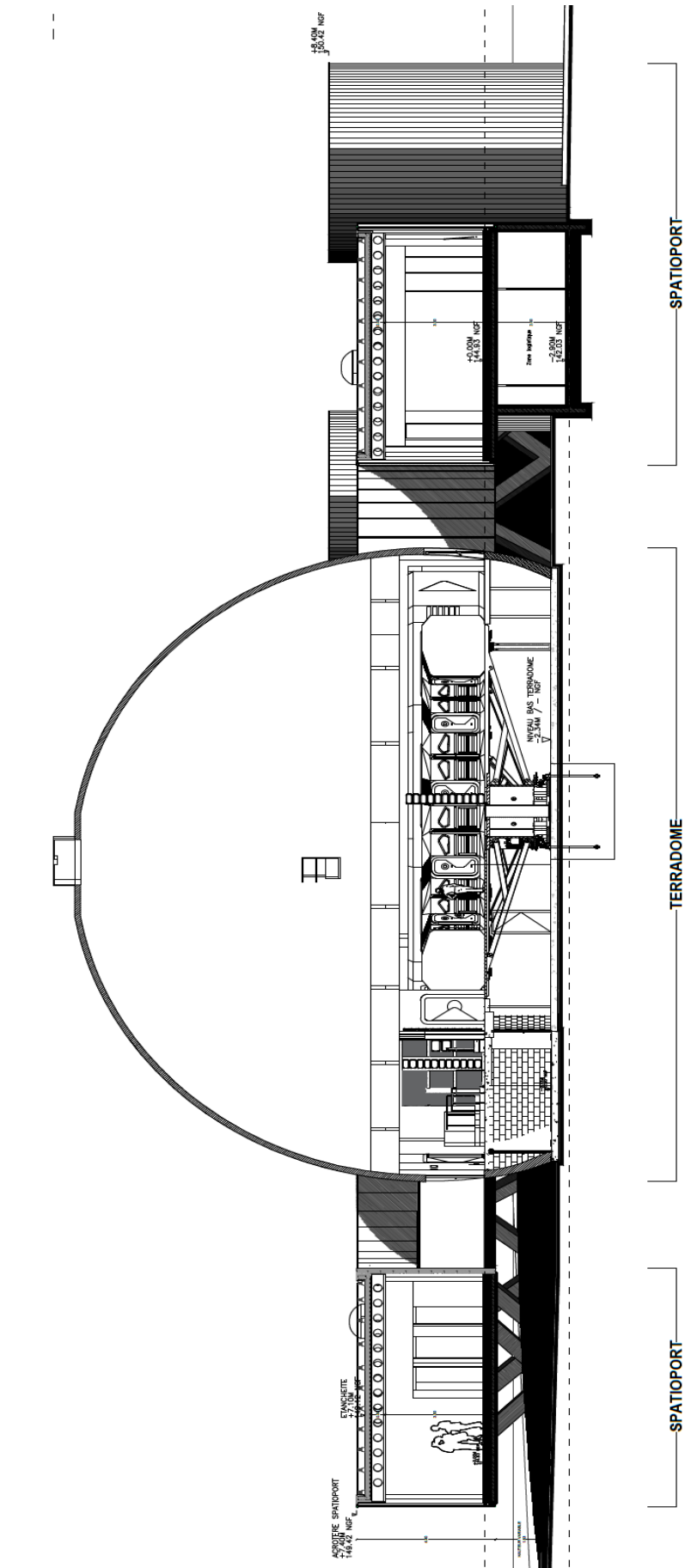
**Enseignement de spécialité : Sciences de l'ingénieur**

**Compétences :**

EXPÉRIMENTER		
Compétences développées	Connaissances associées	Classe
Conduire des essais en toute sécurité à partir d'un protocole expérimental fourni		T <sup>ale</sup>
Proposer et justifier un protocole expérimental		
Instrumenter tout ou partie d'un produit en vue de mesurer les performances	Capteurs, composants d'une chaîne d'acquisition Paramétrage d'une chaîne d'acquisition Carte micro - contrôleur	T <sup>ale</sup>
Modifier les paramètres influents et le programme de commande en vue d'optimiser les performances du produit	Processus itératif d'amélioration des performances	T <sup>ale</sup>

**Question 34 : Compléter** le document réponse DR3 pour définir un protocole expérimental permettant de vérifier les accélérations subies dans le cadre des différents scénarios mis en œuvre.

# DT 1 : Plan en coupe de luneXplorer



## DT 2 : Vues descriptives de luneXplorer

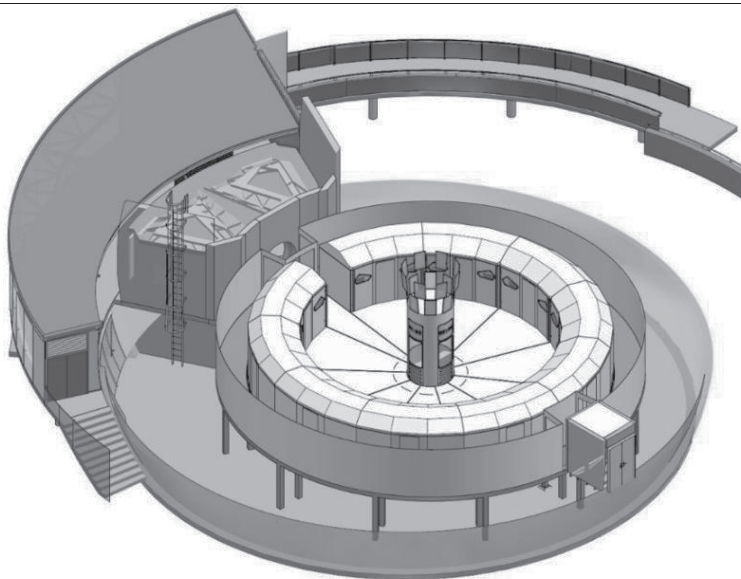


Figure 26. **Vue 3D du simulateur de vol et des sas d'entrée et de sortie.**

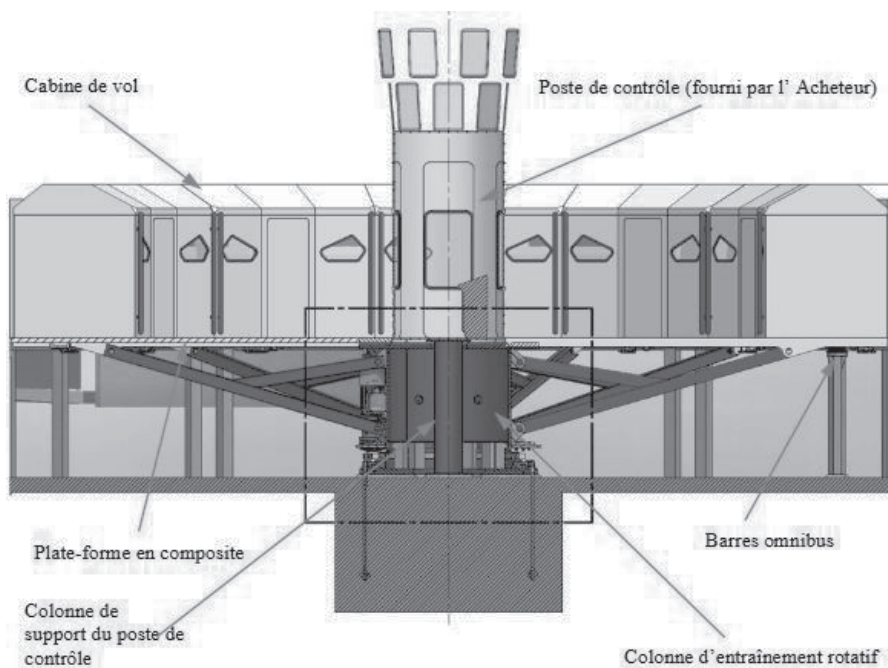


Figure 27. **Descriptif du simulateur de vol**

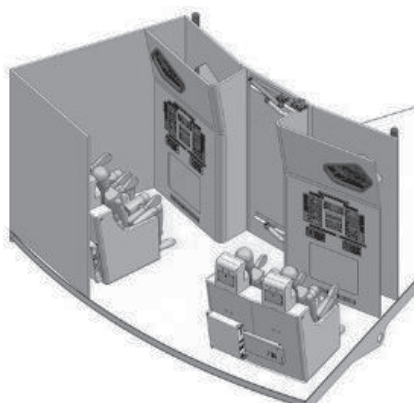
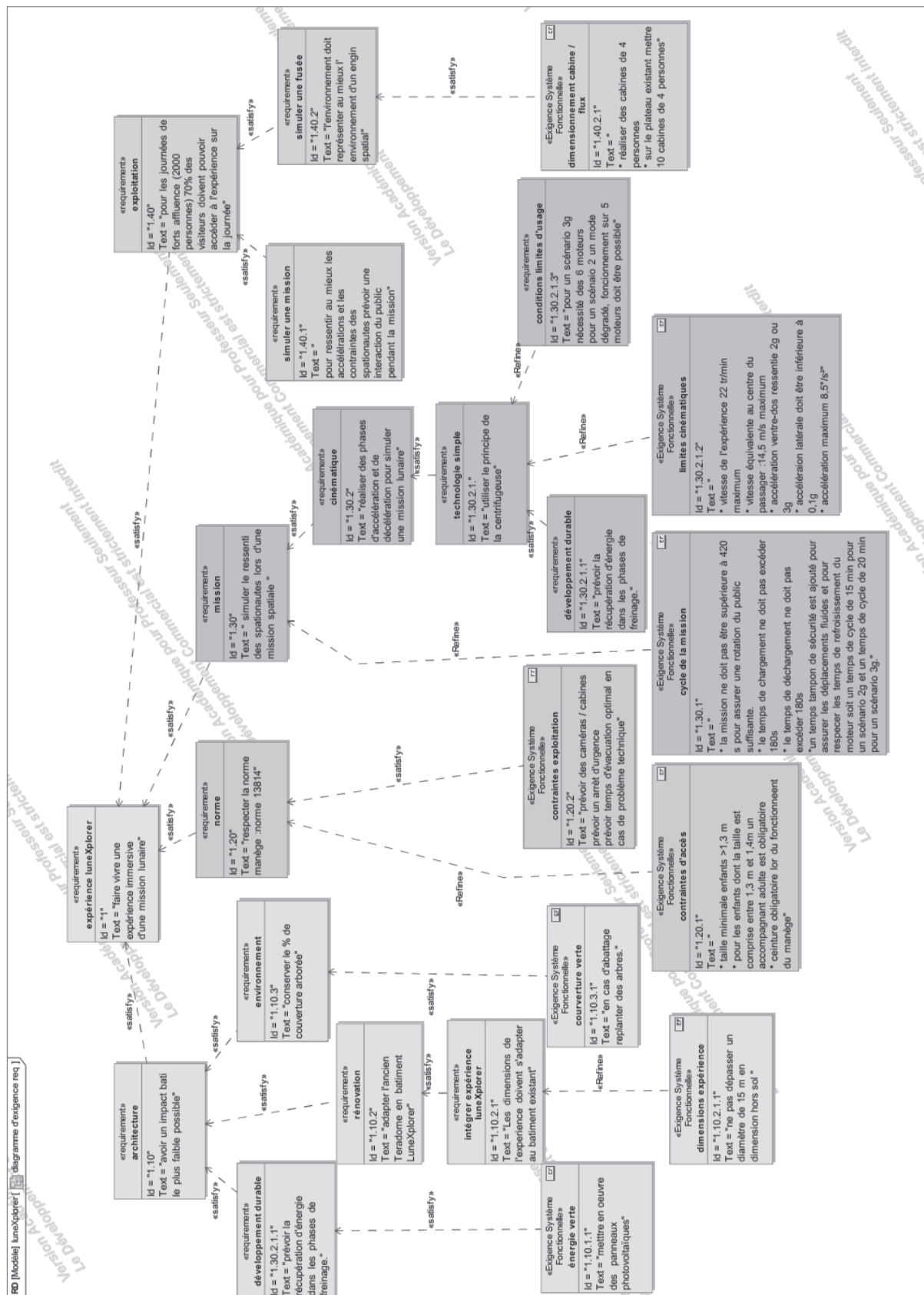


Figure 28. **Aménagement d'une cabine**

<b>DT3 : diagramme des exigences</b>
--------------------------------------



## DT 4 : Extraits fiche FDES Acier pour béton armé

### DESCRIPTION DE L'UNITÉ FONCTIONNELLE ET DU PRODUIT TYPE

<b>Unité fonctionnelle (UF)</b>	Assurer la fonction de 1 kg d'armature sur plan en acier pour béton armé pour une durée de vie de référence de 100 ans.
<b>Unité</b>	kg (kilogramme)
<b>Performance principale</b>	Le produit est destiné à être intégré comme élément d'armature pour renforcer le béton, se référer aux caractéristiques techniques pour plus de détail.
<b>Description du produit type et de l'emballage</b>	Le produit objet de la présente FDES est constitué d'un kilogramme d'acier de nuance B500A ou B500B définie par la norme NF A35-080-1.
<b>Description de l'usage</b>	Le produit est destiné à être intégré comme élément d'armature pour renforcer le béton dans le génie civil/travaux publics et le bâtiment hors maisons individuelles.
<b>Caractéristiques techniques non incluses dans l'unité fonctionnelle</b>	Les caractéristiques techniques des produits sont disponibles sur le site internet des fabricants.

### DÉTAIL DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS POUR LE PRODUIT DE RÉFÉRENCE

Principaux constituants	Masse par unité fonctionnelle (en kg)
Armature en acier (Produit déclaré)	1
Chevrons (Emballage)	0
Palette (Emballage)	0
Film plastique (Emballage)	0,000279
Élingue de levage (Emballage)	0,000466
Acier de cerclage (Emballage)	0,0014

TABLEAU - SYNTHÈSE DES INDICATEURS

Paramètre/information	Unité	TOTAL Étape de Production	TOTAL Étape de mise en œuvre	TOTAL Étape d'utilisation	TOTAL Étape de fin de vie	TOTAL Cycle de vie (sauf D)	Module D
<b>■ Impacts environnementaux</b>							
Changement climatique - total	kg de CO <sub>2</sub> équiv./UF	5,66E-01	1,37E-01	0,00E+00	2,59E-02	7,29E-01	0,00E+00
Changement climatique - combustibles fossiles	kg de CO <sub>2</sub> équiv./UF	5,15E-01	1,37E-01	0,00E+00	2,57E-02	6,77E-01	0,00E+00
Changement climatique - biogénique	kg de CO <sub>2</sub> équiv./UF	5,02E-02	4,60E-04	0,00E+00	2,36E-04	5,09E-02	0,00E+00
Changement climatique - occupation des sols et transformation de l'occupation des sols	kg de CO <sub>2</sub> équiv./UF	4,96E-04	5,29E-05	0,00E+00	9,31E-06	5,58E-04	0,00E+00
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg de CFC 11 équiv./UF	7,08E-08	3,15E-08	0,00E+00	5,71E-09	1,08E-07	0,00E+00
Acidification	mole de H <sup>+</sup> équiv./UF	2,23E-03	4,30E-04	0,00E+00	1,11E-04	2,77E-03	0,00E+00
Eutrophisation aquatique, eaux douces	kg de PO <sub>4</sub> équiv./UF	1,22E-04	9,13E-06	0,00E+00	2,12E-06	1,33E-04	0,00E+00
Eutrophisation aquatique marine	kg de N équiv./UF	4,41E-04	1,01E-04	0,00E+00	3,40E-05	5,76E-04	0,00E+00
Eutrophisation terrestre	mole de N équiv./UF	5,71E-03	1,10E-03	0,00E+00	3,61E-04	7,17E-03	0,00E+00
Formation d'ozone photochimique	kg de COVNM équiv./UF	1,63E-03	3,94E-04	0,00E+00	1,13E-04	2,13E-03	0,00E+00
Épuisement des ressources abiotiques -minéraux et métaux	kg de Sb équiv./UF	4,46E-06	4,76E-07	0,00E+00	9,33E-08	5,03E-06	0,00E+00
Épuisement des ressources abiotiques -combustibles fossiles	MJ/UF	9,69E+00	2,02E+00	0,00E+00	6,63E-01	1,24E+01	0,00E+00

## DT5 : Extraits fiche FDES Béton

### Description de l'unité fonctionnelle et du produit

#### ○ Définition de l'unité fonctionnelle

Assurer la fonction d'élément structurel, pour un volume d'un mètre cube, pour une durée de vie de référence de 100 ans.

#### ○ Description du produit

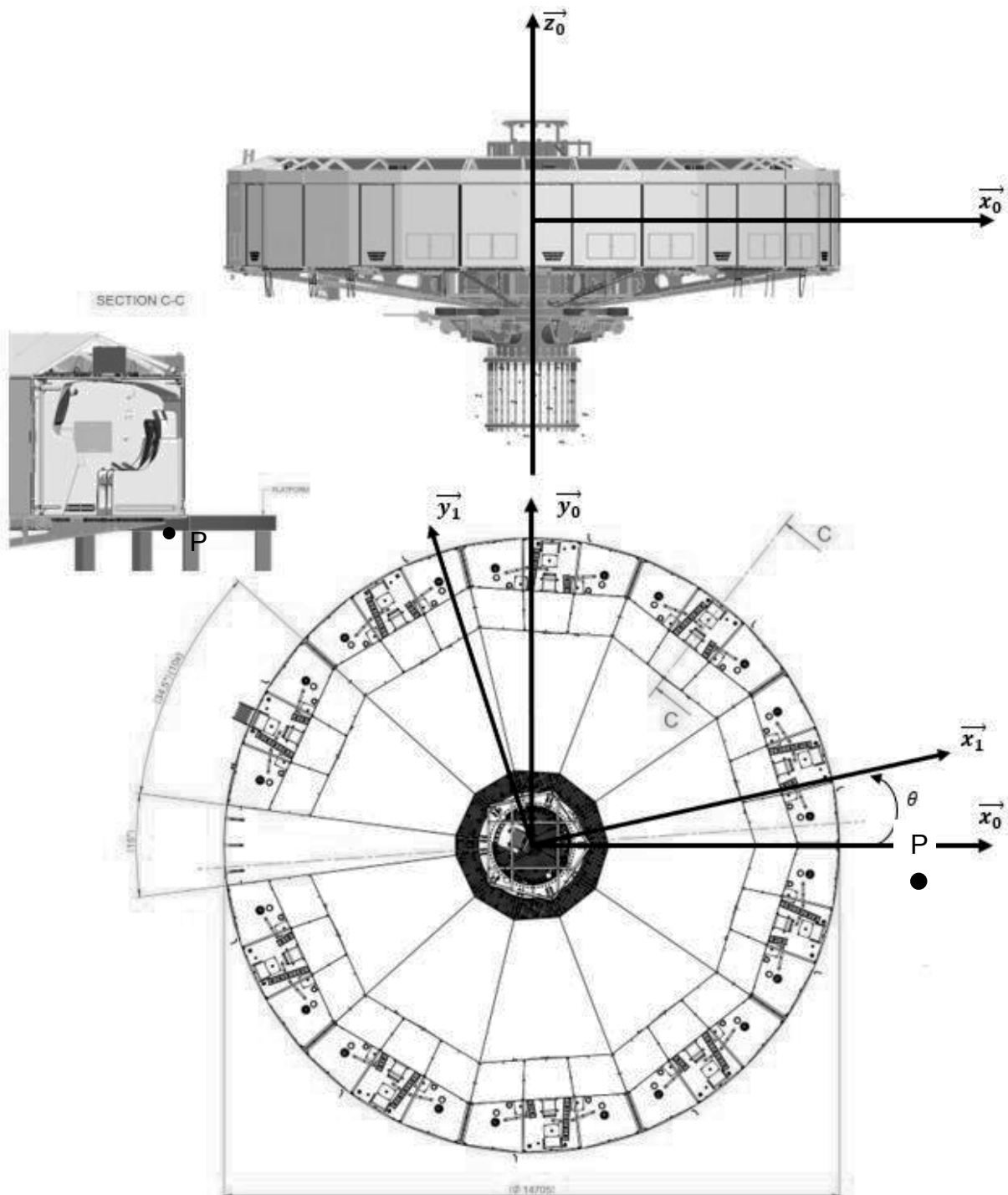
##### Produit :

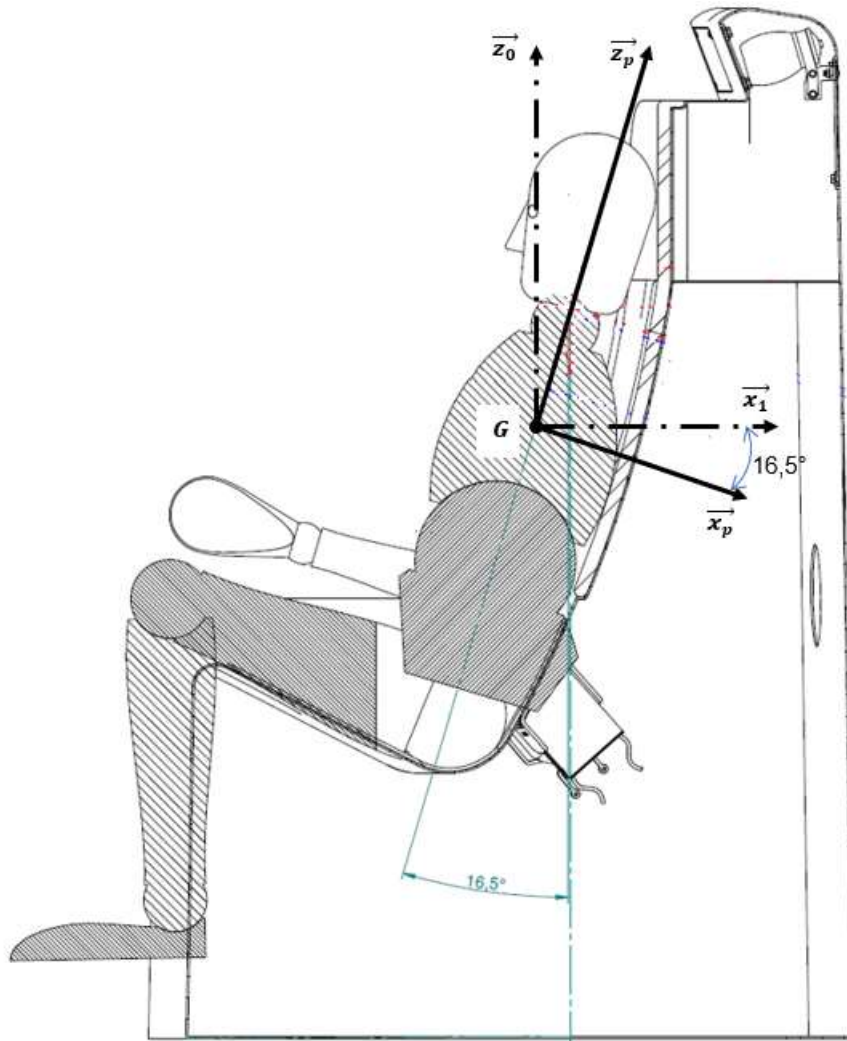
Le béton considéré est conforme à la norme béton NF EN 206/CN.

<b>Caractéristiques du béton</b>	Type d'usage du béton : Béton conforme EN 206/CN
	Autoplaçant : Non
	Résistance : 25 MPa
	Classe d'exposition : XC1
	Consistance : S3
	Dmax : 20
<b>Type de liant</b>	Type de ciment : CEM II/A-L ou LL
	Classe de résistance : 42.5
	Addition : Pas d'addition
<b>Type de granulat majoritaire</b>	Gravillons alluvionnaires
	Sables alluvionnaires
<b>% granulats recyclés</b>	0.0 %

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX						
Agrégation des différents modules pour réaliser un « Total d'étape » ou un « Total cycle de vie »						
Impacts/Flux	Étape de production	Étape de construction	Étape d'utilisation	Étape de fin de vie	Total cycle de vie hors partie D	Étape D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système
Indicateurs d'impacts environnementaux de référence						
Changement climatique - total kg CO2 equiv/UF	1,157E+02	1,369E+01	-5,450E+00	1,020E+01	1,342E+02	-3,850E+00

## DT 6 : Vues et paramétrages du plateau de luneXplorer ©





## Données géométriques

- Le diamètre de l'anneau d'assise (centre de rotation du passager) passant par G :  $2R=13,6$  m.
- Le repère  $R_0 = (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  est considéré comme repère galiléen.
- Le repère mobile  $R_1 = (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  est associé au plateau. Celui-ci est en liaison pivot d'axe  $\vec{z}_0$ , l'angle orientant le repère  $R_1$  est défini par  $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$ .
- P centre de gravité du siège.
- G centre de gravité du passager,  $\vec{OG} = R \vec{x}_1 + h \cdot \vec{z}_0$
- Masse moyenne d'un passager  $m_p = 80$  kg.
- Le repère  $R_p = (G, \vec{x}_p, \vec{y}_p, \vec{z}_p)$  est associé au passager. Celui-ci est incliné dans le siège avec un angle constant  $\alpha = (\vec{x}_1, \vec{x}_p) = (\vec{z}_0, \vec{z}_p)$ .

# DT 8 : Document technique moteur asynchrone

7.1.0 - QL - HQL - HQLa

7.1.0 - QL - HQL - HQLa

DATI ELETTRICI E PRESTAZIONI				ELECTRICAL DATA AND PERFORMANCES								ELEKTRISCHE DATEN UND LEISTUNGEN						
HQL	n <sub>n</sub> 580 rpm f <sub>n</sub> 19.3 Hz Un 400V		n <sub>n</sub> 1000 rpm f <sub>n</sub> 33.3 Hz Un 400V		n <sub>n</sub> 1500 rpm f <sub>n</sub> 50 Hz <sup>1)</sup> Un 400V		n <sub>n</sub> 1800 rpm f <sub>n</sub> 60 Hz Un 400V		n <sub>n</sub> 2200 rpm f <sub>n</sub> 73.3 Hz Un 400V		n <sub>n</sub> 2600 rpm f <sub>n</sub> 86.6 Hz Un 400V		HQL - IP 54 - IC 416					
Motor Type	P <sub>n</sub> Kw M <sub>n</sub> Nm	In A η %	P <sub>n</sub> Kw M <sub>n</sub> Nm	In A η %	P <sub>n</sub> Kw M <sub>n</sub> Nm	In A η %	P <sub>n</sub> Kw M <sub>n</sub> Nm	In A η %	P <sub>n</sub> Kw M <sub>n</sub> Nm	In A η %	P <sub>n</sub> Kw M <sub>n</sub> Nm	In A η %	n <sub>max</sub> <sup>5)</sup> Rpm	M <sub>max</sub> Nm	J Kg m <sup>2</sup>	W Kg		
80S	0,6 10,5	1,6 73,7	1,0 10,0	2,3 80,3	1,5 9,5	3,3 82,8	1,8 9,5	3,9 83,0	2,1 9,0	4,5 83,2	2,3 8,6	5,0 83,4	9000 <sup>1)</sup> 8000 <sup>3)</sup>	25	0,0060	23		
80M	0,9 15,4	2,3 75,0	1,5 14,7	3,4 81,8	2,2 14,0	4,7 84,3	2,6 14,0	5,6 84,6	3,1 13,3	6,5 84,7	3,4 12,6	7,3 84,9		35	0,0076	27		
80L	1,3 20,9	3,0 76,1	2,1 20,0	4,5 82,9	3,0 19,0	6,3 85,5	3,6 19,0	7,5 85,8	4,2 18,1	8,7 85,9	4,7 17,1	9,8 86,1		48	0,0102	31		
80P	1,7 28,1	4,0 77,1	2,8 26,8	6,0 84,0	4,0 25,5	8,4 86,6	4,8 25,5	10,0 86,9	5,6 24,2	11,6 87,0	6,2 23,0	12,9 87,2		65	0,0137	37		
80X	2,3 38,5	5,4 78,1	3,8 36,8	8,2 85,1	5,5 35,0	11,3 87,7	6,6 35,0	13,5 88,0	7,7 33,3	15,7 88,1	8,6 31,5	17,5 88,3	7500 <sup>1)</sup> 9000 <sup>2)</sup> 6700 <sup>3)</sup>	88	0,0163	45		
100S	2,3 38,5	5,4 78,1	3,8 36,8	8,2 85,1	5,5 35,0	11,3 87,7	6,6 35,0	13,5 88,0	7,7 33,3	15,7 88,1	8,6 31,5	17,5 88,3		80	0,0229	44		
100M	3,2 52,3	7,3 78,9	5,2 49,9	11,0 86,0	7,5 47,5	15,2 88,7	9,0 47,5	18,2 89,0	10,4 45,1	21,1 89,1	11,6 42,8	23,5 89,3		120	0,0298	53		
100L	3,9 64,4	8,9 78,9	6,4 61,4	13,5 86,0	9,2 58,5	18,7 88,7	11,0 58,5	22,4 89,0	12,8 55,6	25,9 89,1	14,3 52,7	29,0 89,3		150	0,0350	60		
100P	4,7 77,0	10,6 79,9	7,7 73,5	16,0 87,1	11,0 70,0	22,1 89,8	13,2 70,0	26,5 90,1	15,3 66,5	30,7 90,2	17,2 63,0	34,3 90,4	6700 <sup>1)</sup> 8000 <sup>2)</sup> 6300 <sup>3)</sup>	180	0,0418	70		
100X	5,7 94,6	13,0 79,9	9,5 90,3	19,6 87,1	13,5 86,0	27,2 89,8	16,2 86,0	32,5 90,1	18,8 81,7	37,7 90,2	21,1 77,4	42,1 90,4		220	0,0556	82		
132S	6,4 105	12,6 86,0	10,5 100	20,3 89,0	15,0 95,5	28,1 91,8	18,0 95,5	33,6 92,1	20,9 90,7	39,0 92,3	23,4 86,0	43,5 92,4	6700 <sup>1)</sup> 8000 <sup>2)</sup> 6300 <sup>3)</sup>	200	0,075	94		
132M	8,1 133	16,0 86,0	13,3 127	26,1 89,9	19,0 121	36,1 92,7	22,8 121	43,2 93,0	26,5 115	50,1 93,2	29,6 109	56,0 93,3		240	0,093	109		
132L	9,4 154	18,5 86,0	15,4 147	29,7 90,1	22,0 140	41,2 92,9	26,4 140	49,3 93,2	30,6 133	57,1 93,4	34,3 126	63,8 93,6		280	0,109	122		
132P	10,6 175	21,0 86,0	17,5 167	33,8 91,1	25,0 159	46,9 93,9	30,0 159	56,1 94,2	34,8 151	65,0 94,4	39,0 143	72,6 94,6		320	0,123	135		
132X	13,2 217	26,1 86,0	21,7 207	40,7 90,8	31,0 198	56,3 93,6	37,2 198	67,4 93,9	43,2 188	78,1 94,1	48,4 178	87,3 94,3	5300 <sup>1)</sup> 7500 <sup>2)</sup> 4800 <sup>3)</sup>	400	0,151	157		
160S	15,3 252	29,5 88,0	25,2 240	47,8 91,8	36,0 229	66,2 94,6	43,2 229	79,2 94,9	50,1 218	91,8 95,1	56,1 206	103 95,3		450	0,255	201		
160M	17,9 294	34,5 88,0	29,4 281	55,8 91,8	42,0 268	77,3 94,6	50,4 268	92,5 94,9	58,5 254	107 95,1	65,5 241	120 95,3		520	0,290	220		
160L	20,8 343	40,2 88,0	34,3 328	62,7 92,0	49,0 312	86,9 94,8	58,8 312	104 95,1	68,3 296	120 95,3	76,4 281	135 95,5		600	0,341	247		
160P	23,4 385	45,1 88,0	38,5 368	71,1 92,0	55,0 350	98,6 94,8	66,0 350	118 95,1	76,6 333	137 95,3	85,8 315	153 95,5		700	0,387	276		

## ► Motorisation retenue

Type HQL 100X Oemer 3-Ph AC motor								
Puissance utile	Tension moteur	Courant nominal	Fréquence	Vitesse nominale n <sub>n</sub>	Facteur de puissance	Couple nominal	$\frac{C_d}{C_n}$	$\frac{C_{max}}{C_n}$
13,5 kW	230/400 V	27,2 A	50 Hz	1 480 tr.min <sup>-1</sup>	0,8	86 Nm	1,16	2,56

Moteur type HQL :  $n_n < n_1 < n_{max}$  et  $n_1 = 3\ 600\ rpm$

Il est précisé que :

- $C_d$  est le couple de démarrage ;
- $C_{max}$  est le couple maximal.

## DT 9 : moteur asynchrone et services types selon la norme EN60034/IEC34-1

### Présentation :

Les caractéristiques d'une machine électrique sont fournies par son constructeur pour une utilisation continue permettant d'atteindre l'équilibre thermique (correspond au service type S1).

### Par exemple :

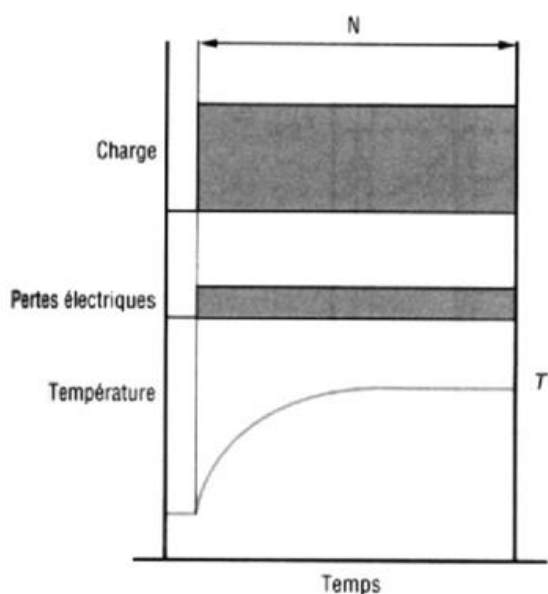
Une machine de puissance nominale 1,5 kW peut fournir cette puissance en marche continue et constante sans échauffement dangereux.

Si la machine doit entraîner la même charge avec de nombreux accélérations et freinages le moteur de 1,5 kW aura tendance à chauffer, et peut se détériorer. Il faut donc choisir un moteur de puissance supérieure (par exemple 2,2 kW).

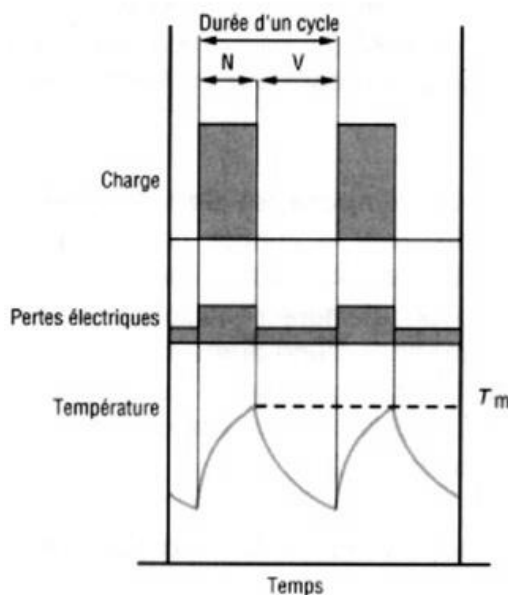
À l'opposé, si un moteur doit entraîner une charge de 1,5 kW sur une durée très courte avec très peu de démarrages à l'heure, la machine a le temps de refroidir entre chaque cycle. Le moteur peut être déclassé (sous dimensionné) en choisissant un moteur de 1 kW par exemple.

### Exemple de fonctionnement types S1 et S6

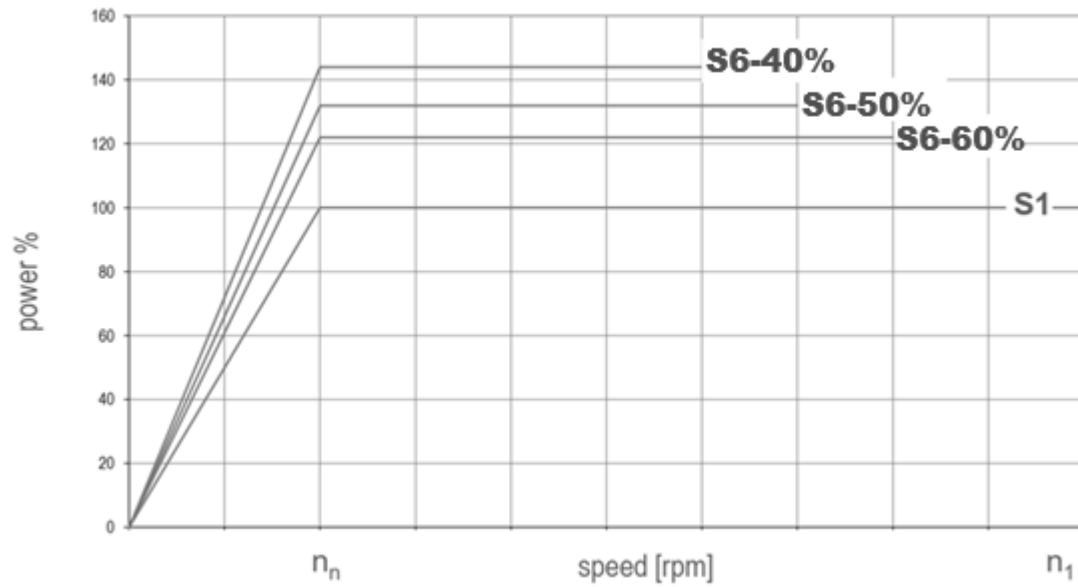
#### S1 - Service continu :



#### S6 - Service ininterrompu périodique à charge intermittente :



## Courbe de déclassement pour le moteur HQE



### Remarque S6 – x%

x % correspond au temps d'utilisation par rapport au temps de cycle,

soit  $x\% = \frac{N}{N+V} \times 100$

## DT 10 : filtre FIR (ou RIF en français)

En traitement du signal, un **filtre à réponse impulsionnelle finie** ou **filtre RIF** (en anglais *Finite Impulse Response filter* ou *FIR filter*) est un filtre dont la réponse impulsionnelle est de durée finie.

On parle le plus souvent de filtre RIF pour des filtres à temps discret. Un filtre numérique RIF est caractérisé par une réponse uniquement basée sur un nombre fini de valeurs du signal d'entrée. Par conséquent, quel que soit le filtre, sa réponse impulsionnelle sera stable et de durée finie, dépendante du nombre de coefficients du filtre.



Un filtre FIR est un filtre à réponse impulsionnelle fini qui a pour expression la récurrence suivante :

$$y[n] = a_0 \cdot x[n] + a_1 \cdot x[n - 1] + a_2 \cdot x[n - 2] + \dots + a_{N-1} \cdot x[n - N + 1]$$

où  $x_{i, 0 \leq i \leq n}$  représente les valeurs du signal d'entrée,  $y_{i, 0 \leq i \leq n}$  les valeurs du signal de sortie et  $N$  le rang du filtre.

En utilisant le symbole de sommation, l'équation peut être réécrite de la façon suivante :

$$y[n] = \sum_{i=0}^N a(i) \cdot x(n - i)$$

Où  $N$  est le nombre de coefficients (ordre du filtre)

et  $a_i$  sont les coefficients de la fonction de transfert du filtre.

**Modèle CMEN v3**

**Nom de famille :** \_\_\_\_\_  
*(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)*

**Prénom(s) :** \_\_\_\_\_

**Numéro Candidat :** \_\_\_\_\_ **Né(e) le :** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

**Concours :** ..... **Option / Section :** ..... **N° d'inscription :** \_\_\_\_

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :  
☐ externe    ☐ 3<sup>e</sup> externe    ☐ externe spécial    ☐ interne ou 1<sup>er</sup> interne    ☐ 2<sup>nd</sup> interne    ☐ 2<sup>nd</sup> interne spécial

**Examen professionnel pour l'avancement au grade de :** .....

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

**Examen :** ..... **Série / Spécialité :** .....

**Epreuve - Matière :** ..... **Session :** .....

EAI STI 1

## DR1 - DR2 - DR3

**Tous les documents réponses sont à rendre,  
même non complétés.**

**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

**Document Réponse DR1**

**ÉVALUATION SCIENCES DE L'INGÉNIEUR**

**DURÉE : 1h**

**NIVEAU : Terminale**

<b>COMPÉTENCE EVALUÉE : RÉSOUDRE ET MODÉLISER</b>	
<b>Compétences développées</b>	<b>Connaissances associées</b>
Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé	Principe fondamental de la dynamique Solide en rotation autour d'un axe fixe dont le centre de gravité est sur l'axe de rotation Notion d'inertie et d'inertie équivalente
<b>MISE EN SITUATION</b>	
<b>HYPOTHESES</b>	
<b>DONNÉES</b> - Moteur utilisé : couple max 100 Nm	
<b>QUESTIONS</b>	

Compétence développée	Indicateurs d'évaluation	Niveaux d'appréciation		
		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé				

Identification du protocole	Schéma du dispositif expérimental	Protocole expérimental
Problématique, Question scientifique		
Hypothèse		
Paramètres variables		
Paramètres contrôlés		
Paramètres observés		
Matériels	Traitement des résultats	