

SESSION 2024

---

**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





## COMPOSITION DU SUJET

### SUJET :

<b>Partie 1. Déploiement de la couverture</b>	<b>4</b>
<b>Partie 2. Détermination des charges appliquées sur un bogie</b>	<b>6</b>
<b>Partie 3. Choix du motoréducteur et logique de commande</b>	<b>9</b>

### DOCUMENTS :

DOSSIER TECHNIQUE (DT1 à DT13) - Documents relatifs au support de l'étude	21
DOSSIER PÉDAGOGIQUE (DP1) - Documents spécifiques aux exploitations pédagogiques	34
DOSSIER RÉPONSES (DR1 à DR7) - Document à compléter et à rendre par le candidat	35

Le sujet comporte trois parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Les différentes parties seront traitées sur des copies séparées.

Toutes les réponses devront être détaillées sur la copie et les résultats encadrés ou soulignés.

Préciser les unités des résultats.

Tous les documents réponses, remplis ou non, sont à rendre avec les copies.

Il est conseillé de composer pendant environ trois heures pour les parties 1 et 2 et deux heures pour la partie 3.

## Mise en situation

### Une couverture télescopique rétractable à Roland-Garros

Dans le cadre de la modernisation du site de Roland-Garros, une toiture mobile sur le court Philippe Chatrier (figure 1) a été réalisée. Livrée à l'été 2020 pour la Fédération française de tennis (FFT), la couverture rétractable permet désormais d'élargir les plages horaires des matchs, et ainsi d'accueillir 150 000 visiteurs supplémentaires à chaque tournoi.

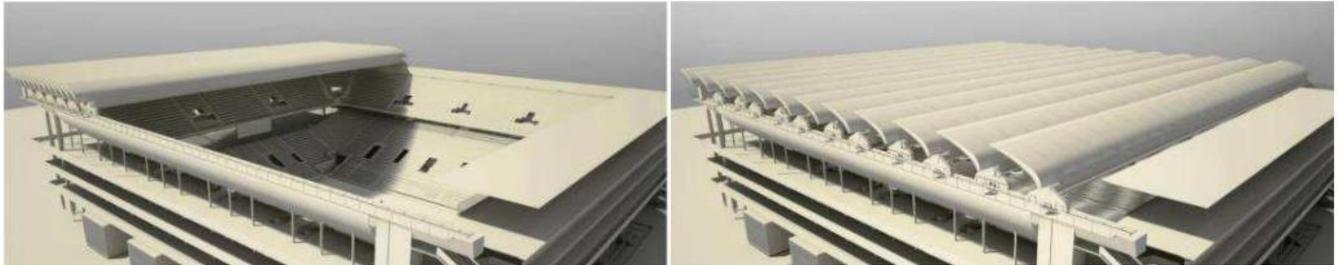


Figure 1 : couverture du stade Philippe Chatrier ouverte et fermée

La FFT, son commanditaire, avait établi un cahier des charges particulièrement exigeant (voir le diagramme des exigences du document technique DT2), à commencer par la conservation de l'ambiance d'un court plein air afin d'allier sport et détente. Cependant, il importait de se mettre à l'abri des interruptions dues aux intempéries ou à la tombée de la nuit sans pour autant générer d'ombres inopportunes pour les transmissions télévisées.

Le système de couverture est constitué des éléments principaux représentés dans la figure 2, complété par les diagrammes du document technique DT1 :

- 11 ailes constituées des éléments permettant d'augmenter la surface couverte : poutres caisson, nervures, croix de contreventement, bec de contreventement horizontal ;
- des compas : les ailes sont reliées l'une à l'autre par des éléments métalliques articulés assurant la couverture du vide entre elles quand la toiture est dépliée et, permettent également de diminuer son encombrement quand la toiture est repliée (chaque aile s'encastre dans la précédente) ;
- 2 poutres de roulement : les ailes s'appuient sur les bogies qui roulent sur les poutres de roulement.

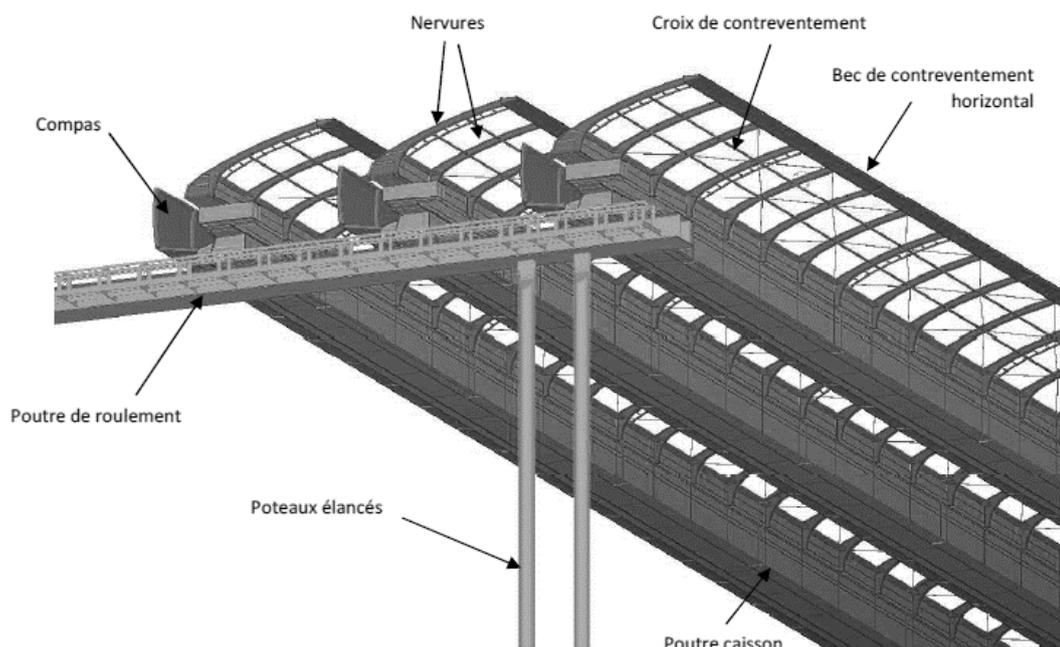


Figure 2 : identification des éléments de la couverture

L'étude est décomposée en trois parties indépendantes permettant de répondre à des problématiques techniques :

Partie 1 : comment commander le déplacement des ailes pour l'effet de déploiement souhaité ?

Partie 2 : quelles sont les charges à considérer pour le dimensionnement et le choix des moteurs ?

Partie 3 : quelle motorisation choisir et comment régler la commande pour réaliser le déplacement souhaité ?

## Partie 1. Déploiement de la couverture

**Objectif :** *Le déplacement des ailes doit se faire simultanément afin d'obtenir un effet de dilatation en un temps de déploiement maximal imposé. Il s'agit, dans cette partie, de mettre en place la consigne qui permet de vérifier l'exigence 1.1.2 « Déployer/replier la couverture mobile ».*

Id	Nom de l'exigence	Critère
1.1.2	Déployer/replier la couverture mobile	Déploiement coordonné et harmonieux des ailes - effet de dilatation
1.1.2.1	Temps de déploiement	Temps de déploiement de 15 min maximum
1.1.2.2	Gérer la commande d'ouverture et de fermeture	
1.1.2.2.3	Déplacer indépendamment les ailes	Démarrage et arrêt simultanés de chaque aile. Temps de phases de mouvement identiques
3	Temps d'accélération et de décélération	Temps de la phase d'accélération et de décélération de 10 s

Tableau 1 : extrait 1 du diagramme des exigences

### 1.1 Vérification du déplacement des ailes de la toiture

La couverture du stade est constituée de 11 ailes dont 10 sont mobiles tandis que la 11<sup>e</sup> est fixe. Le concept de fonctionnement consiste à déployer les 10 ailes mobiles de manière indépendante l'une de l'autre, selon une trajectoire rectiligne. Ces ailes roulent sur deux rails parallèles posés sur deux poutres de roulement. Les ailes mobiles se déplacent entre deux configurations limites : configuration dépliée et configuration repliée (voir document technique DT3).

Le profil de vitesse choisi se décompose en une phase d'accélération constante (de durée  $t_1 = 10$  s), une phase à vitesse constante (de  $t_1$  à  $t_2$ ) et une phase de décélération constante (de durée 10 s, de  $t_2$  à  $t_3$ ). Pour cette étude, on se place à la limite maximale du temps d'ouverture c'est-à-dire  $t_3 = 15$  min. La cinématique souhaitée est la suivante : l'ensemble des ailes entre en mouvement en même temps et s'arrête simultanément avec le même temps pour les trois phases du mouvement. On a ainsi l'impression visuelle d'une dilatation de l'ensemble de la toiture (exigence 1.1.2). Cela implique que chaque aile évolue à une vitesse différente, l'aile 1 ayant la vitesse maximale et l'aile 10 la vitesse minimale.

**Question 1 :** Déterminer les déplacements totaux que doivent effectuer les ailes 1 et 10 pendant la durée  $t_3$  (notés  $d_{3,a1}$  et  $d_{3,a10}$ ) entre les configurations pliées et dépliées présentées sur le document technique DT3.

**Question 2 :** Déterminer, pour les ailes 1 à 10, leur vitesse lors de la phase à vitesse constante (notées respectivement  $v_{a1}$  et  $v_{a10}$ ). Tracer les profils de vitesse pour les ailes 1 et 10 en fonction du temps sur le diagramme vitesse du document réponse DR1 (les valeurs en ordonnée sont à préciser).

On cherche une loi de vitesse qui permette de retrouver la vitesse maximale de l'aile ( $m \cdot s^{-1}$ ) en fonction de son numéro associé et ainsi procéder par la suite au choix des variateurs de fréquence. L'exigence 2.1.2.1 implique d'imposer une loi en vitesse linéaire de type  $v_{an} = A \cdot n + B$ , avec  $n$  le numéro de l'aile,  $v_{an}$  la vitesse maximale de l'aile  $n$ .

**Question 3 :** Calculer les valeurs numériques des constantes  $A$  et  $B$  en unités du système international.

Chaque aile est entraînée par les motoréducteurs via un système pignon-crémaillère de diamètre  $D_{pc} = 318$  mm. Le document technique DT4 présente le choix des familles de moteur utilisées pour la mise en translation de chacune des ailes.

**Question 4 :** Déterminer les vitesses angulaires maximales du pignon des ailes 1 et 10. En considérant le couple nécessaire constant, **justifier** l'utilisation de trois motoréducteurs différents pour le déplacement des ailes.

Pour aborder les notions de mouvement, une expérimentation simple a été réalisée avec des élèves de terminale en enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur permettant de mesurer l'accélération d'un objet en mouvement suivant une trajectoire rectiligne d'axe  $\vec{x}$ . Le tableau suivant présente un extrait des résultats obtenus.

Time	mesures suivant l'axe $\vec{x}$ (trajectoire étudiée)	mesures suivant l'axe $\vec{y}$	mesures suivant l'axe $\vec{z}$ (vertical)
1,095256	2 100	-10	50 035
1,096767	3 125	-340	50 805
1,100052	3 895	-255	50 720
1,102358	4 820	-35	50 425
1,104208	4 910	-245	50 365
1,106623	6 140	-135	50 390
1,108761	7 510	-75	50 195
1,110867	7 985	-25	49 975
1,11327	8 205	-60	49 950
1,115684	8 290	-245	50 035
1,11789	8 410	-160	50 110
1,119733	8 425	-450	50 075
1,121862	8 570	-780	50 195
1,124607	8 975	-660	50 230
1,130869	9 325	-770	50 245
1,131668	9 155	-550	50 220
1,132048	9 475	-365	50 365
1,13729	9 670	-230	50 170
1,137706	10 010	-245	50 185
1,139683	10 985	-160	50 230

**Question 5 :** Proposer une fiche méthodologique (format recto A4) à destination des élèves permettant de tracer les profils de position, de vitesse et d'accélération à partir de résultats expérimentaux et d'identifier le type de mouvement.

## Partie 2. Détermination des charges appliquées sur un bogie

**Objectif :** Cette partie vise à calculer toutes les charges qui s'appliquent sur un bogie en vue du choix du moteur.

Id	Nom de l'exigence	Critère
1.1.4	Assurer la sécurité des usagers	Cf. document technique DT6 « Charges appliquées à l'ensemble d'une demi aile »
1.1.4.1	Résister aux charges climatiques	
1.1.4.2	Résister aux charges permanentes	
1.1.4.3	Résister aux charges d'exploitation	

Tableau 2 : extrait 2 du diagramme des exigences

Le document technique DT5 présente une partie du système.

Le bureau d'étude en charge du dimensionnement des différents éléments structurels a réalisé des expérimentations, études et analyses pour chaque aile de la couverture dans trois situations différentes :

- aile dépliée,
- aile intermédiaire (en cours de déploiement),
- aile repliée.

Afin de simplifier les démarches l'étude porte sur la structure liée à l'aile 1 en situation repliée (document technique DT3).

Hypothèses :

- on isole une demi-aile ;
- le problème est plan ( $\vec{x}, \vec{z}$ ).

Toutes les valeurs des efforts appliqués sur la demi-aile sont énumérées dans le tableau fourni dans le document technique DT6.

Le bilan des actions mécaniques extérieures s'appliquant sur la demi-aile est :

- la charge de neige s'applique au point d'application sur l'aile, point A ;
- les charges de vent s'appliquent au centre géométrique des ailes, défini par le CSTB, point C ;
- l'action du bogie sur la demi-aile au point D ;
- le reste des efforts, listé dans le document technique DT6, est calculé par rapport au centre de gravité des poutres caissons des ailes, point B.

La figure 3 montre une vue du système {Pont de roulement + Bogie + Aile} ainsi que les points d'application des différents efforts.

### 2.1 Charges de neige appliquées au système

L'objectif, dans un premier temps, est de déterminer les charges de neige appliquées au point A.

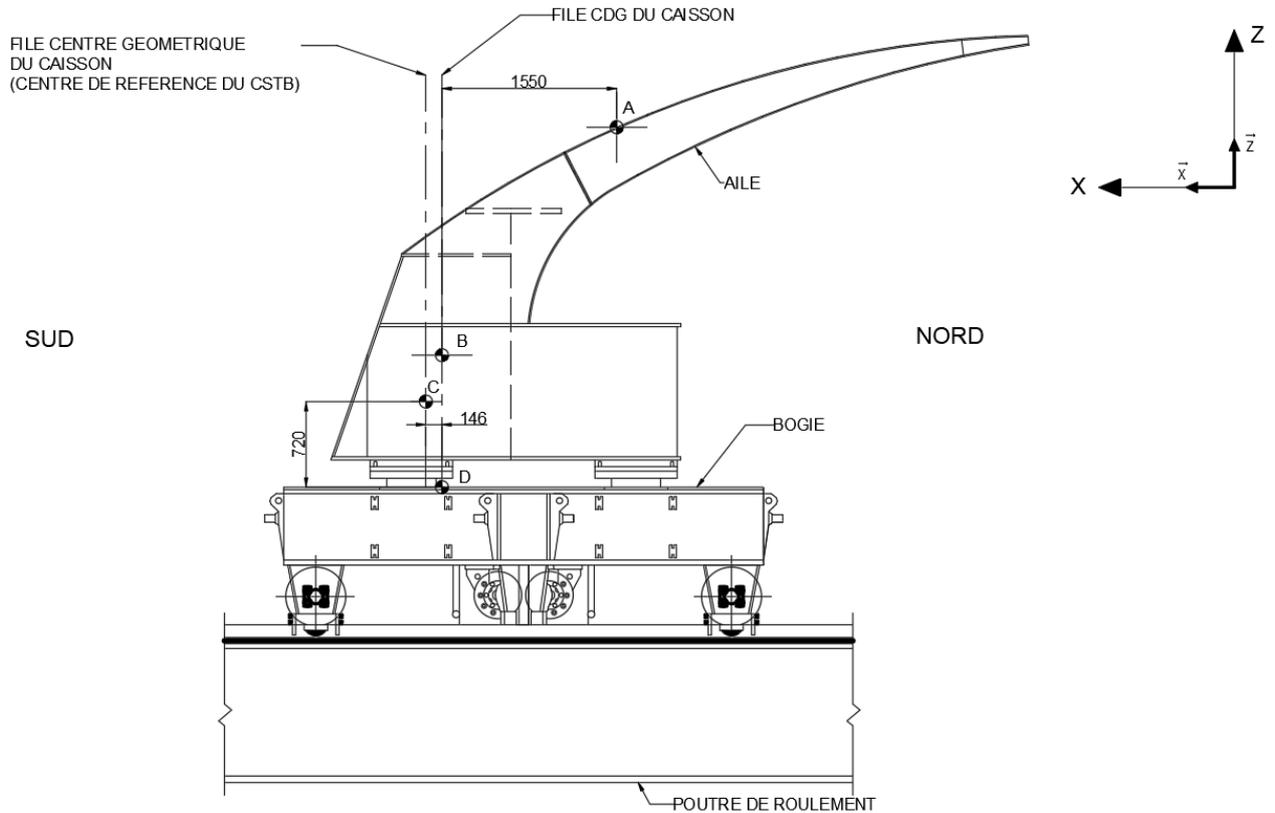


Figure 3 : représentation du point d'application de la charge de neige sur l'aile, du centre de gravité et du centre géométrique du caisson, et du point d'application des efforts sur le bogie

**Question 6 :** Calculer la charge de neige surfacique  $S$  appliquée à la couverture, puis la charge de neige ponctuelle  $S_p$  appliquée au point A à l'aide du formulaire donné sur le document technique DT7.

Une accumulation locale de neige est à considérer dans le chéneau (voir figure 4).

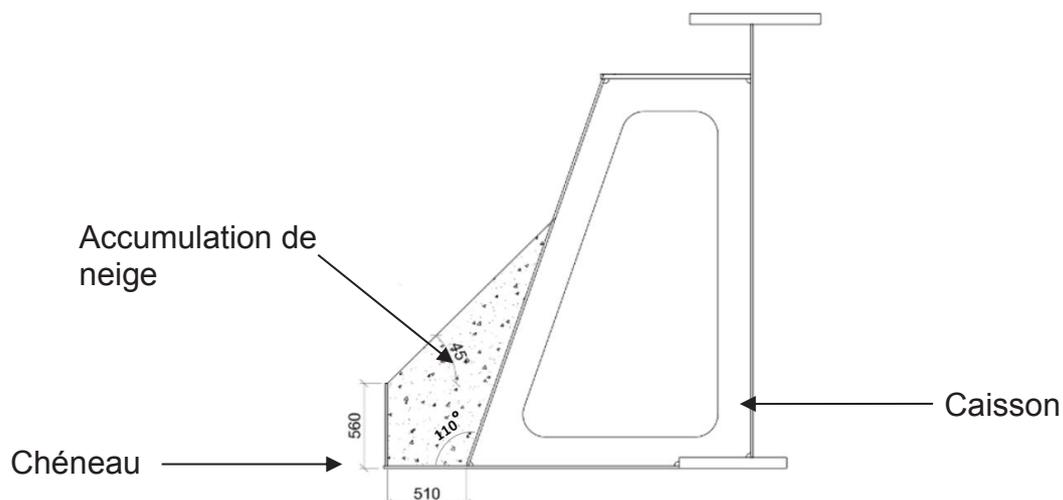


Figure 4 : accumulation de neige dans le chéneau

La norme NF EN 1991-1-3 définit le poids propre de la neige établie quelques jours ou quelques heures après la chute de neige avec une valeur de  $2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ .

La surface de l'accumulation de neige dans le chéneau est de  $0,74 \text{ m}^2$ , et la longueur totale d'une aile est de  $101,6 \text{ m}$ .

**Question 7 :** Calculer la charge de l'accumulation de neige  $S_a$  dans le chéneau en  $\text{kN}\cdot\text{ml}^{-1}$  ( $\text{kN}$  par mètre linéaire), puis en  $\text{kN}$  appliquée sur le bogie.

La charge de neige ponctuelle  $S_p$  et la charge de l'accumulation de neige dans le chéneau  $S_a$  ne peuvent pas être concomitantes.

**Question 8 :** Conclure et justifier sur la valeur de la charge à retenir.

## 2.2 Descente de charge sur bogie

On souhaite déterminer, à présent, l'ensemble des actions mécaniques repris par le bogie au point D.

**Question 9 :** Calculer le moment engendré par la charge de neige ponctuelle  $S_p$  au point D.

On souhaite exprimer les charges du vent  $T_{vent \rightarrow 1/2 aile}$  du point C au point D.

Données :

$$\{T_{vent \rightarrow 1/2 aile}\} = \begin{pmatrix} F_x & 0 \\ 0 & M_y \\ F_z & 0 \end{pmatrix}_{(C, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} = \begin{pmatrix} -116,7 & 0 \\ 0 & -297,7 \\ -139,4 & 0 \end{pmatrix}_{(C, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

**Question 10 :** Déterminer l'expression littérale du torseur d'action mécanique du vent sur la demi-aile au point D. Réaliser l'application numérique.

**Question 11 :** Calculer, à l'aide du formulaire du document technique DT8, pour la combinaison de charges à l'ELU (STR) en Vent dominant-Pression les efforts  $F_x$ ,  $F_z$  et  $M_y$  appliqués au point D. Conclure sur les valeurs  $F_x$ ,  $F_z$  et  $M_y$  à retenir.

Pour la suite de l'étude nous prendrons les valeurs des efforts de la demi-aile sur le bogie :

$$\{T_{\frac{1}{2} aile \rightarrow bogie}\} = \begin{pmatrix} -193 & 0 \\ 0 & -3\,257 \\ -2\,693 & 0 \end{pmatrix}_{(D, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}$$

Ces charges et la masse des bogies vont permettre de réaliser le choix d'un moteur pour l'aile 1, c'est l'objet de la suite de cette étude.

Le système est utilisé comme support d'étude pour une séquence pédagogique en début de terminale STI2D (cf. document pédagogique DP1).

**Question 12 :** À partir de la description de la séquence pédagogique du document pédagogique DP1 et en complétant le document réponse DR2, proposer des indicateurs permettant l'évaluation du niveau d'acquisition des compétences ciblées, les modalités d'évaluation utilisées et les descripteurs pour identifier le niveau d'acquisition atteint. Justifier les réponses.

## Partie 3. Choix du motoréducteur et logique de commande

**Objectif :** *La partie précédente a permis de déterminer les charges appliquées sur le bogie de l'aile 1. Il s'agit ici de choisir un motoréducteur pour cette aile, et d'en définir la commande pour obtenir le mouvement de déploiement souhaité exigence 1.1.2.*

Id	Nom de l'exigence	Critère
1.1.2	Déployer/replier la couverture mobile	Déploiement coordonné et harmonieux des ailes - effet de dilatation
1.1.2.2	Gérer la commande d'ouverture et de fermeture	
1.1.2.2.1	S'adapter aux perturbations	La vitesse de déplacement d'une aile doit être insensible aux perturbations
8	Erreur en régime permanent	Erreur nulle en régime permanent pour une perturbation constante
1.1.2.2.2	Limiter la mise en crabe	Le déplacement des ailes doit limiter l'angle de mise en crabe
9	Angle de mise en crabe maximum	Angle de mise en crabe maximum 1° soit un écart maximum entre chaque côté de l'aile de 1,77 m
1.1.2.2.4	Surveiller le déplacement relatif des ailes	Surveiller l'écart entre la distance réelle de 2 ailes et la distance nominale
10	Écart maximum provoquant l'arrêt du déplacement	Écart maximum de 10 %
11	Écart maximum provoquant une alarme	Écart maximum de 5 %

Tableau 3 : Extrait 3 du diagramme des exigences

### 3.1 Vérification de la puissance motrice nécessaire

Chaque aile est entraînée indépendamment des autres par quatre moteurs, deux sur chaque bogie par l'intermédiaire d'un système pignon crémaillère. Sur chaque poutre de roulement, l'aile est guidée par trois galets principaux de roulement et quatre galets de guidage latéral (voir document technique DT11).

À la vue des profils de vitesse des différentes ailes, cette sous partie se focalise sur l'étude de l'aile 1 dont les moteurs nécessitent le plus de puissance. Des précisions sur la structure d'un bogie sont fournies dans les documents techniques DT5 et DT9.

On note  $E$  l'ensemble en mouvement dans le repère  $R_0$  fixe par rapport au sol :

$E = \{aile\ 1 + 2\ bogies + 6\ galets\ principaux\ de\ roulement + 8\ galets\ de\ guidage\ latéral + 4\ moteurs + 4\ réducteurs + 4\ pignons\}$

Le système de transmission est décrit dans le document technique DT10. Il comporte un réducteur et un système d'entraînement pignon crémaillère.

Notations et données :

- vitesses :
  - vitesse de translation de l'ensemble  $E$  dans  $R_0$  :  $v_E$  en  $m \cdot s^{-1}$
  - vitesse angulaire en sortie du moteur :  $\omega_m$  en  $rad \cdot s^{-1}$
  - vitesse angulaire en sortie du réducteur :  $\omega_r$  en  $rad \cdot s^{-1}$
  - vitesse angulaire du galet principal :  $\omega_{gp} = \frac{v_E}{d_{gp}/2}$  en  $rad \cdot s^{-1}$

- rapport de réduction du réducteur :  $k = \frac{\omega_r}{\omega_m} = \frac{1}{283}$
- accélération angulaire :  $\dot{\omega}_m = 12,46 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$
- couple délivré par le moteur :  $C_m$  en  $N \cdot m$
- diamètres :
  - diamètre du pignon du système pignon crémaillère :  $D_{pc} = 318 \text{ mm}$
  - diamètre du galet principal  $d_{gp} = 500 \text{ mm}$
- masses :
  - masse ensemble {aile+2bogies} :  $m_e = 355 \text{ tonnes}$
  - masse pour un moteur :  $m_m = 80 \text{ kg}$  (pour une première approximation, l'étude consistant à choisir les moteurs)
  - masse d'un galet principal  $m_{gp} = 210 \text{ kg}$
  - les masses des autres éléments de l'ensemble  $E$  sont négligées
- inerties :
  - inertie d'un moteur par rapport à son axe de rotation :  $j_m = 0,03 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  (pour une première approximation, l'étude consistant à choisir les moteurs)
  - inertie d'un galet principal par rapport à son axe de rotation :  $j_{gp} = 27 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
  - les inerties des autres éléments de l'ensemble  $E$  sont négligées

Hypothèses de l'étude :

- le rendement de l'ensemble du système est considéré égal à 1
  - réducteur :  $\eta_r = 1$
  - système pignon-crémaillère :  $\eta_{pc} = 1$
- les différents solides sont considérés indéformables
- les liaisons sont considérées parfaites sans jeu ni frottement
- on considère une force agissant dans la direction  $-\vec{x}$  (correspondant à la composante longitudinale des efforts extérieurs sur l'ensemble  $E$ ), modélisée par un glisseur  $\vec{F}_v$  appliqué au centre de gravité  $G_E$  de l'ensemble  $E$  tel que  $\vec{F}_v = -F_v \vec{x} = -386 \text{ kN } \vec{x}$  (figure 5).

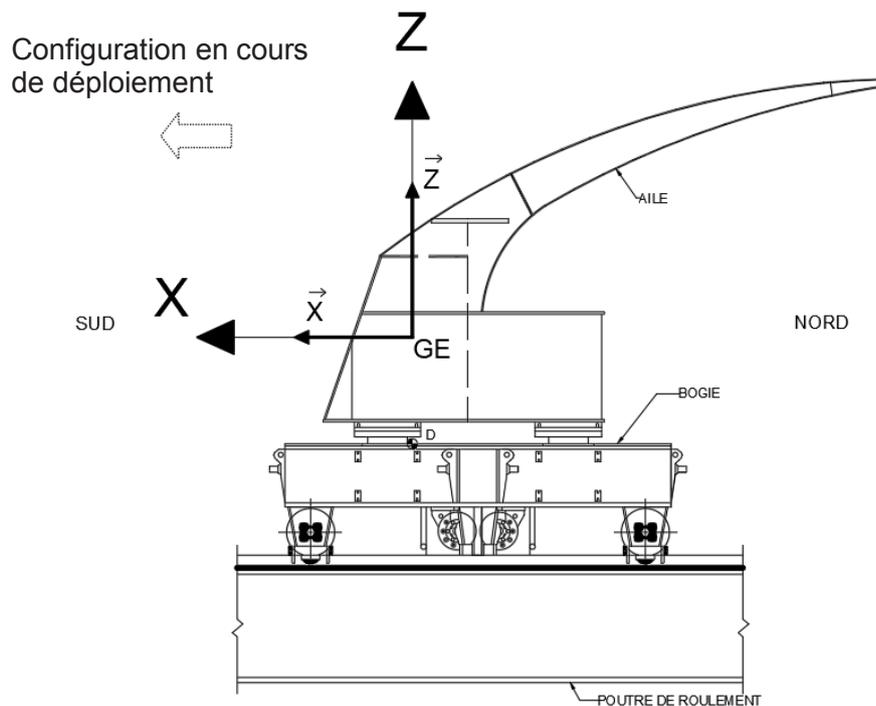


Figure 5 : ensemble E en translation avec son centre de gravité

- les frottements de l'air sur les ailes sont négligés vis-à-vis de l'effort dû au vent
- on considère qu'il y a roulement sans glissement (RSG) aux points de contact ( $I_i$  et  $J_j$ ) entre les galets (principaux et latéraux) et le rail, l'action mécanique de contact est modélisée par les torseurs suivants dans les bases locales des galets principaux (respectivement latéraux) (voir document technique DT11) :

$$\{T_{rail \rightarrow gp_i}\} = \begin{Bmatrix} T_i & 0 \\ N_i & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(I_i, \vec{x}_p, \vec{y}_p, \vec{z}_p)} \quad \{T_{rail \rightarrow gl_j}\} = \begin{Bmatrix} T_j & 0 \\ N_j & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{(J_j, \vec{x}_l, \vec{y}_l, \vec{z}_l)}$$

i allant de 1 à 6 et j allant de 1 à 8.

- on considère qu'il y a roulement sans glissement au point de contact entre la crémaillère et le pignon.

Le graphe de structure du système en mouvement est donné figure 6.

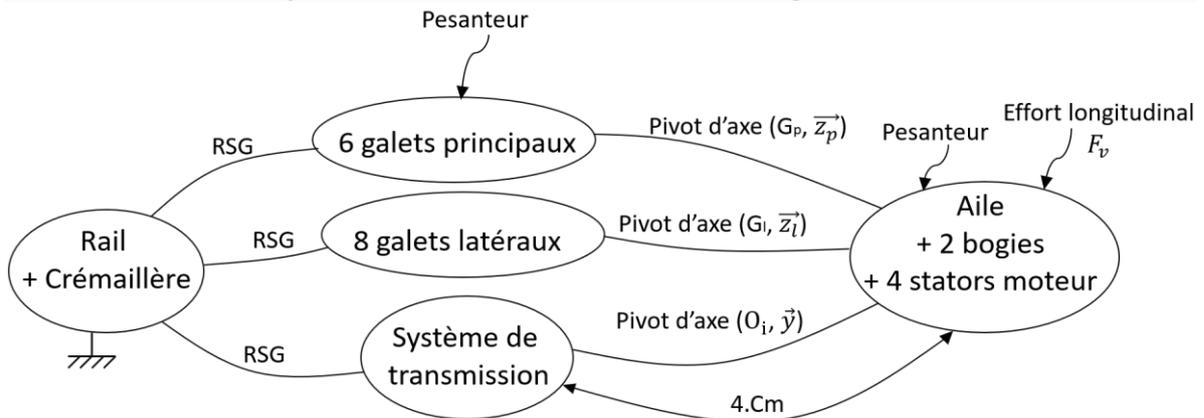


Figure 6 : graphe de structure de l'aile 1 et du système de mise en mouvement

La figure 7 illustre un extrait de la chaîne de puissance du système de transmission.

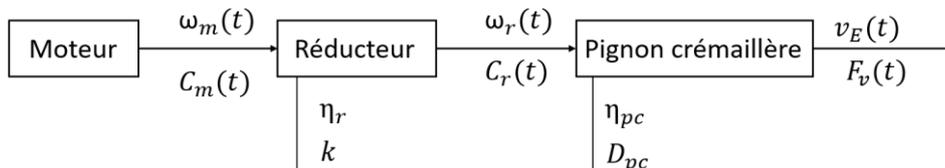


Figure 7 : extrait de la chaîne de puissance

**Question 13 :** Déterminer le lien entre la vitesse de translation de l'ensemble  $E$  notée  $v_E$  et la vitesse de rotation des moteurs notée  $\omega_m$  en fonction de  $D_{pc}$  et  $k$ .

L'énergie cinétique de l'ensemble en mouvement  $E$  est déterminée par la relation :

$$E_{cE/0} = E_{c \text{ aile} + 2 \text{ bogies}/0} + 6 E_{c \text{ galet principal}/0} + 4 E_{c \text{ moteur}/0} = \frac{1}{2} m_{eq} v_E^2$$

avec  $m_{eq}$  la masse équivalente de l'ensemble en mouvement  $E$ .

**Question 14 :** Déterminer la masse équivalente notée  $m_{eq}$  de l'ensemble  $E$  dans son mouvement de translation en fonction de  $m_e, m_m, m_{gp}, j_m, j_{gp}, k, d_{gp}$  et  $D_{pc}$ . Effectuer l'application numérique.

**Question 15 :** Exprimer, en justifiant, la puissance des actions mécaniques extérieures sur l'ensemble  $E$  dans son mouvement par rapport à  $R_0$ . Exprimer ensuite, en justifiant, la puissance des actions mécaniques intérieures.

On rappelle que le théorème de l'énergie cinétique appliqué à un solide  $S$  dans son mouvement par rapport à  $R_0$  s'écrit :

$$\frac{dE_{cS/0}}{dt} = P_{int(S)} + P_{ext \rightarrow S/0} + P_{dissipée} \text{ avec } P_{dissipée} < 0 .$$

**Question 16 :** Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble  $E$  dans son mouvement par rapport à  $R_0$  afin de déterminer le couple moteur nécessaire.

Pour la suite du sujet, on admet que le couple moteur vérifie la relation :

$$C_m = \frac{m_{eq} \frac{D_{pc}}{2} k \dot{\omega}_m + F_v}{\frac{8 \times \eta_r \times \eta_{pc}}{D_{pc} \times k}} \text{ avec } m_{eq} = 740 \text{ t} .$$

**Question 17 :** Tracer le profil du couple moteur délivré par un moteur à partir du profil de vitesse angulaire ( $\omega_m(t)$ ) fourni sur le document réponse DR3. Calculer la valeur du couple moteur maximal et nominal nécessaire pour un moteur de l'aile 1. Conclure sur le choix du moteur retenu (alimenté en 400 V) pour cette aile (voir document technique DT12).

### 3.2 Asservissement des moteurs

Étant donné que la sûreté de fonctionnement de la toiture passe par une bonne connaissance de la position des ailes, les codeurs de position représentent une fonction essentielle au bon fonctionnement de l'ouvrage. Deux codeurs sont donc prévus dans l'extrémité de chaque aile, soit quatre codeurs par aile.

Les codeurs sont du type absolu, 24 bits. Le stockage de la position est effectué par le codeur lui-même.

La gestion en position de l'aile est réalisée par un coordonnateur (ou PLC : contrôle logique programmable) de position assurant les fonctions suivantes :

- prise en compte des ordres de déplacement et position ;
- gestion en coordination des deux boucles ;
- gestion du bon positionnement perpendiculaire des ailes en dynamique (fonction anti-crabe) ;
- renvoi au système du bon fonctionnement de l'aile, de sa position et de sa vitesse.

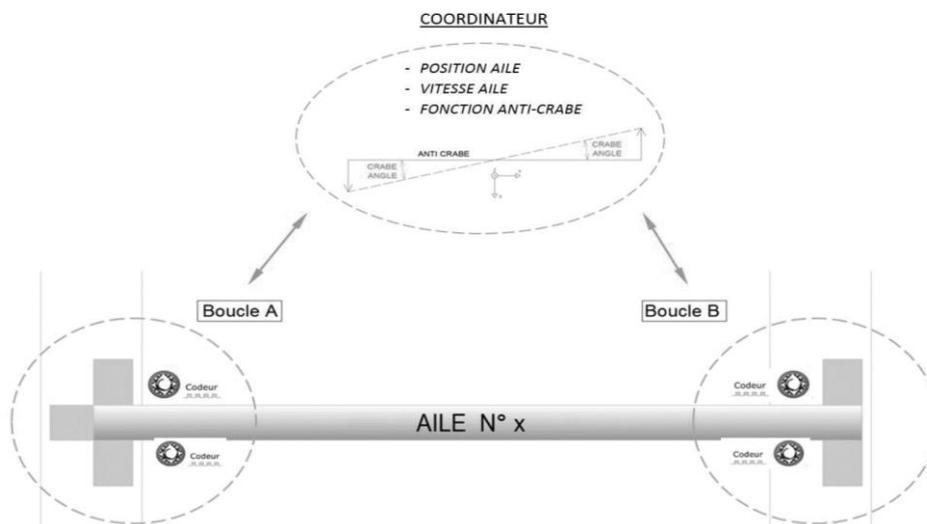


Figure 8 : position de l'aile N° x

La coordination des ailes est assurée par une logique prenant en compte la gestion de tous les coordinateurs de chaque aile. Cette logique assure notamment le déploiement et le repli de la toiture en assurant la gestion des vitesses et déplacements de chaque aile dans un déplacement global de la toiture.

La logique de l'automatisme prévoit l'identification d'une aile virtuelle qui se déplace idéalement (sans aucun défaut de positionnement). Donc chaque aile de la toiture est réglée en fonction de cette aile virtuelle (la vitesse et la position de chaque aile sont mises à l'échelle en proportion de l'aile virtuelle, de manière à obtenir le même pourcentage d'achèvement de manœuvre pour chaque aile).

L'automatisme de l'ouvrage doit prendre en compte deux cas redoutés :

- un écartement excessif entre deux ailes (Id10)
- un angle de mise en crabe excessif (Id9).

Ces deux cas sont présentés dans la figure 9.

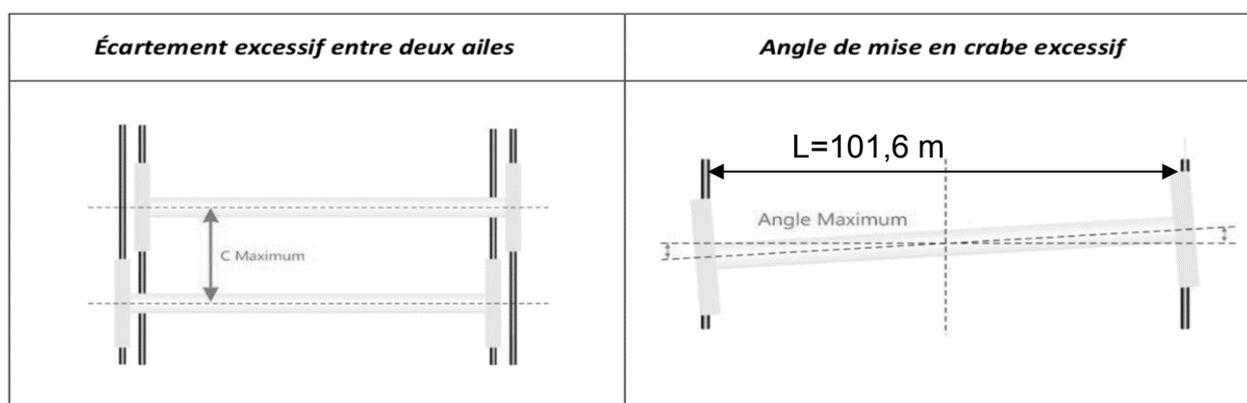


Figure 9 : à gauche : écart maximum entre deux ailes (Id10) – à droite : angle de mise en crabe maximum (Id9)

### 3.2.1 Gestion du problème d'angle de crabe maximum (Id9)

La gestion du désalignement en crabe des deux bogies est fournie sur le document technique DT13.

**Question 18 :** Déterminer l'équation logique de la variable Alarm définie au document technique DT13. Justifier la valeur de 57,2958 de la constante utilisée dans ce modèle.

L'angle de crabe maximum est  $\text{Max\_Crab\_Angle} = 1^\circ$ .  
La distance entre rails est 101,6 m.

La trame des données fournie par un codeur et traitée par le PLC est représentée figure 10.

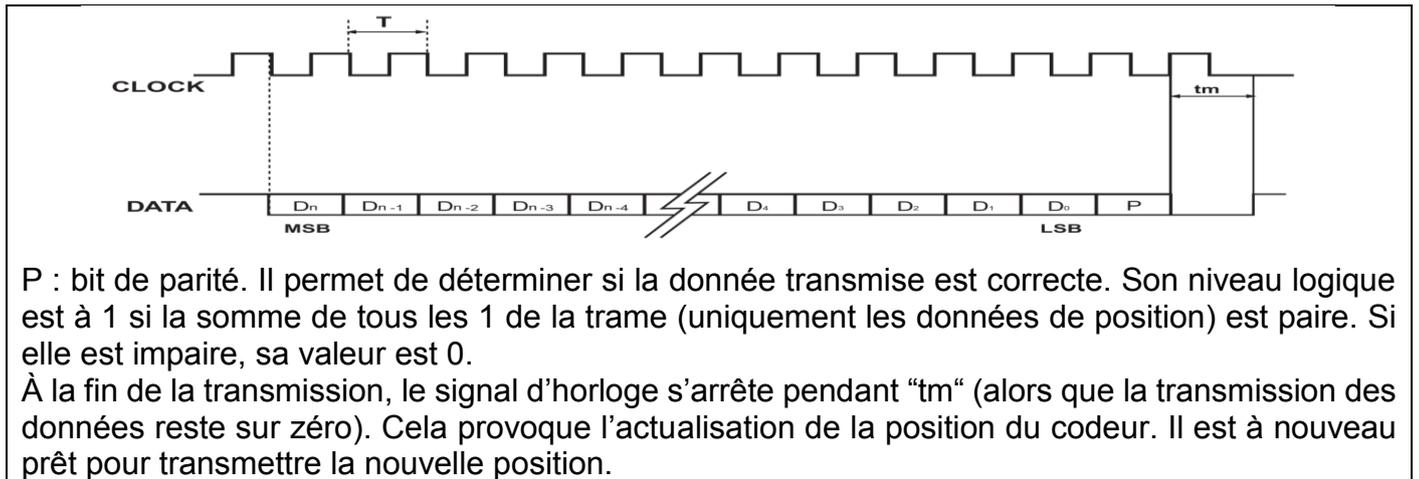


Figure 10 : trame de donnée issue du codeur

Les informations générées par les codeurs sont les suivantes :

- codeur EST : 011301<sub>(16)</sub>
- codeur OUEST : 0125C4<sub>(16)</sub>

**Question 19 :** Déterminer les valeurs en millimètre des positions données par les deux codeurs.

Par défaut sur le document technique DT13, la valeur de Stop\_Max\_Angle\_Crab = False.

**Question 20 :** À l'aide du document technique DT13, déterminer la valeur de Angle\_Crab. En déduire la valeur de Alarm et indiquer si le défaut « mise en crabe » est présent.

La suite de cette étude s'intéresse à la mise en place d'un asservissement de vitesse sur un moteur de l'aile 1. On rappelle que chaque aile est pilotée par quatre moteurs : deux sur chaque bogie. L'objectif est de valider l'asservissement en vitesse d'un moteur pour l'aile 1 vis-à-vis des exigences du cahier des charges.

La structure de la commande d'un moteur est représentée figure 11. Les grandeurs définies sont les suivantes :

- $v_c(t)$ , consigne en vitesse de l'aile ;
- $v_E(t)$ , vitesse réelle de translation de l'ensemble  $E$  ;
- $u_c(t)$ , signal de commande du variateur ;
- $\omega_m(t)$ , vitesse de rotation du moteur ;
- $u_{mes}(t)$ , signal image de la vitesse de rotation du moteur.

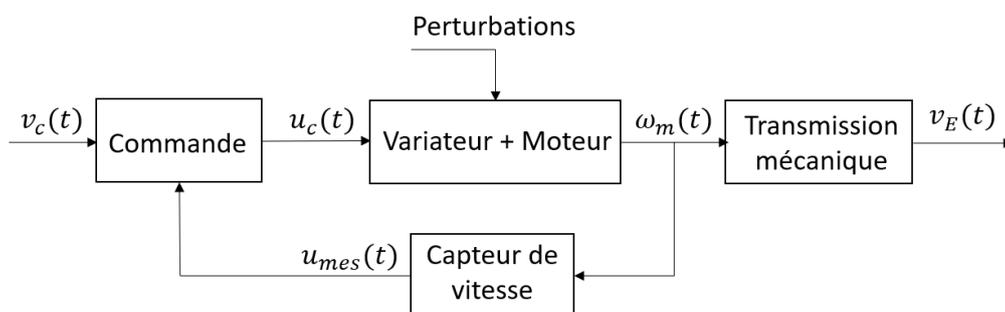


Figure 11 : schéma fonctionnel de la commande

Dans la suite de l'étude, la transformée de Laplace d'une fonction temporelle  $f(t)$  est notée  $F(p)$ .

### 3.2.1.1 Mise en place du modèle d'asservissement

Soit le schéma bloc partiel de l'asservissement d'un moteur fourni sur le document réponse DR4.

La consigne de vitesse  $V_c(p)$  est convertie en tension de consigne par un adaptateur de gain  $K_a$ . Cette tension de consigne  $U_{cons}(p)$  est ensuite comparée à la tension  $U_{mes}(p)$  fournie par une génératrice tachymétrique de gain  $K_c$ . La tension  $U_{mes}(p)$  est donc l'image de la vitesse de rotation  $\Omega_m(p)$  de l'arbre moteur. Un correcteur de fonction de transfert  $C(p)$  fournit alors une tension de consigne  $U_c(p)$  au variateur de vitesse. L'ensemble {Variateur + Moteur} est modélisé par un gain  $K_{mv}$ . On retrouve alors le couple  $C_m(p)$  en sortie du moteur. On modélise l'effort résistant dû au vent sur l'ensemble en mouvement par un effort  $F_v(p)$ . L'objectif de cette partie est de vérifier le comportement de cet asservissement vis-à-vis de cette perturbation.

Données et hypothèses :

- la masse équivalente de l'ensemble est, indépendamment des résultats précédents,  $m_{eq} = 740$  tonnes;
- afin de simplifier l'étude, on modélise la fonction de transfert de l'ensemble {Variateur + moteur} par un gain pur  $K_{mv}$  exprimé en  $N \cdot m \cdot V^{-1}$ ;
- indépendamment du résultat trouvé précédemment, on prendra  $v_E(t) = \frac{D_{pc}k}{2} \omega_m(t)$ ,  $\frac{D_{pc}k}{2}$  étant une constante ;
- le gain de la génératrice tachymétrique est  $K_c$  exprimé en  $V \cdot s \cdot rad^{-1}$  ;
- on se place dans les conditions de Heaviside ;
- la perturbation du vent est modélisée par une entrée en échelon dans un premier temps.

On rappelle que le théorème de l'énergie cinétique appliqué à l'ensemble E a permis d'établir l'expression du couple moteur :

$$C_m = \frac{m_{eq} \frac{D_{pc}}{2} k \dot{\omega}_m + F_v}{\frac{8 \times \eta_r \times \eta_{pc}}{D_{pc} \times k}} \quad \text{avec } m_{eq} = 740 \text{ t .}$$

**Question 21 :** Compléter le schéma bloc fourni sur le document réponse DR4 à partir des données et de l'équation obtenue par le théorème de l'énergie cinétique.

### 3.2.1.2 Étude des performances de la boucle de vitesse non corrigée

Afin d'étudier les performances de la boucle fermée non corrigée, le modèle est sollicité par une consigne de vitesse en échelon de valeur  $v_{c0} = 0,07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Dans un premier temps,  $C(p) = 1$ . Les résultats de simulation du modèle (vitesse de translation de l'ensemble  $v_E(t)$ ), en boucle fermée, pour une entrée en échelon, avec et en l'absence de perturbation, sont données figure 12.

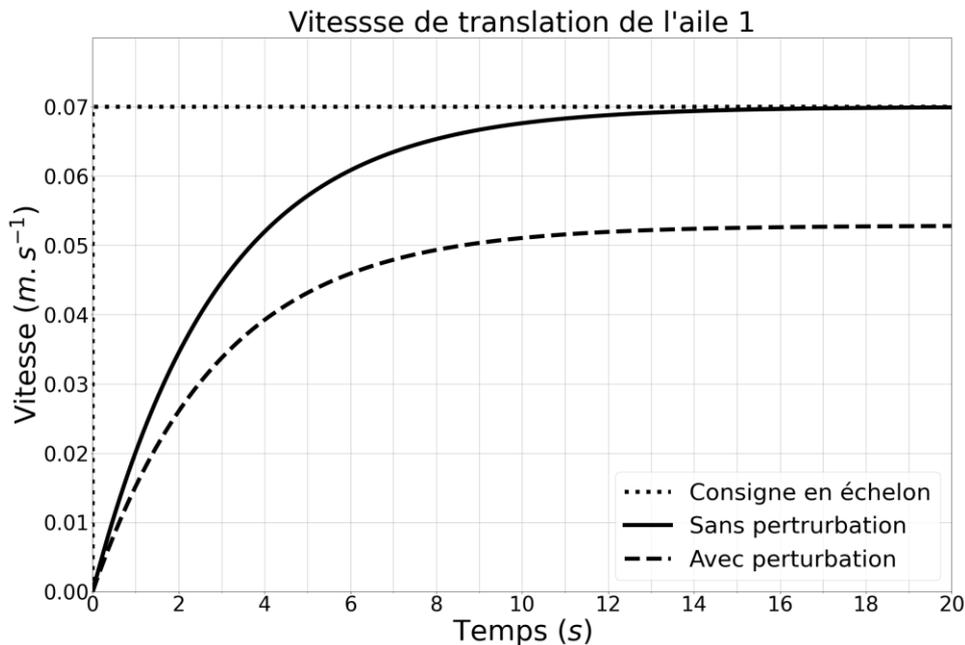


Figure 12 : résultats de simulation sur le modèle non corrigé - Vitesse de déplacement de l'aile avec et sans perturbation pour une consigne en échelon et une perturbation du vent modélisée par un échelon

**Question 22 :** **Déduire** l'erreur statique relative de vitesse dans les cas avec et sans perturbation. **Conclure** quant au respect de l'exigence Id8 « erreur en régime permanent » (voir document technique DT2).

On suppose que les moteurs de chaque côté de l'aile sont pilotés avec la même loi de commande et que le vent ne s'applique pas forcément de manière uniforme sur l'ensemble de l'aile. On pourrait alors imaginer, en se plaçant dans le cas le plus défavorable, que le moteur côté EST n'est soumis à aucune perturbation (comme sur la courbe en trait plein) et que le moteur OUEST, est soumis à une perturbation (comme sur la courbe en tirets).

**Question 23 :** **Démontrer** que dans ces conditions, l'exigence Id9 « angle de mise en crabe maximum » (voir document technique DT2) n'est pas respectée.

### 3.2.1.3 Étude des performances de la boucle de vitesse corrigée

L'ajout d'un correcteur proportionnel intégral de fonction de transfert  $C(p) = K_p \frac{1+T_i p}{T_i p}$  est envisagé. Les résultats de simulation du modèle avec perturbation (vitesse de translation de l'ensemble  $v_E(t)$ ), en boucle fermée, pour une entrée en échelon, sont données figure 13.

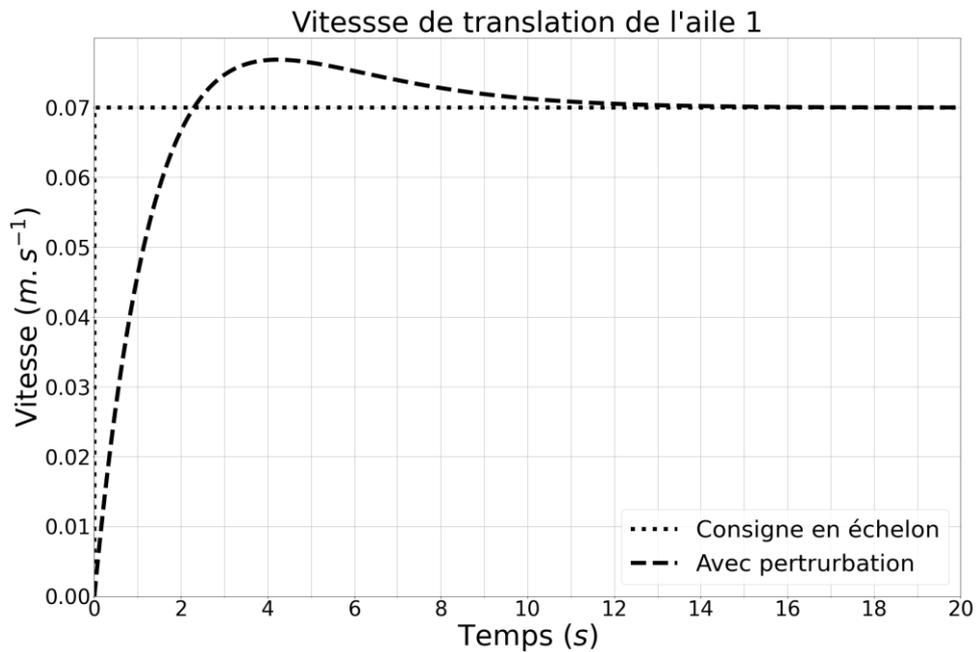


Figure 13 : résultats de simulation sur le modèle corrigé - Vitesse de déplacement de l'aile avec perturbation pour une entrée en échelon

**Question 24 :** Justifier le choix de ce correcteur au regard des résultats de simulation sur le modèle corrigé.

Une fois le correcteur réglé, on commande les quatre moteurs de l'aile avec la même consigne de vitesse en trapèze présentée figure 14. Le modèle de simulation a été enrichi afin de prendre en compte certains phénomènes : liaisons non parfaites, perturbation du vent non constante et non uniforme sur l'ensemble de l'aile, etc. La figure 15 présente le déplacement des deux bogies de chaque côté de l'aile en réponse à la commande du modèle de simulation enrichi pour un cas défavorable.

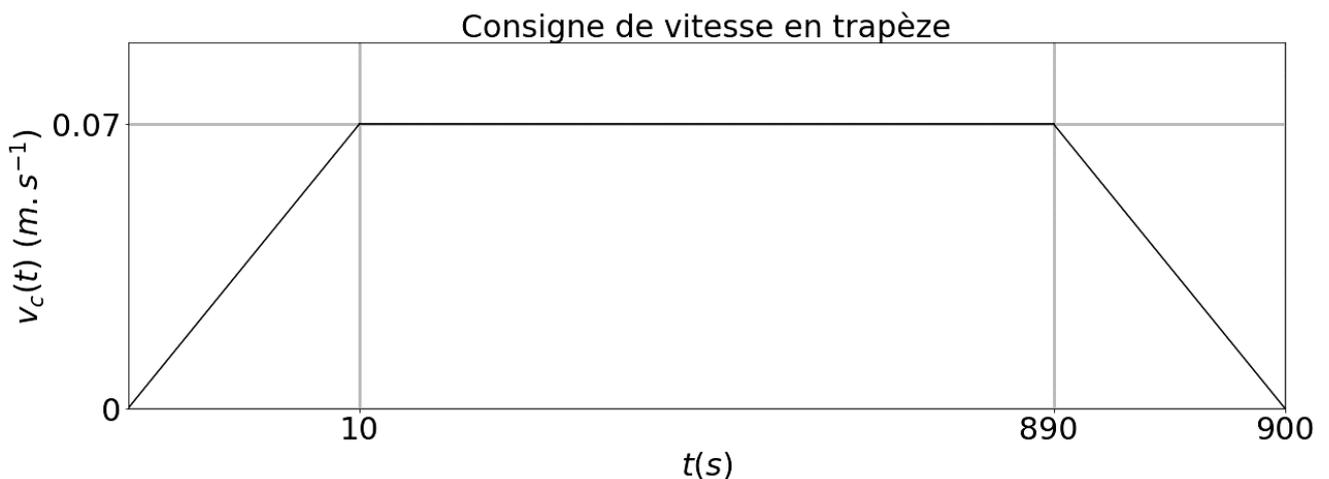


Figure 14 : consigne de vitesse en trapèze

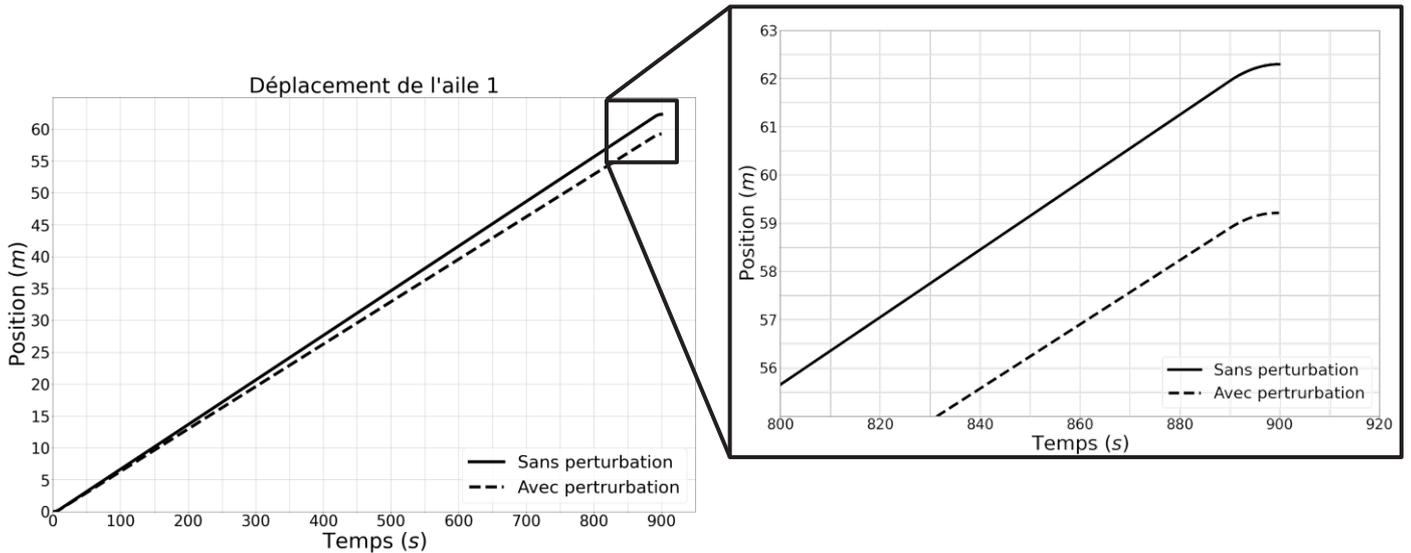


Figure 15 : résultat de simulation sur le modèle enrichi, tracé du déplacement de l'aile avec et sans perturbation

**Question 25 :** Justifier dans le cas de ce modèle complet, que la correction proposée précédemment ne suffit pas et qu'il est nécessaire de mettre en place une solution de synchronisation pour le déplacement des deux côtés d'une aile entre les positions repliée et dépliée et ainsi valider Id9.

### 3.2.1.4 Étude de la boucle de vitesse optimisée

Afin de valider l'exigence Id9, une synchronisation est mise en place. Représentée par le schéma figure 16, elle consiste à piloter un côté de l'aile en fonction de l'écart entre la consigne et la vitesse réelle de l'autre côté de l'aile.

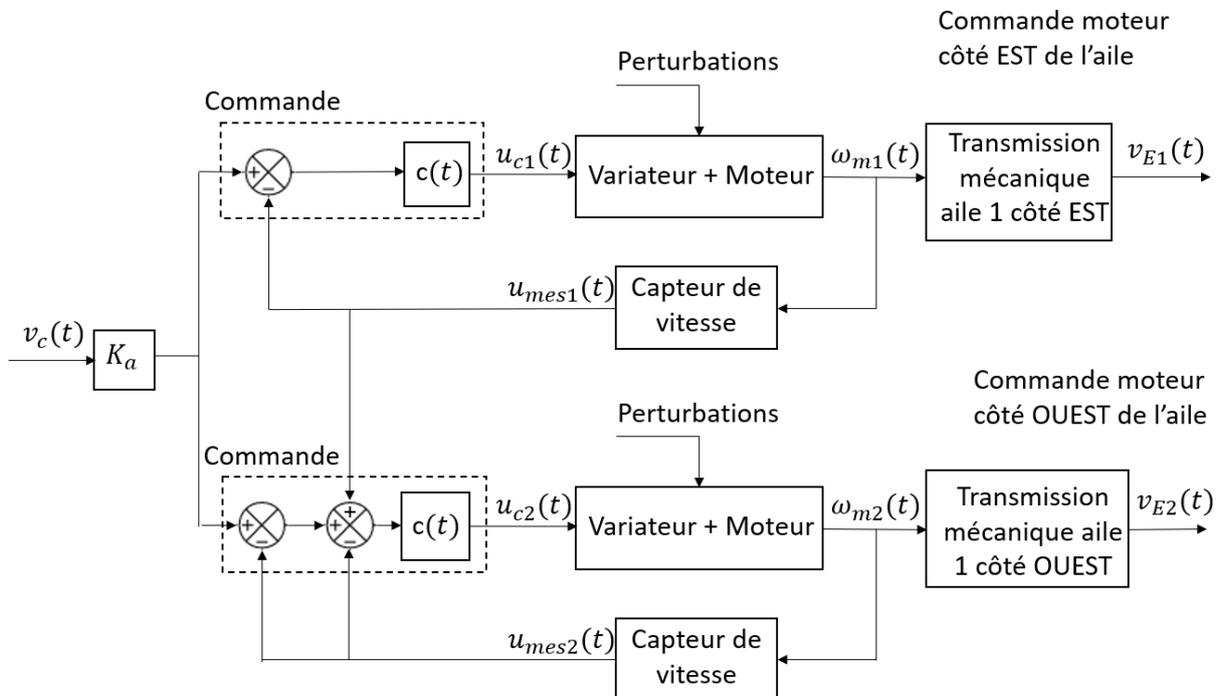


Figure 16 : synchronisation de la vitesse des deux bogies de chaque côté de l'aile

**Question 26 :** Justifier que le schéma de synchronisation proposé permet de corriger correctement le système en cas d'écart entre la vitesse de consigne et les vitesses réelles côté EST et côté OUEST d'une aile.

### 3.2.2 Gestion et contrôle de la distance entre les ailes (Id10)

La logique de l'automatisme se base sur l'évolution nominale de la distance entre deux ailes au cours du déplacement de celles-ci (document réponse DR5).

La gestion et le contrôle de la distance entre l'aile n et l'aile (n+1) se fait par comparaison avec la distance nominale et permet de mettre le système en alarme ou de l'arrêter. Les valeurs sont définies dans le diagramme d'exigences (voir document technique DT2).

**Question 27 :** Tracer les cônes délimitant les zones d'alarme et d'arrêt sur le document réponse DR5.

**Question 28 :** Sur le modèle multiphysique du document réponse DR6 permettant de simuler les positions des ailes 1 et 2 en fonction du temps, identifier les domaines physiques mécanique et électrique et compléter la nature des variables de flux et d'efforts.

Le relevé fourni en figure 17 représente l'évolution des positions relatives simulées des deux ailes après avoir rajouté une perturbation à l'aide des blocs « STEP » et « Idéal Force Source ».

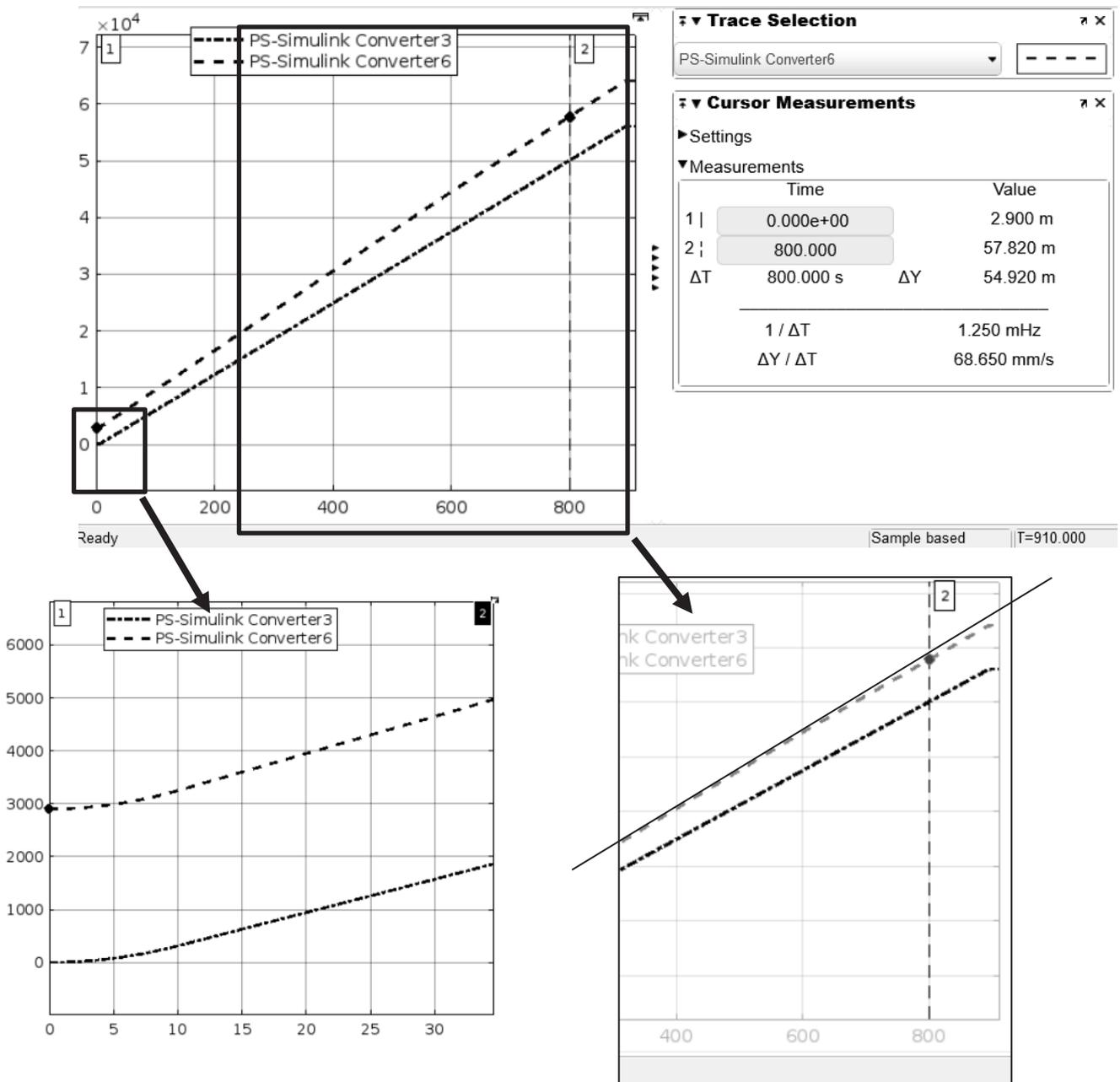


Figure 17 : résultats de simulation pour les positions relatives des ailes 1 et 2

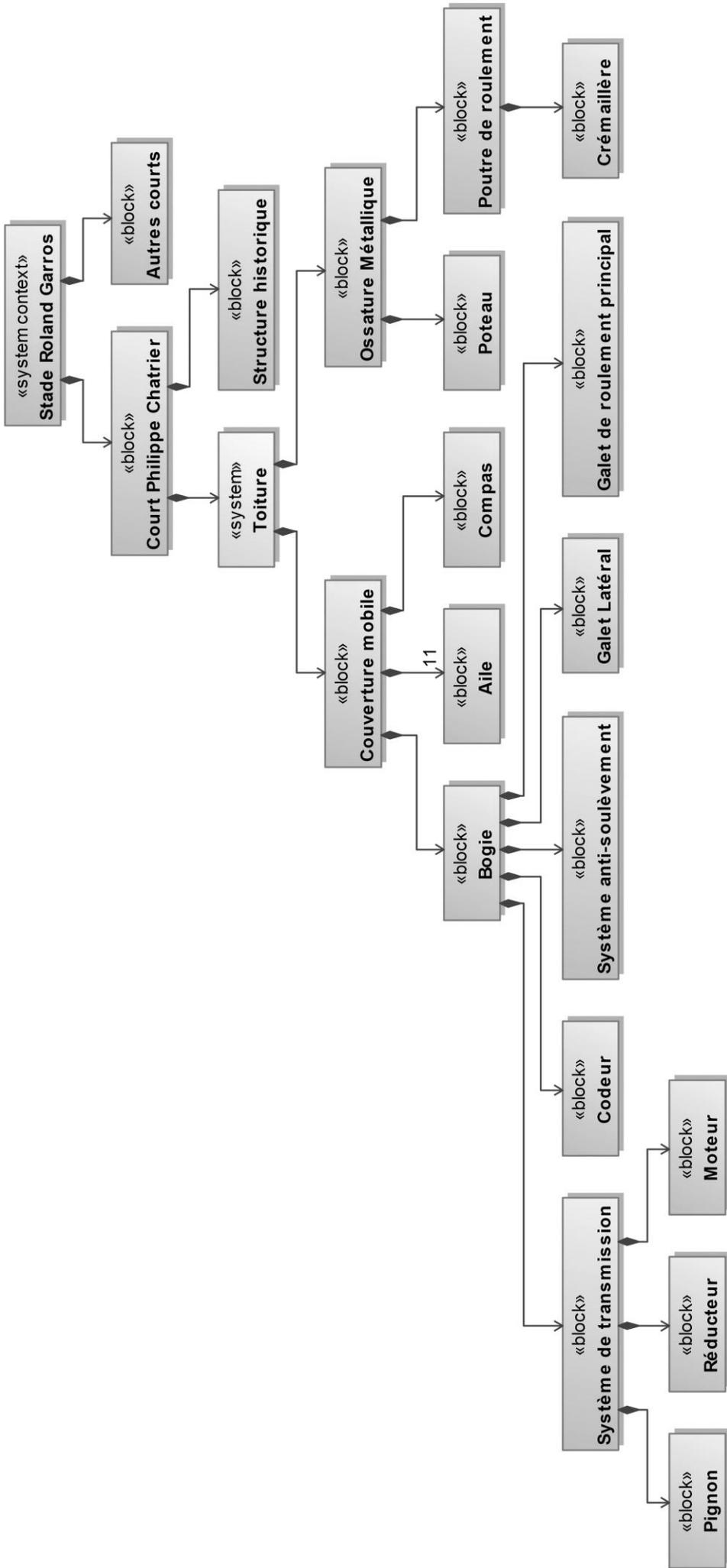
**Question 29 :** **Interpréter** l'allure de la courbe de position de l'aile 1. **Relever** graphiquement la distance entre les deux ailes à l'instant  $t = 800$  s, **en déduire** graphiquement sur le document réponse DR5 dans quelle configuration se trouve le système à cet instant  $t$ .

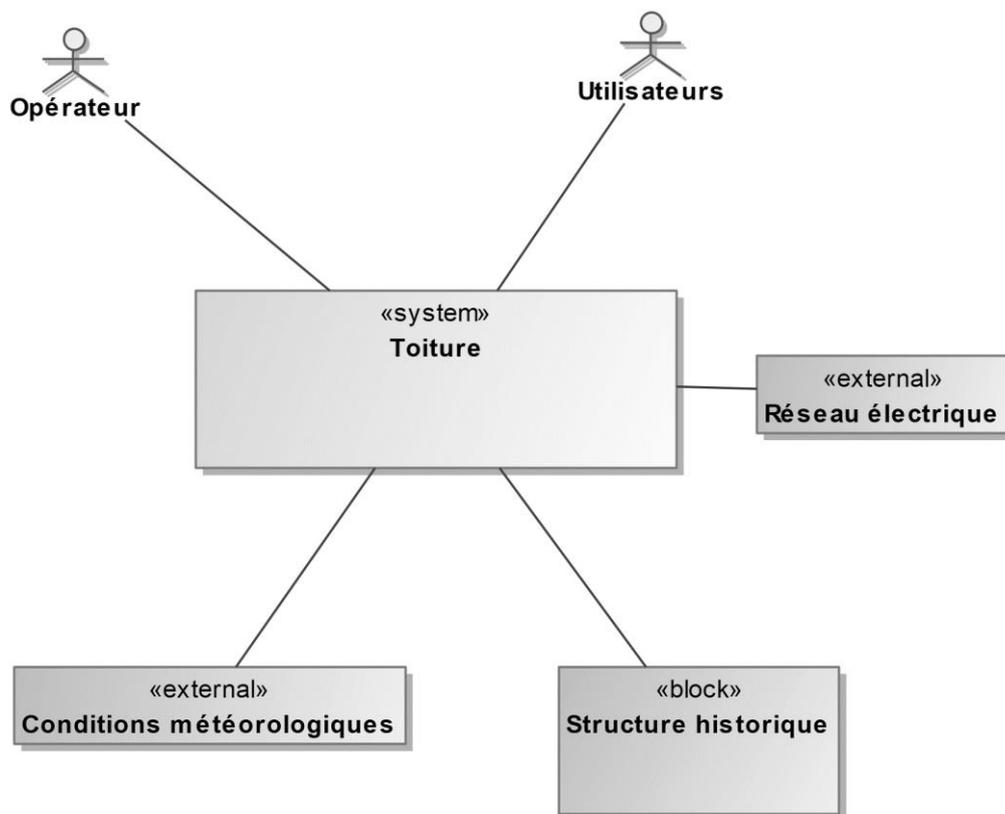
**Question 30 :** **Compléter** sur le document réponse DR6 le modèle pour permettre l'activation d'une alerte lorsque l'écart entre la distance nominale et la distance simulée entre les deux ailes dépasse les valeurs limites (blocs « Alarm » et Arret » à l'état 1).

Le modèle multiphysique fourni sur le document réponse DR6 est utilisé dans une séquence pédagogique.

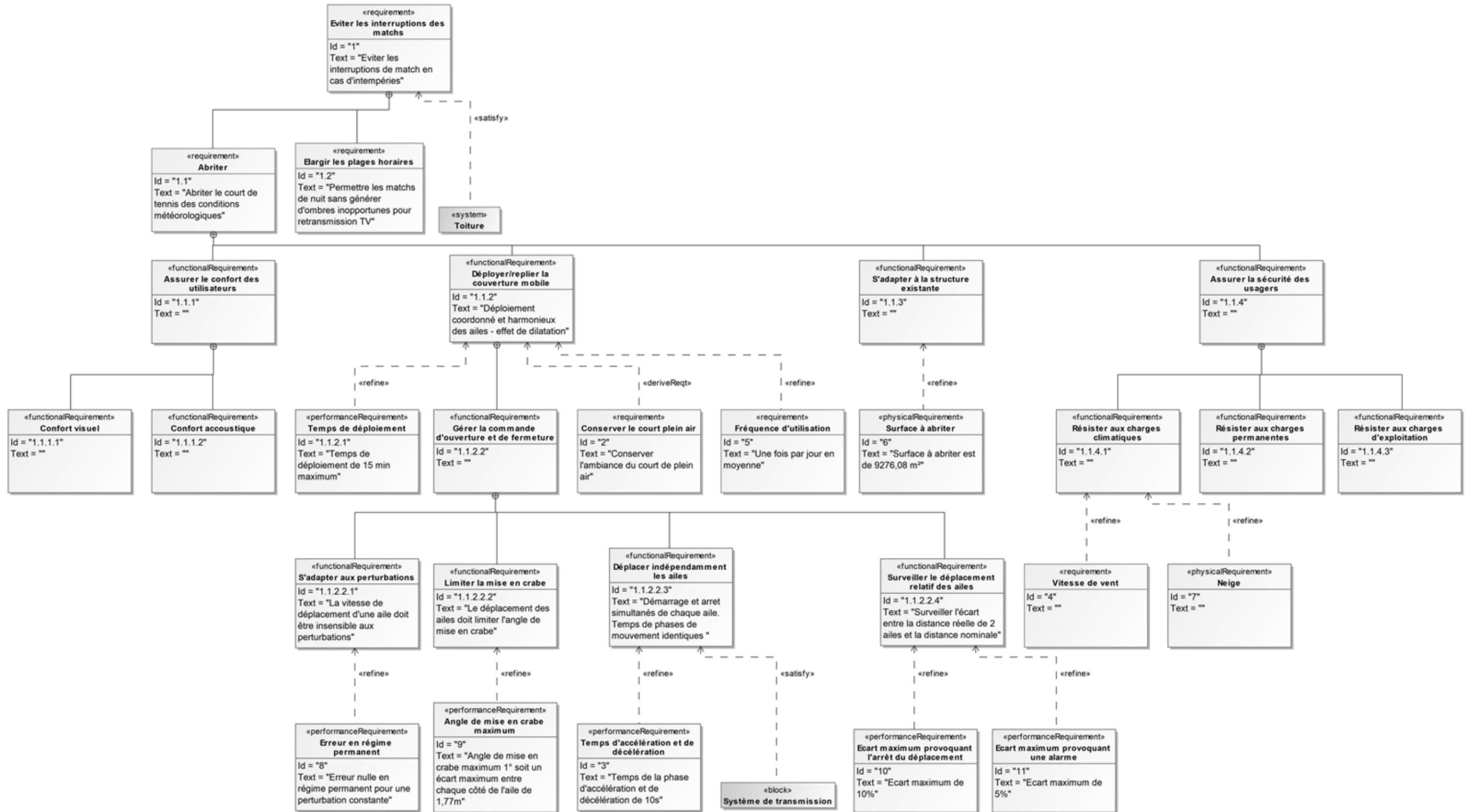
**Question 31 :** **Compléter** le document réponse DR7 en proposant une expérimentation permettant de valider le modèle.

Document technique DT1 – 1/2 : diagramme de définition des blocs de la toiture



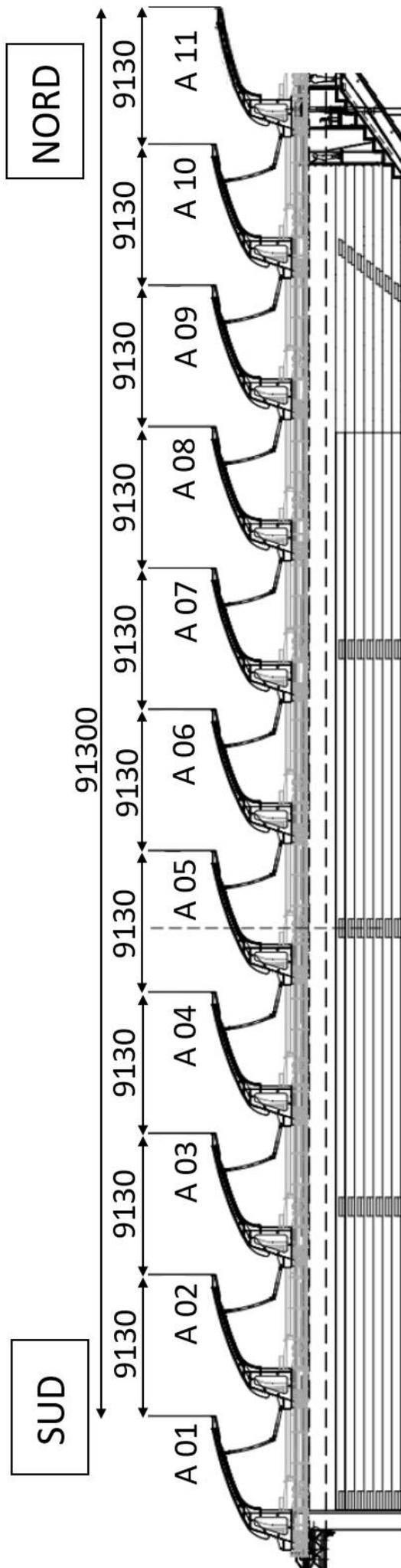


Document technique DT2 : diagramme des exigences de la couverture

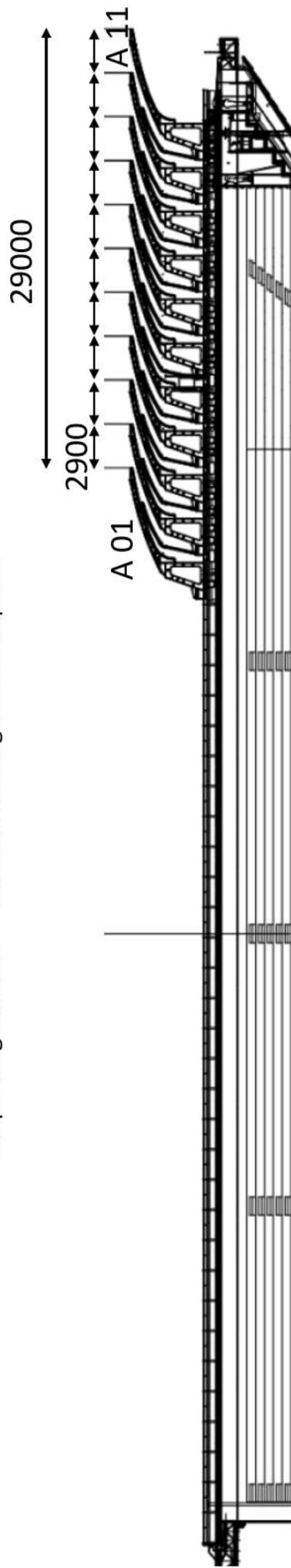


**Document technique DT3 : position des ailes en fonction des configurations**

Les distances indiquées sont en mm.



Coupe longitudinale – Toiture en configuration dépliée



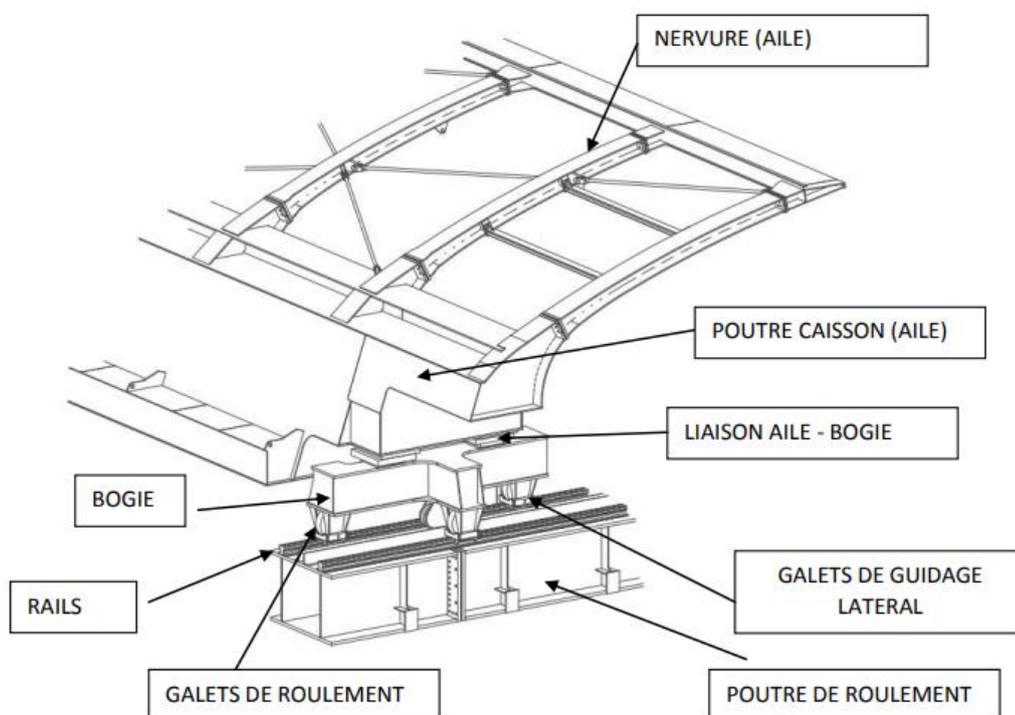
Coupe longitudinale – Toiture en configuration repliée

Tournez la page S.V.P.

## Document technique DT4 : familles des moteurs adoptés pour la translation

Famille de moteurs	Aile	Puissance installée [kW]	n° pôles	Rapport de réduction
1	1	11	4	283,0
	2	11	4	283,0
	3	11	4	283,0
	4	11	4	283,0
	5	11	4	283,0
2	6	5,5	6	334,0
	7	5,5	6	334,0
	8	5,5	6	334,0
3	9	2,2	6	898,0
	10	2,2	6	898,0

## Document technique DT5 : nomenclature du système de mise en translation des ailes



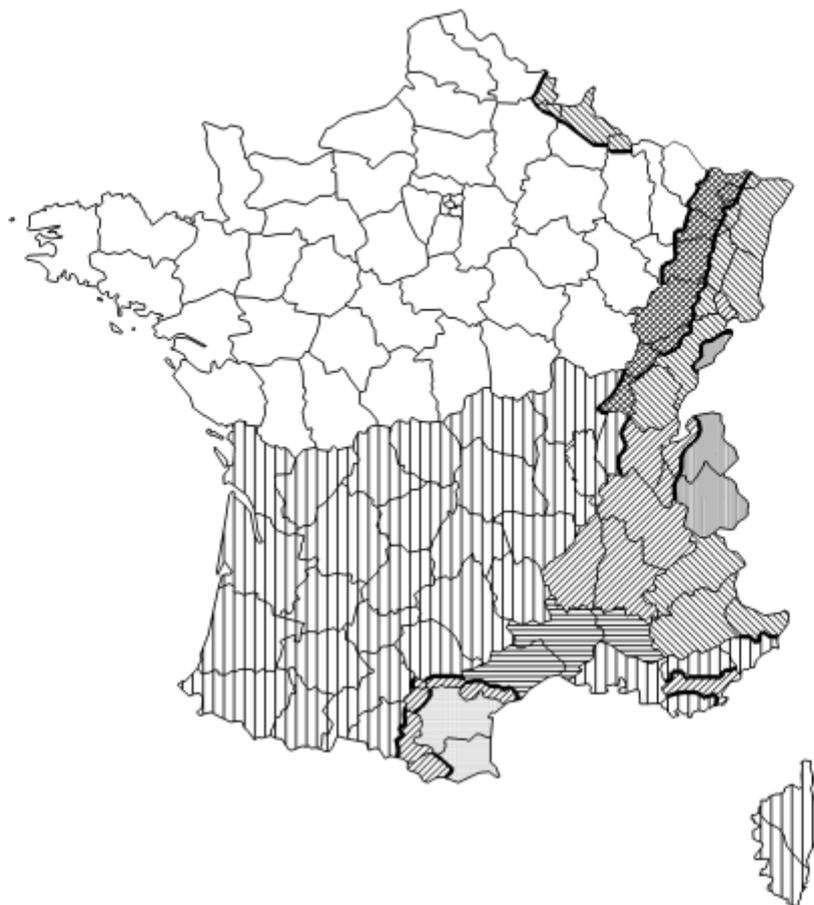
## Document technique DT6 : charges appliquées à l'ensemble d'une demi aile

Charges sur une demi-aile		Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	My (kNm)	Point d'application
<b>Poids propre demi-aile (caissons + nervures)</b>		0	0	- 1 439,0	- 1 439,0	Point B
<b>Poids propre compas (ailes A01 – A10)</b>	Dépliée	0	0	-178,0	-209,0	Point B
	Intermédiaire	0	0	-60,0	-191,0	Point B
	Repliée	0	0	-60,0	-81,0	Point B
<b>Poids permanent (toiles, etc.)</b>		0	0	-43,0	72,0	Point B
<b>Exploitation*</b>		0	0	-7,0	12,0	Point B
<b>Vent</b>	Pression	-116,7	0	-139,4	-297,7	Point C
	Soulèvement	79,2	0	165,4	458,2	Point C
<b>Neige</b>		<b>À déterminer</b>				Point A
<b>Tassement**</b>		0	0	0	-200,0	Point B
<b>Arrêt d'urgence</b>		205	0	0	349	Point B
<b>Thermique</b>		La dilatation thermique des ailes étant permise par les rotules sphériques, les actions thermiques ne sont pas présentes.				

\* Les charges d'exploitation sont utilisées uniquement pour la vérification locale de la couverture et sont présentées dans ce document comme information complémentaire.

La réaction maximale liée aux charges d'exploitation et qui est transmise par les ailes aux bogies est négligeable par rapport aux autres charges (poids propre, permanentes et charges de vent sur la couverture), et n'est donc pas prise en compte dans l'étude.

\*\* L'effet d'un tassement différentiel vertical d'un point d'appui est pris en compte dans le sens de la sécurité. On a considéré un tassement de 10 mm (dû aux tolérances de construction, assemblage, désalignement) sur la distance maximale des galets égale à 3 700 mm. Ce tassement correspond à un moment My supplémentaire égal à  $\pm 200$  kNm dans le sens le plus défavorable pour l'évaluation des efforts sur les organes mécaniques.



Régions :	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique ( $S_k$ ) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m :	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40
Valeur de calcul ( $S_{Ad}$ ) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol :	—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—
Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200 :	$\Delta s_1$						$\Delta s_2$	

(charges en  $\text{KN/m}^2$ )

Altitude A	$\Delta s_1$	$\Delta s_2$
de 200 à 500 m	$A/1000 - 0,20$	$1,5 A/1000 - 0,30$
de 500 à 1000 m	$1,5 A/1000 - 0,45$	$3,5 A/1000 - 1,30$
de 1000 à 2000 m	$3,5 A/1000 - 2,45$	$7 A/1000 - 4,80$

(3)P Les charges de neige sur les toitures doivent être déterminées comme suit :

a) pour les situations de projet durables/transitoires :

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad \dots (5.1)$$

Données : -  $\mu_i = 0,8$   
-  $C_e = C_t = 1$

La surface de neige sur l'aile complète est de  $S = 1\ 166,7 \text{ m}^2$ .

**Document technique DT8 : formulaire Eurocode 0 – Extrait norme NF EN 1990**

<b>ELU (STR)</b>	<b>V dominant - pression</b>	$K_{FI} \cdot \gamma_p$	Charge	$K_{FI} \cdot \gamma_v$	Charge	$K_{FI} \cdot \psi_0 \cdot \gamma_N$	Charge	$K_{FI} \cdot \gamma_T$	Charge
		1.1x1.35	x P	+ 1.1x1.50	x V	+ 1.1x0.5x1.50	x N	+ 1.1x1.1	x T
	<b>V dominant - soulèvement</b>	$K_{FI} \cdot \gamma_p$	Charge	$K_{FI} \cdot \gamma_v$	Charge	$K_{FI} \cdot \psi_0 \cdot \gamma_N$	Charge	$K_{FI} \cdot \gamma_T$	Charge
		1.0x1.0	x P	+ 1.1x1.50	x V	+ 1.1x0.5x0.0	x N	+ 1.1x1.1	x T
	<b>N dominant - pression</b>	$K_{FI} \cdot \gamma_p$	Charge	$K_{FI} \cdot \gamma_v$	Charge	$K_{FI} \cdot \psi_0 \cdot \gamma_N$	Charge	$K_{FI} \cdot \gamma_T$	Charge
		1.1x1.35	x P	+ 1.1x0.6x1.50	x V	+ 1.1x1.50	x N	+ 1.1x1.1	x T

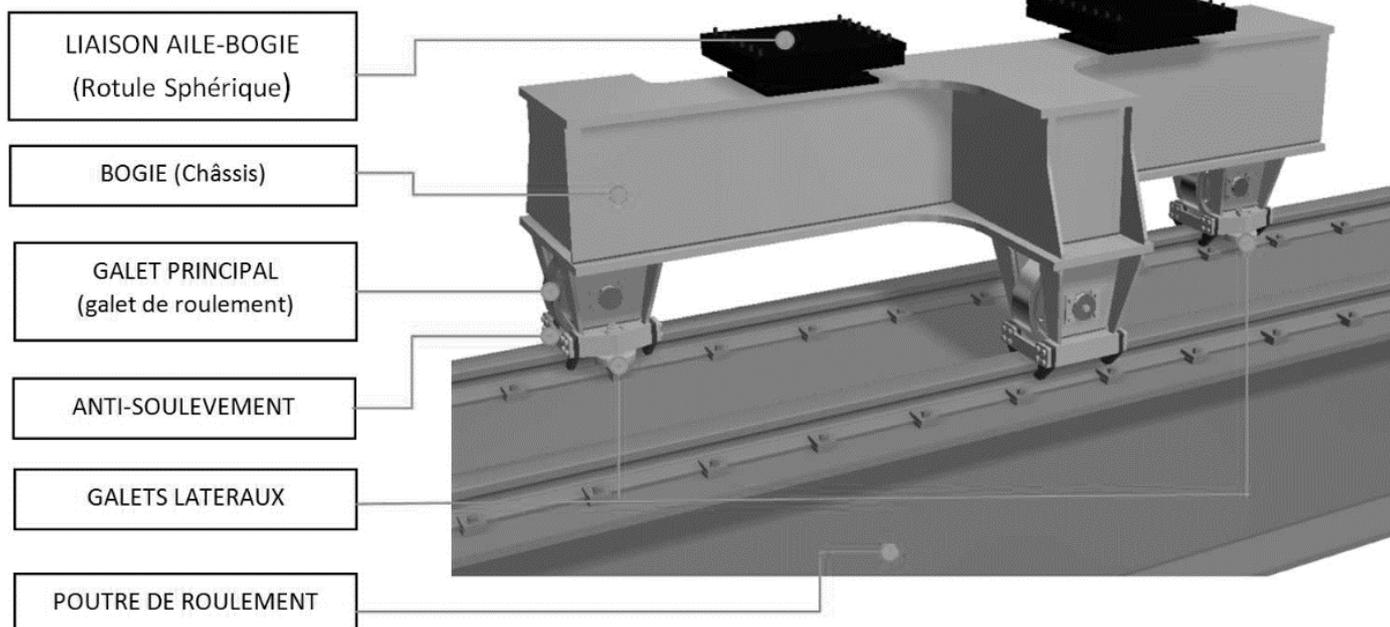
- P : Poids propre + Charge permanente
- V : Charge de vent
- N : Charge de neige
- T : Charge due au tassement de l'appui

Résultats :

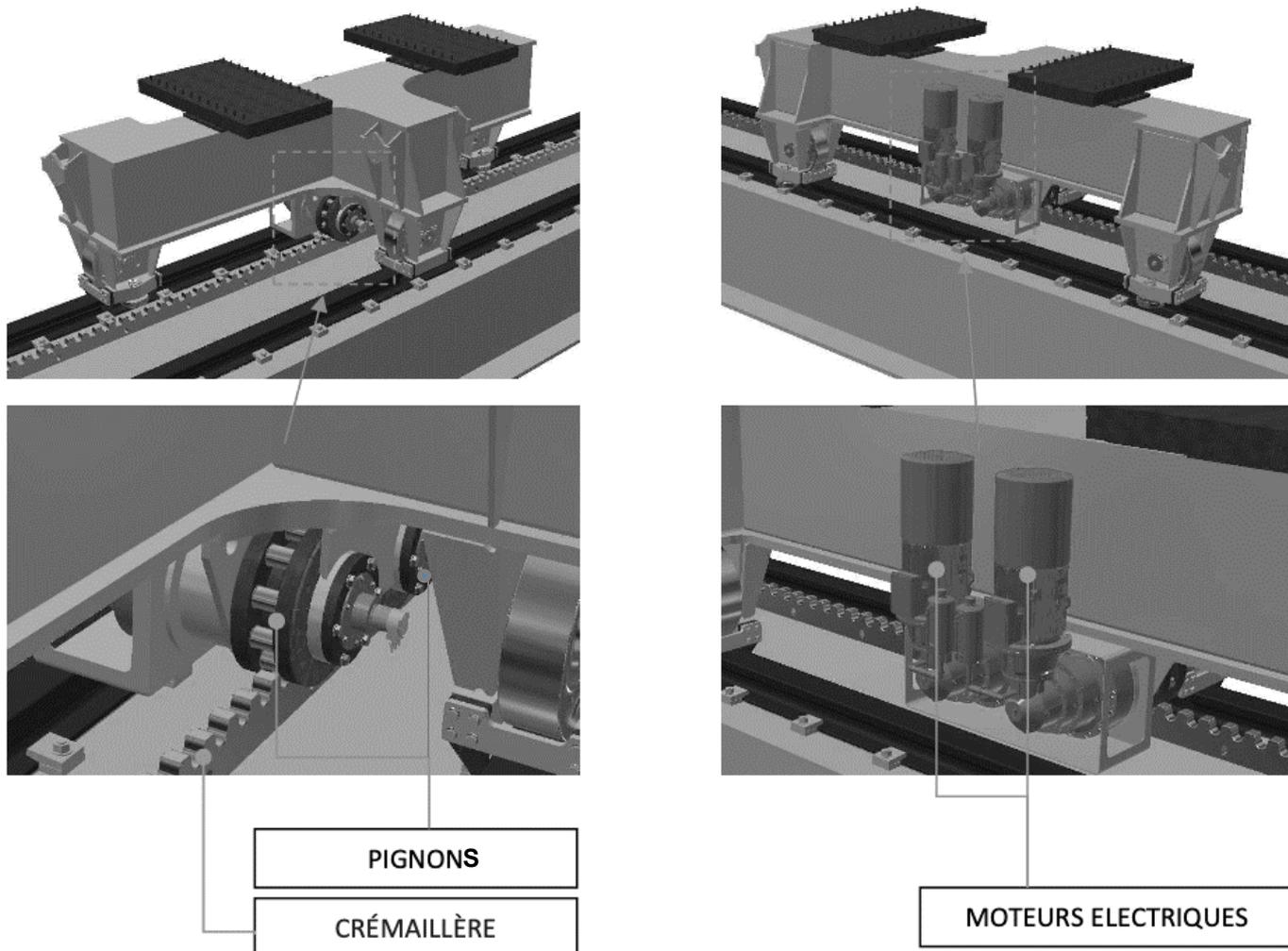
<b>ELU (STR)</b>	<b>Fx</b>	<b>Fz</b>	<b>My</b>
	V dominant - soulèvement	-1 269 kN	- 933,97 kNm
	N dominant – pression	- 115,53 kN	- 32 kNm

## Document technique DT9 : description du bogie

### Liaison entre un bogie et la poutre de roulement via les galets

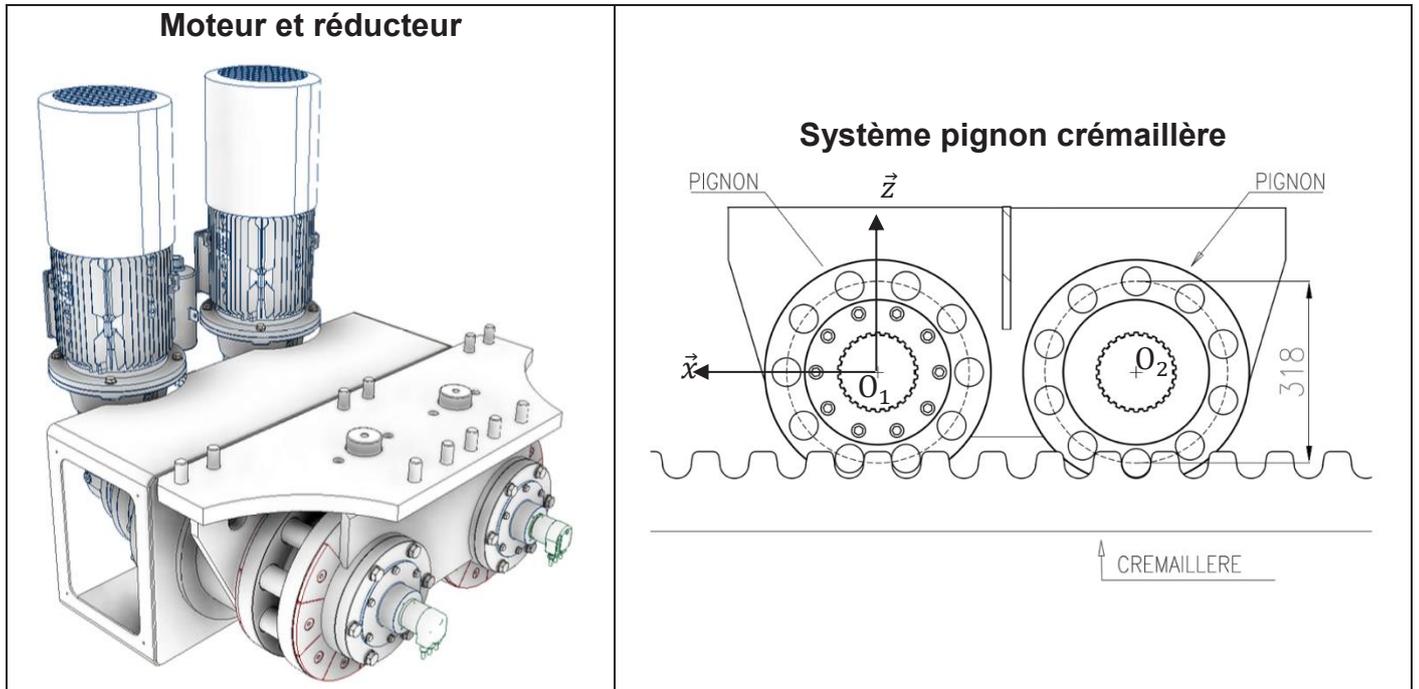


### Positionnement des moteurs et des réducteurs sur un bogie

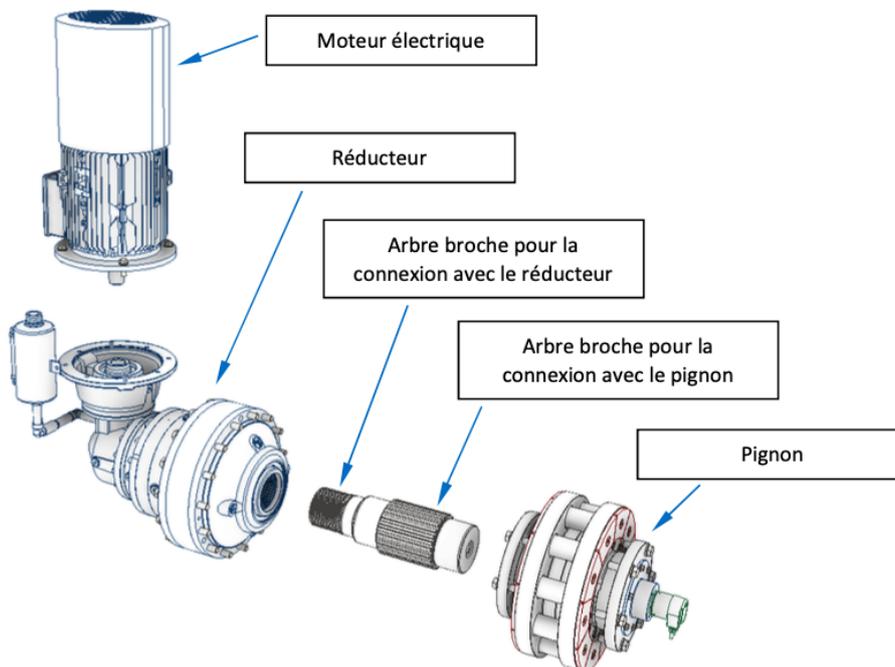


## Document technique DT10 : transmetteurs

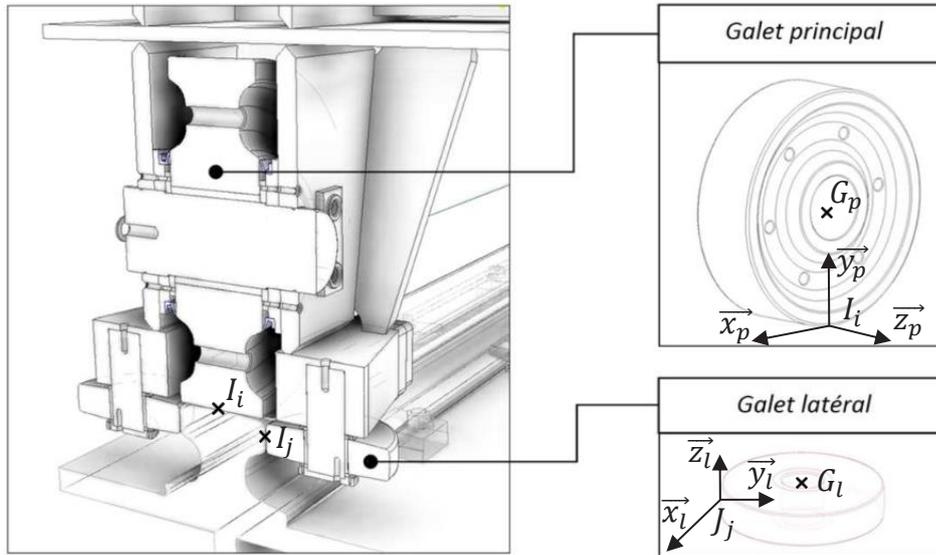
L'ensemble de transmission est constitué d'un réducteur et d'un système pignon crémaillère par moteur.



### Eclaté du système de transmission



Coupe longitudinale d'un des contacts bogie-rail



On considère que les galets sont des cylindres creux parfaits.

# Document technique DT12 : caractéristiques du moteur pour l'aile 1

Induction motor with brake with options

**4P LS132M 11kW IFT/NIE B5 380D/400D/415D/690Y-460D 50-60Hz FFB 110.0N.m -**

## Brake options

Release lever Lock off release system (DLM) Brake treatment -

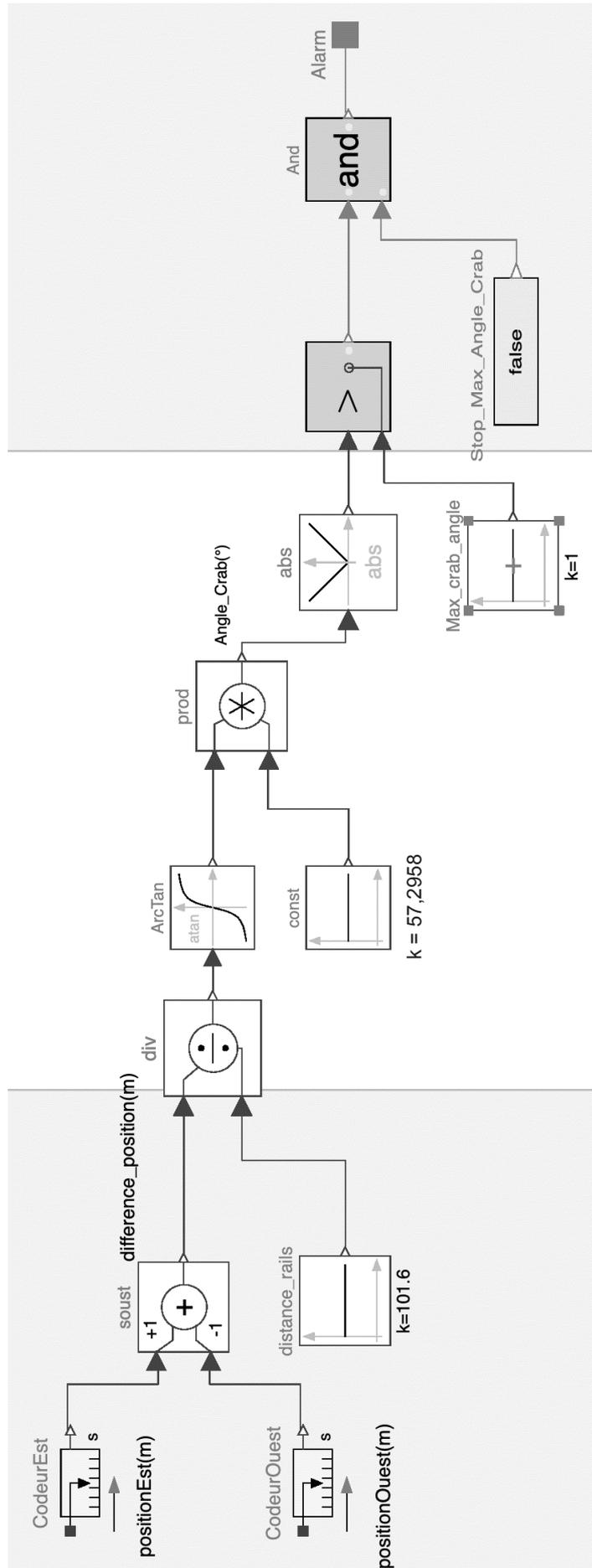
Position relative levier de frein 0 Brake options -

## Motor characteristics (on mains supply)

Main voltage (V)	Rated Frequency (Hz)	HS rated power (kW)	Rated torque (N.m)	Rated speed (min-1)	Rated current (A)	Power factor at 4/4 of the load	Power factor at 3/4 of the load	Power factor at 2/4 of the load	Efficiency at 4/4 (IEC 60 034-2-1) of the load (%)	Efficiency at 3/4 (IEC 60 034-2-1) of the load (%)	Efficiency at 2/4 (IEC 60 034-2-1) of the load (%)
380	50	11.000	72,3	1450.00	22.80	0.83			88.50		
400	50	11.000	72,3	1452	22.1	0.81	0.72	0.58	88.80	89.70	89.30
415	50	11.000	72,3	1458.00	23.30	0.74			88.70		
460	60	12,65	69,26	1745.00	20.80	0.85			89.70		

## Motor characteristics (on mains supply) 400 V 50 Hz

Starting torque (N.m)	209.67
Average starting torque (N.m)	
Maximum torque (N.m)	238,59
Unload maximum starting frequency (d/h)	-
Rotor locked time (cold) (s)	63
Id / In	6.85
Id	151.39
Maximum current (A)	
No-load current (A)	0.00
Acoustic pressure level (dB(A))	63

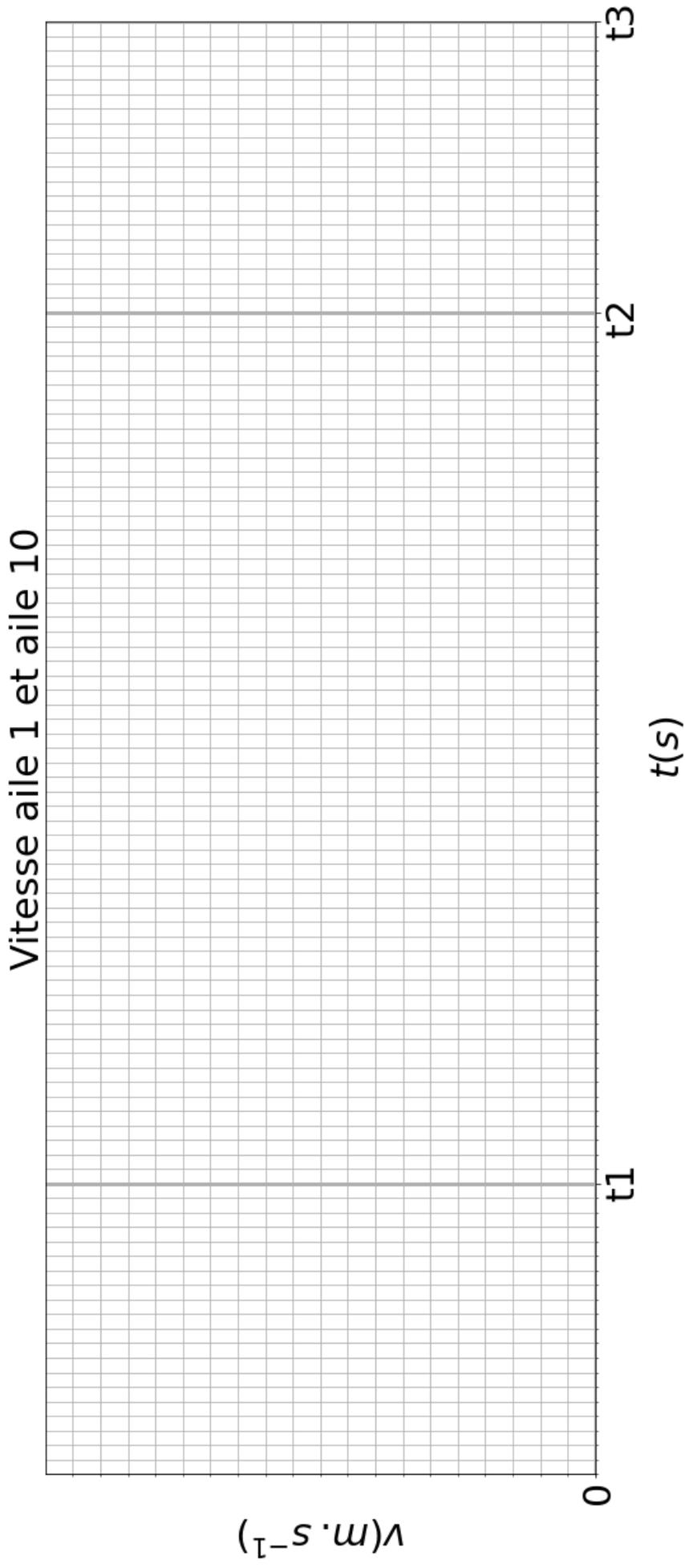


## Document pédagogique DP1 : séquence pédagogique

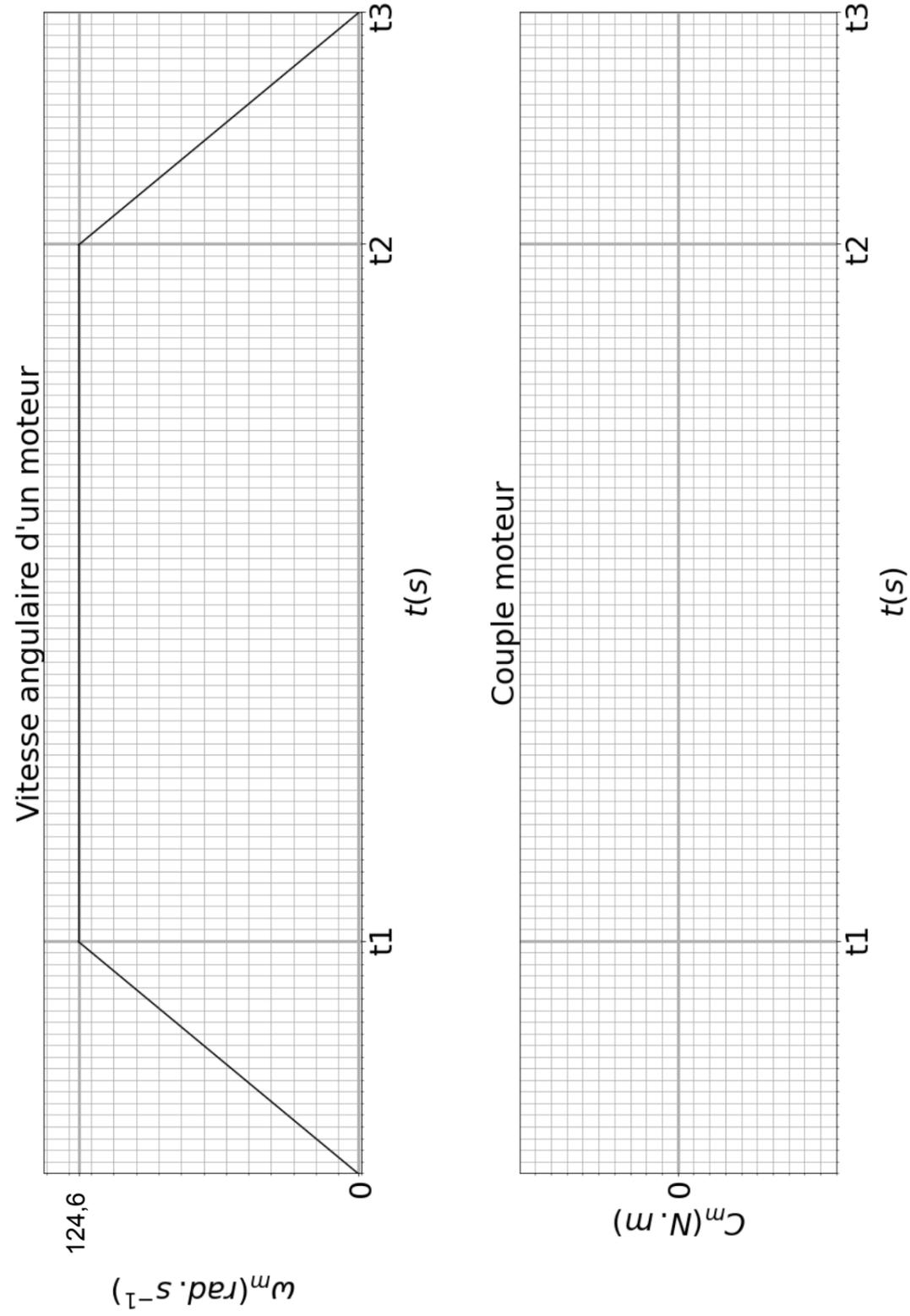
THÈME DE LA SÉQUENCE <i>(Choisir un thème parmi les 8 de la liste ou autre)</i>	Favoriser le pratique sportive
TITRE DE LA SÉQUENCE <i>(une problématique liée à un enjeu de société)</i>	Comment décrire les modifications d'un court de tennis qui doit répondre à de nouvelles exigences ?
<b>ENSEIGNEMENT COMMUN</b>	
Compétences visées	CO1.2 : Justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et de design CO3.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques CO5.5 : Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue CO6.1 : expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un produit CO7.1 : Réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenus en réponse à tout ou partie du cahier des charges initiale
Connaissances associées	1.1.2a : Cartes mentales, représentations numériques, diagrammes SysML pertinents, prototype et maquette, croquis et schémas non normalisés, organigrammes. 1.1.2b : Outils de partage et d'organisation du travail collaboratif (cloud, PLP, BIM). 1.2.1b : Approche système (environnement, frontières, système d'intérêt, point de vue). 1.2.2c : Analyse du besoin : besoin initial, mission principale, contexte, cas d'utilisations, scénarios d'utilisation, besoins des parties prenantes.
Type d'activité <i>(Préciser le ou les types d'activité mis en œuvre : étude de dossier, expérimentations, simulation, ...)</i>	<b>Étude de dossier :</b> Situation déclenchante présentant la problématique globale liée à l'utilisation d'un court de tennis. Identification de deux parties : la structure et la mobilité de la toiture.  <b>Activité :</b> <b>Partie 1 :</b> structure À partir d'une maquette représentant un court de tennis, réalisation <b>de croquis</b> pour proposer plusieurs solutions avec différents critères : design, impact sur l'existant, etc. Réalisation d'un <b>tableau ou d'une carte mentale</b> pour justifier les propositions. En fonction du temps, réaliser <b>un prototype</b> . <b>Partie 2 :</b> mobilité Identification des constituants permettant le déplacement de la toiture. <i>Simulation</i> : À l'aide d'un logiciel simple, simuler le déploiement de la toiture. <i>Expérimentation</i> : À l'aide d'éléments mobiles (robot, etc.) reproduire l'effet de déploiement souhaité. Compléter le diagramme d'exigences fourni en associant les blocs « objet » avec l'exigence à laquelle l'objet répond (satisfy). Outils de communication : Quels types d'outils, lequel choisir, etc. ?
Synthèse <i>(en lien avec la problématique)</i>	
Evaluation	



**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**







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

Cocher public OU privé UNIQUEMENT pour les concours enseignants :  public  privé

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

---

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

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

---

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

**DR2 - DR3**

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

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

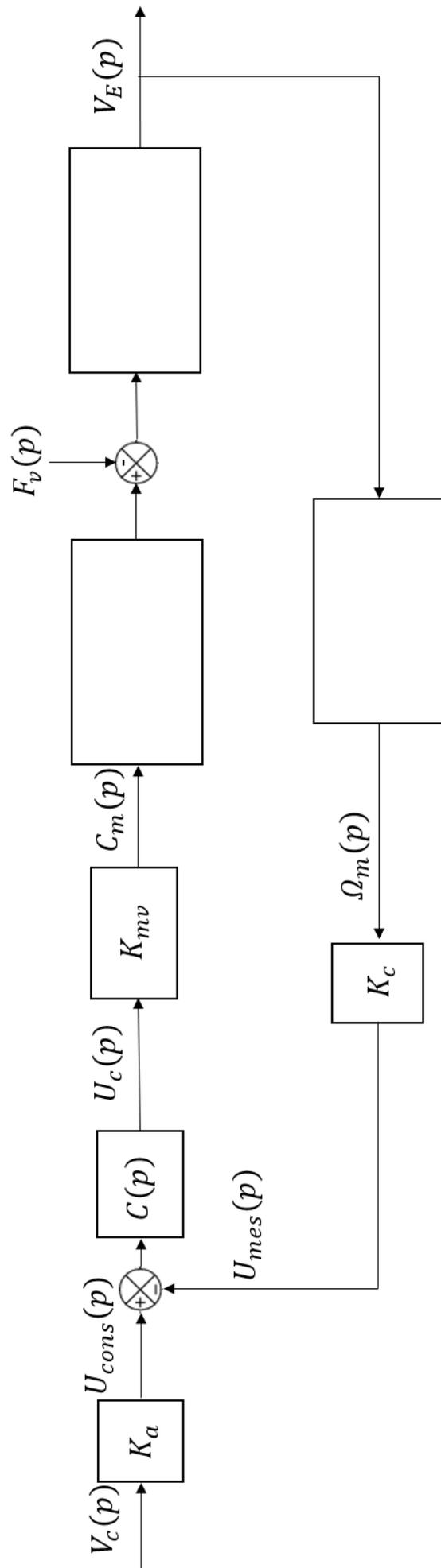
**Document réponse DR2 : tableau bilan des efforts sur le bogie**

Compétences	Indicateurs d'évaluation	Modalités d'évaluation au sein de la séquence	Niveaux d'appréciation		
			Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
CO1.2 : justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et de design					
CO3.4 : Identifier et caractériser des solutions techniques					
CO5.5 : Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue					
CO6.1 : expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un produit					
CO7.1 : Réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenus en réponse à tout ou partie du cahier des charges initiale					



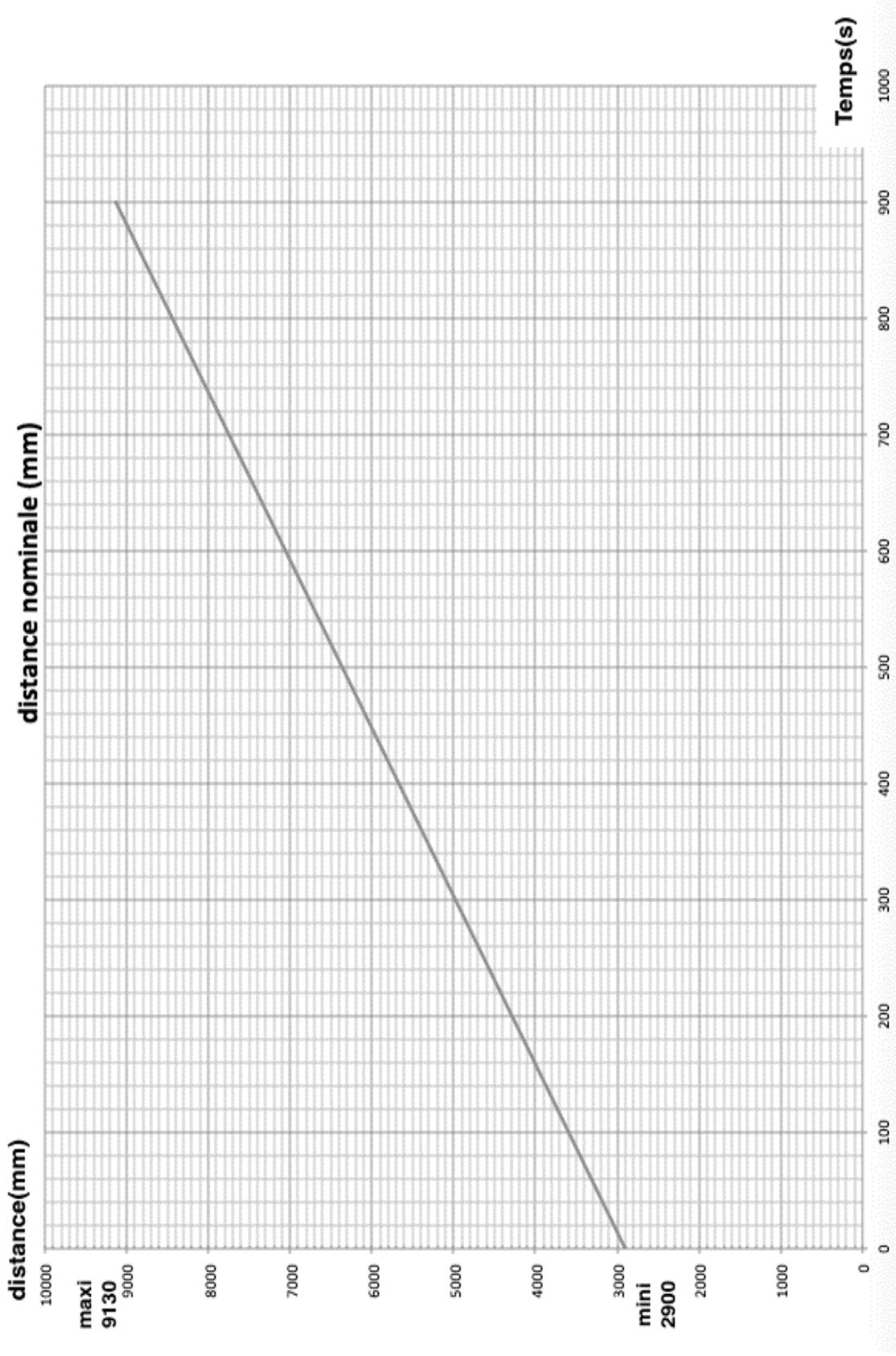
**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

Document réponse DR4 : schéma-bloc de la commande d'un moteur



## Document réponse DR5 : gestion et contrôle de la distance entre les ailes

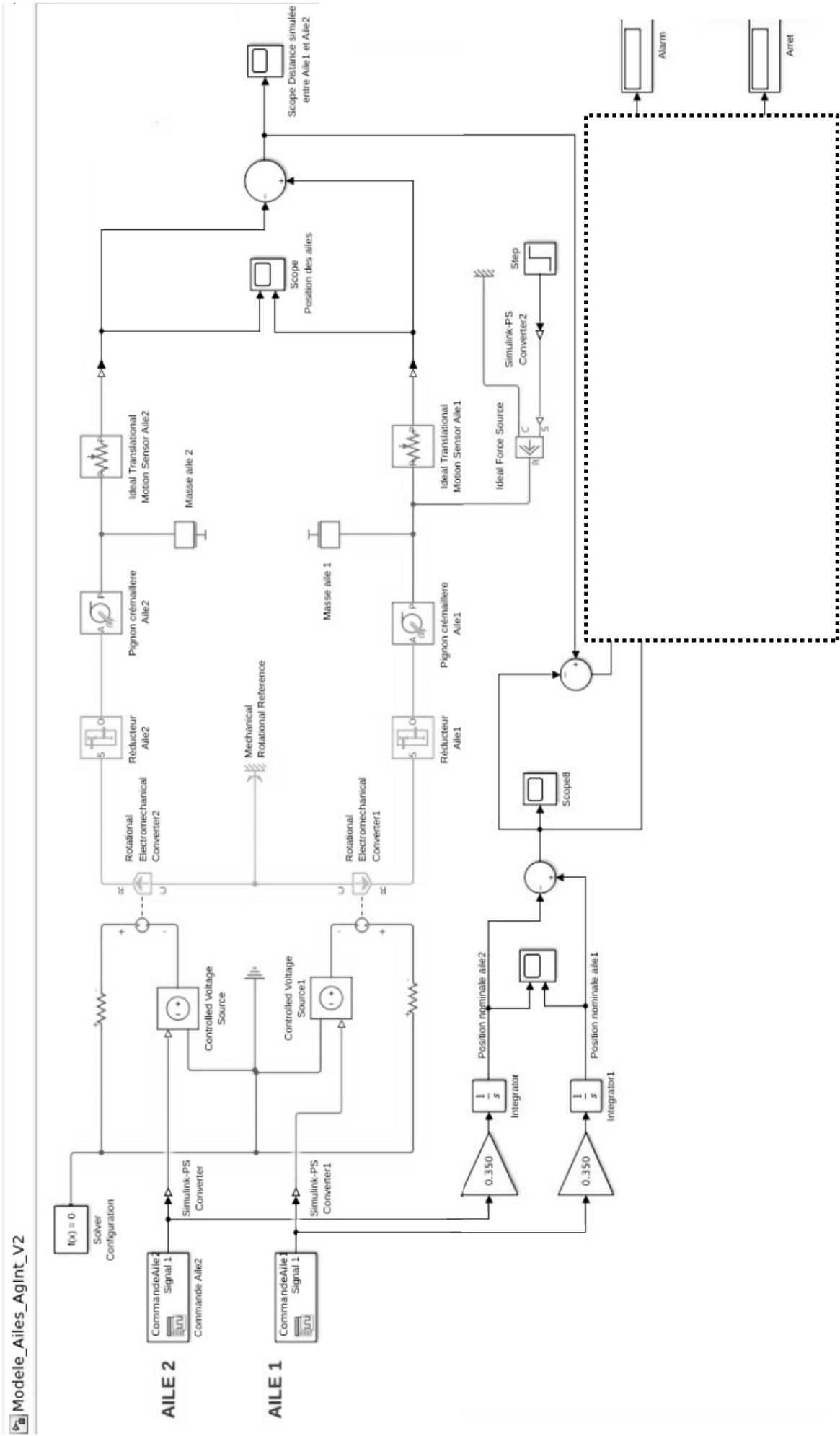
Les phases d'accélération et de décélération sont négligées.





**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

# Document réponse DR6 : modèle multiphysique d'un bogie



À compléter (question 30)

## Document réponse DR7 : définition du protocole d'essais

<p><b>Identification du protocole</b></p>	<p><b>Schéma du dispositif expérimental</b> <i>Un ou plusieurs schémas explicatifs</i></p>	<p><b>Protocole expérimental</b> <i>Démarche séquentielle de mise en œuvre du protocole</i></p>
<p><b>Problématique, Question scientifique</b> <i>Une question scientifique commence généralement par : comment, quoi, quand, qui, lequel, pourquoi, où</i> <i>La question doit faire référence à un enjeu societal</i> <i>La question doit contenir un paramètre variable et au moins une grandeur mesurable</i></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Étape 1</li> <li>2. Étape 2</li> <li>3. Étape 3</li> </ol>
<p><b>Hypothèse</b> <i>Une hypothèse est une prédiction qui peut être testée par l'expérimentation : Si.....alors...</i></p>		
<p><b>Paramètres variables</b> <i>Paramètres à faire varier</i></p>		
<p><b>Paramètres contrôlés</b> <i>Paramètres constants</i></p>		
<p><b>Paramètres observés</b> <i>Grandeurs mesurées / observables</i></p>		
<p><b>Matériels</b> <i>Liste des matériels nécessaires à l'expérimentation</i></p>		<p><b>Traitement des résultats</b> <i>Mise en forme des résultats (tableaux, graphiques, ...), relations utiles si la grandeur physique ne peut pas être directement observée ...L'analyse des résultats doit permettre de valider ou invalider l'hypothèse, de valider une performance, valider un choix de conception, ...</i></p>