

SESSION 2024

**AGRÉGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE MÉCANIQUE**

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

Durée : 4 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 :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1414A	102	7048

► **Concours interne du CAER / Agrégation de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1414A	102	7048

COMPOSITION DU SUJET**Durée conseillée pour la lecture du sujet : 20 min**

TEXTE DU SUJET : description de la situation industrielle, des problématiques industrielles, parties et questions à traiter par le candidat, 16 pages (y compris celle-ci).

DOCUMENTS TECHNIQUES (DT), documents spécifiques relatifs au support de l'étude, données techniques :

- DT1 Schémas et illustrations de présentation du support**
- DT2 Données pour calcul des efforts sur galets principaux**
- DT3 Fiche technique acier 17-4PH**
- DT4 Données techniques contact galets principaux/rails**
- DT5 Données techniques contact galets latéraux/rail**
- DT6 Dessin de définition lame anti-soulèvement**
- DT7 Extrait documentation technique goupilles cylindriques taraudées**
- DT8 Données pour étude du déplacement angulaire lame anti- soulèvement**
- DT9 Données pour étude d'interférence lame anti-soulèvement/rail**
- DT10 Corrosion des aciers et corrosivité des atmosphères**
- DT11 Données sur la galvanisation à chaud des aciers**
- DT12 Nuances d'acier S355**
- DT13 Données électroérosion**

DOCUMENTS RÉPONSES (DR), documents qui seront à compléter et à rendre par le (ou la) candidat(e) avec ses copies :

- DR1 Détermination des variations de l'effort tranchant T et tracé du diagramme**
- DR2 Détermination des variations du moment fléchissant M_f et tracé du diagramme**
- DR3 Analyse de spécification**

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

Sujet

MODERNISATION DU STADE ROLAND GARROS RÉNOVATION DU COURT PHILIPPE CHATRIER PAR AJOUT D'UNE TOITURE RÉTRACTABLE

PRÉSENTATION

1. CONTEXTE

Afin de donner une nouvelle dimension au tournoi annuel de tennis se déroulant au stade Roland Garros, la Fédération Française de Tennis a souhaité une modernisation globale du site.

Plus spécifiquement, dans l'objectif d'assurer la continuité et de bonnes conditions de jeu, le projet d'ajout d'une toiture rétractable sur le court central Philippe Chatrier a été développé.

Cette rénovation permet aux organisateurs du tournoi de proposer des sessions de nuit sur le court central, ainsi que le déroulement de l'ensemble des rencontres à partir des quarts de finale quelques soient les conditions.

La couverture rétractable du stade est constituée de 11 poutres principales avec une forme au profil d'aile, 10 sont mobiles et la 11^e est fixe.

Les 11 ailes qui composent le toit rendent hommage à l'aviateur Roland Garros, qui a donné son nom au stade et au tournoi.

2. SUPPORT DU SUJET

Le sujet s'intéresse uniquement aux ailes mobiles qui reposent sur des « **bogies** ».

Les ailes mobiles se déplacent sur des rails de roulement entre deux configurations limites : toiture en position dépliée et toiture en position repliée.



Figure 1 : Toiture en configuration dépliée

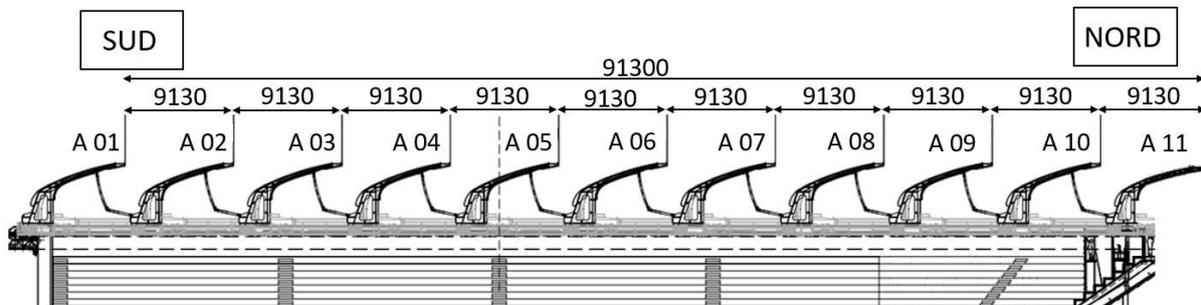


Figure 2 : Coupe longitudinale – Toiture en configuration dépliée



Figure 3 : Toiture en configuration repliée

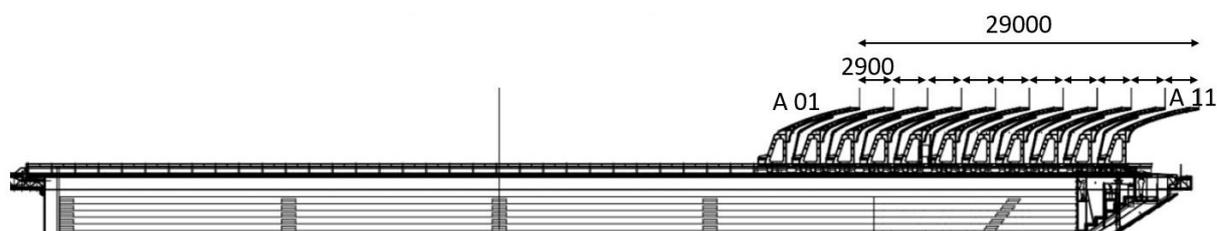


Figure 4 : Coupe longitudinale – Toiture en configuration repliée

La configuration repliée prévoit un espacement entre les ailes de 2900mm pour assurer une marge de sécurité vis-à-vis des déplacements qui pourraient être provoqués par les rafales de vent.

Le document technique **DT1** montre la liaison aile/bogie et précise les pièces constitutives du bogie ainsi que sommairement le système d'entraînement moteurs - pignons - crémaillère.

Le système de référence applicable pour la suite du sujet est précisé ci-après :

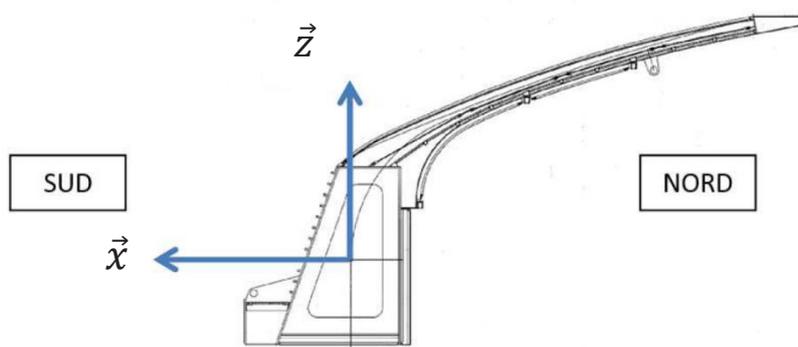


Figure 5 : Système de référence applicable

3. OBJECTIF DU SUJET

Préalablement à la fabrication de l'ensemble « couverture mobile », le titulaire du lot du marché public a dû réaliser des études de dimensionnement des organes mécaniques de cette couverture mobile.

En particulier, ont été dimensionnés, en conformité aux règlements et normes spécifiques, les composants constitutifs du système de translation « bogie » sur lequel s'appuie chaque extrémité des éléments de la couverture (aile).

Le sujet propose d'analyser une partie de la démarche de l'ingénierie d'étude pour l'ensemble bogie

Le sujet comporte 5 parties distinctes (la durée conseillée pour traiter chaque partie est indiquée dans chaque partie, le barème prend en compte la capacité du candidat à traiter ces différentes parties) :

1^{re} partie : Analyse de la liaison du bogie par rapport aux voies de roulement.

2^e partie : Choix matériau rail, galets principaux et axe des galets latéraux

3^e partie : Modification de la conception des lames anti-soulèvement

4^e partie : Étude d'un traitement de surface des lames anti-soulèvement

5^e partie : Étude de la réalisation de la lame anti-soulèvement

Les parties et les questions dans chaque partie peuvent souvent être traitées de façon indépendante.

- Rédigez vos réponses de manière claire et concise,
- Détaillez vos calculs, ainsi que les applications numériques et les unités,
- Justifiez vos choix, vos hypothèses.

**1^{re} PARTIE : Analyse de la liaison du bogie par rapport aux voies de roulement.
(Durée conseillée : 60 min)**

Objectif : évaluer le degré d'hyperstaticité de la liaison bogie/rails, déterminer les efforts extérieurs appliqués sur le bogie afin de valider ultérieurement le couple dimensions/matériau des éléments constitutifs.

Détermination du graphe des liaisons entre le solide « châssis bogie - moteurs » (1) et le solide « rails - crémaillère » (0)

Repères des éléments (incrémentation de « i » en fonction du nombre d'éléments) :

- galets principaux : GPi ;
- galets latéraux de guidage : GLi ;
- pignons moteurs : Pmi.

Données sur certaines liaisons et surfaces de contact :

- liaisons (0) / Pmi : considérées comme liaisons « sphère-plan » de normale \vec{x} ;
- la surface de roulement des rails est cylindrique ;
- la surface de roulement des galets principaux est cylindrique ;
- les surfaces des rails en contact avec les galets latéraux sont planes ;
- la surface de roulement des galets latéraux est sphérique.

QUESTION 1.1

Feuille de copie

Établir le graphe de liaisons limité aux solides (0), (1), aux galets principaux, aux galets latéraux de guidage et aux pignons moteurs. **Préciser** les éléments caractéristiques du type axe, normale, ..., des liaisons.

QUESTION 1.2

Feuille de copie

Dans le plan (XY) et le plan (YZ), **établir** les schémas cinématiques 2D, limités aux solides (0), (1), aux galets principaux, aux galets latéraux de guidage et aux pignons moteurs.

QUESTION 1.3

Feuille de copie

Sans prendre en compte les liaisons (0) / Pmi, **montrer** que la liaison équivalente entre le bogie et la voie de roulement est une liaison glissière de direction \vec{x} .

QUESTION 1.4

Feuille de copie

En tenant compte de l'ensemble des liaisons, **déterminer** le degré d'hyperstatisme de la liaison entre le solide « châssis bogie - moteurs » (1) et le solide « rails - crémaillère » (0). **Commenter** le résultat calculé.

Détermination des réactions sur les galets principaux (cf. DT2)

On isole le solide (2) : « châssis bogie - moteurs - pignons moteur - galets principaux - galets latéraux ».

On considère les torseurs des actions extérieures $\{T_{A1 \rightarrow 2}\}_A$ et $\{T_{PP \rightarrow 2}\}_{CdG}$ définis comme ci-dessous. Se référer au **DT2** pour ce qui concerne le sens des efforts appliqués et les positions des points d'application des torseurs.

$$\{T_{A1 \rightarrow 2}\}_A = \begin{Bmatrix} Fx & 0 \\ Fy & My \\ Fz & 0 \end{Bmatrix}_{(A, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})}$$

$$\{T_{PP \rightarrow 2}\}_{CdG} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -PP & 0 \end{Bmatrix}_{(CdG, \vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z})}$$

Avec :

$$Fx = 193 \text{ kN}$$

$$Fy = 230 \text{ kN}$$

$$Fz = 2894 \text{ kN}$$

$$My = 3550 \text{ kNm}$$

$$PP \text{ (Poids Propre du bogie)} = 94667 \text{ N}$$

Pour information : dans des conditions particulières de vent et de neige, \overline{M}_y peut avoir une direction positive et le bogie peut se soulever (action des lames anti-soulèvement, cf. **DT1**).

Hypothèses simplificatrices, étant donné les faibles dimensions de la tête de rail comparées aux dimensions du solide (2) (cf. **DT2 2/2**) :

- on considère les réactions du rail sur des galets latéraux RGL₁ et RGL₃ s'appliquant respectivement aux mêmes points d'applications que les réactions du rail sur les galets principaux R₁ et R₃ : aux points B et C ;
- on considère une réaction unique RPM₁₋₂ de la crémaillère sur les pignons moteurs. Elle s'applique en un point dont la projection dans le plan (\vec{X}, D, \vec{Z}) est le même point d'application que la réaction R₂ du rail sur un des galets principaux : point D.

QUESTION 1.5

Feuille de copie

Déterminer les expressions littérales des réactions R₁, R₂ et R₃ sur le solide (2). **Effectuer** une application numérique.

QUESTION 1.6

Feuille de copie

Définir les conditions que doivent satisfaire ces réactions pour assurer la stabilité du bogie ?

2^e PARTIE : Choix de matériaux pour le rail, les galets principaux et l'axe (pivot) des galets latéraux (Durée conseillée : 50 min)

Objectif : déterminer les efforts extérieurs appliqués sur le bogie afin de valider le couple dimensions/matériau d'éléments constitutifs.

Choix du matériau pour les rails et choix du traitement thermique pour le matériau des galets principaux

L'aptitude des contacts galets principaux/rail doit répondre à la norme NF EN 13001-3-3 « Appareils de levage à charge suspendue - vérification d'aptitude des contacts galet/rail ». Deux types de vérification doivent être effectués : la vérification de la résistance statique et la vérification de la résistance à la fatigue. Seule la résistance statique sera étudiée et utilisée ci-après pour la détermination du matériau du rail (Cf. données de configuration sur **DT4**).

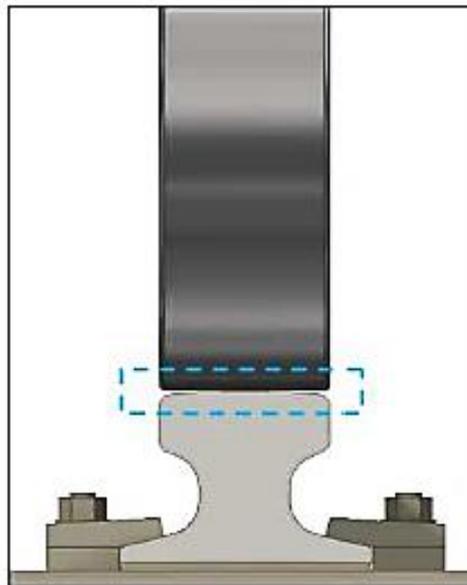


Figure 6 : Contact galet/rail

Les galets principaux du bogie sont en acier inoxydable X5 CrNiCuNb16.4 (nommé également 17-4PH), les caractéristiques mécaniques sont indiquées par la norme NF EN 10088-3 et détaillées dans la fiche technique du **DT3**.

QUESTION 2.1
DT3
Feuille de copie

La fiche technique de l'acier 17-4PH (cf. DT3) indique, dans les propriétés et domaines d'application, qu'il s'agit d'un « Acier martensitique à durcissement structural par le cuivre », **expliquer** les termes « martensitique » et « durcissement structural par le cuivre ».

QUESTION 2.2
DT4 3/3
Feuille de copie

En se référant à l'extrait de la norme NF EN 13001-3-3 présenté dans le DT4 3/3, **déterminer** le cas de charge applicable, **justifier** la réponse.

QUESTION 2.3

Feuille de copie

Préciser sur feuille de copie les valeurs des données non-renseignées du tableau ci-dessous et nécessaires au calcul de $F_{Rd,s}$.

Description	Symbole	Éléments		Unité	Informations
		Galets principaux	Rails		
Coefficient de sécurité	γ_m	1,1	1,1	/	/
Diamètre galet	D_w	500	500	mm	/
Largeur portante réelle	B		/	mm	$b = \min(b_r ; b_w)$
Coefficient de Poisson	ν	0,3	0,3	/	Pour l'acier $\nu = 0,3$
Module d'élasticité du matériau galets	E_w	210000	/	MPa	Pour l'acier $E = 210000$ MPa
Module d'élasticité du matériau du rail	E_r	/	210000	MPa	
Module d'élasticité équivalent	E_m				$E_m = (2 \cdot E_w \cdot E_r) / (E_w + E_r)$
Facteur diminutif pour la pression sur les arêtes	f_1	1	1	/	$f_1 = 1$ pour le cas d'un contact ponctuel
Facteur diminutif pour la répartition non-uniforme de pression	f_2	1	1	/	$f_2 = 1$ pour le cas d'un contact ponctuel

Tableau 1 : Tableau de paramètres pour le calcul de $F_{Rd,s}$

On retient la force de contact de calcul sur le galet principal le plus sollicité :

$$F_{Sd,s} = 1700 \text{ kN.}$$

QUESTION 2.4

DT4 2/3

Feuille de copie

Déterminer par calcul la valeur de dureté HB minimale des matériaux du rail et du galet principal qui permet de valider l'aptitude du contact galet principal/rail. **Proposer** une nuance d'acier du rail A150 parmi celles disponibles (cf. DT4 2/3).

QUESTION 2.5

DT3

Feuille de copie

Suivant la valeur de dureté HB minimale calculée à la question précédente, **proposer** un traitement thermique adéquat de l'acier 17-4PH du galet principal (cf. DT3), **préciser** les caractéristiques mécaniques correspondantes.

Choix d'un traitement thermique pour le matériau du pivot des galets latéraux par vérification de la résistance à la flexion des pivots des galets latéraux

Les pivots des galets principaux et latéraux sont vérifiés sur la base des préconisations de la norme NF EN 13001-1.

Sur le bogie, sont identifiés deux types de pivots (cf. figure ci-dessous) :

- Pivot 1 : Pivot correspondant aux galets principaux
- Pivot 2 : Pivot correspondant aux galets latéraux

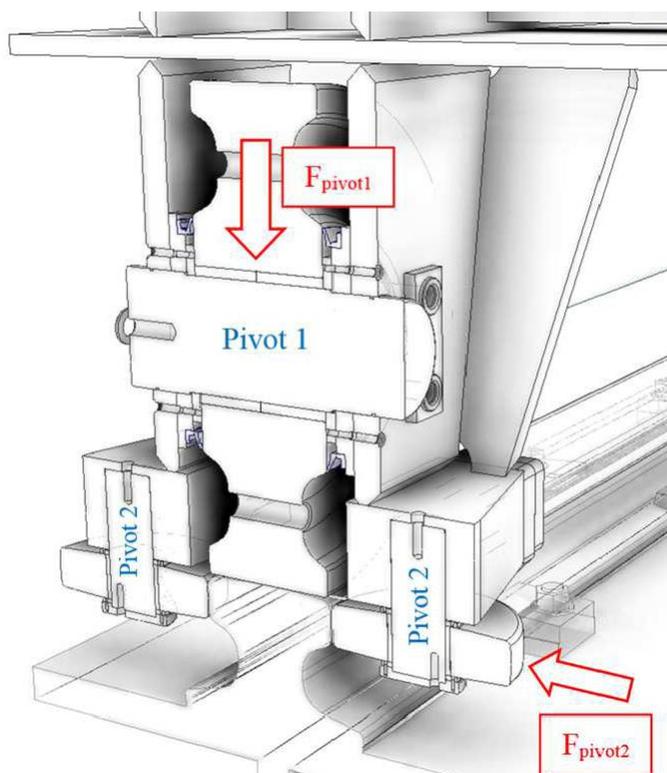


Figure 7 : Identification des pivots du bogie

L'étude portera uniquement sur la résistance du pivot 2 à une sollicitation de flexion. La sollicitation de torsion résultant du frottement du pivot 2 dans la bague de guidage sera négligée.

Le pivot 2 est en acier inoxydable X5CrNiCuNb16-4 (17-4PH), cf. **DT3**.

Le diamètre du galet latéral = $\varnothing 198$ mm (cf. **DT5**).

La force radiale maximale sur le galet latéral le plus sollicité $F_{pivot2} = 276$ kN.

F_{pivot2} est appliquée au point A, point de contact du profil bombé du galet et de la surface latérale plane du rail (cf. **DT5**). On considère que cette force occasionne une charge uniformément répartie « q » au niveau de la bague de guidage.

Dans le calcul de la résistance du pivot 2, doit également être considéré un moment dû au « ripage » des galets latéraux sur le rail. En effet, étant donné les tolérances de fabrication de la tête du rail, les galets latéraux se déplacent verticalement sur de courtes distances lors des manœuvres (cf. **DT5**).

La force F_{ripage} due au ripage est également appliquée au point A.

Le coefficient de frottement rail/galet latéral $\mu = 0,3$

QUESTION 2.6
Feuille de copie

En se plaçant en limite de glissement, **calculer** la valeur de F_{ripage} , **calculer** la valeur du moment de ripage M_{ripage} .

QUESTION 2.7
Feuille de copie

Déterminer la valeur unitaire de la charge uniformément répartie « q ».

QUESTION 2.8
DR1

Sur le DR1, **déterminer** par calcul les variations de l'effort tranchant T. **Tracer** le diagramme des efforts tranchants T. La convention de signe n'est pas imposée. **Faire apparaître** sur les axes du diagramme les valeurs littérales significatives.

QUESTION 2.9
DR2

Sur le DR2, **déterminer** par calcul les variations du moment fléchissant M_f résultant uniquement de l'application la charge répartie « q ». **Tracer** le diagramme des moments fléchissants M_f . La convention de signe n'est pas imposée. **Faire apparaître** sur les axes du diagramme les valeurs littérales significatives.

QUESTION 2.10
Feuille de copie

Préciser la valeur maximale du moment fléchissant M_f . **Donner** la valeur maximale du moment fléchissant total M_{tot} résultant de F_{pivot2} et du phénomène de ripage.

QUESTION 2.11
Feuille de copie

Préciser sur feuille de copie les données et valeurs non renseignées du tableau 2 ci-après et nécessaires à la vérification de la résistance à la flexion du pivot.

Description	Symbole	Formule	Valeur	Unité	Informations
Coefficient de sécurité	γ_m	/	1,1	/	/
Moment quadratique de la section transversale S sollicitée par rapport à son axe (G, z)	I_z	$I_z = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$		mm ⁴	/
Aire de la section transversale sollicitée	S			mm ²	/
Force radiale maximale sur le galet latéral	F_{pivot2}	/	276	kN	/
Contrainte normale sur S	σ_n	$\sigma_n = \frac{M_{tot}}{I_z} \cdot y$		MPa	y : distance de l'axe neutre à l'extrémité la plus éloignée de la section S
Contrainte de cisaillement	τ_{max}	$\tau_{max} = \frac{4}{3} \cdot \frac{T_{max}}{S}$		MPa	Formule de Bredt appliquée à une section circulaire pleine, avec τ_{max} : effort tranchant max
Contrainte équivalente	σ_{vm}	$\sigma_{vm} = (\sigma_n^2 + 3 \cdot \tau_{max}^2)^{0,5}$		MPa	Contrainte équivalente de Von Mises

Tableau 2 : Tableau de paramètres pour vérification résistance à la flexion du pivot 2

QUESTION 2.12
DT3
Feuille de copie

En tenant compte du coefficient de sécurité γ_m , **proposer** un traitement thermique adéquat de l'acier 17-4PH du pivot du galet latéral (cf. DT3), **préciser** les caractéristiques mécaniques correspondantes.

3^e PARTIE : Modification de la conception des lames anti-soulèvement (Durée conseillée : 40 min)

Objectif : modifier la conception des lames anti-soulèvement afin de garantir l'absence de contact avec le rail lors des déplacements des ailes, validation par étude d'interférence lames/rails.

Les bogies sont équipés d'un système d'anti-soulèvement de sécurité (cf. **DT1**). Les lames ont été conçues pour être fixées par 4 vis M16, elles présentent 4 trous lisses de diamètre 16,5. Le jeu résultant occasionne une variation angulaire de position de montage de la lame qui s'avère être beaucoup trop importante pour garantir l'absence de contact de son extrémité basse avec le rail lors des manœuvres du toit.

Il est donc proposé d'en modifier la conception (cf. **DT6**) :

- fixation par 2 vis M16 au lieu de 4 ;
- positionnement par 2 goupilles taraudées standards $\varnothing 16 \text{ m6} (\varnothing 16_{+7}^{+18})$, cf. **DT7**, montées serrées dans le support de fixation et venant s'insérer dans des trous lisses de la lame $\varnothing 16 \text{ E10} (\varnothing 16_{+32}^{+102})$.

Nota : les lames étant sollicitées, pour l'essentiel, suivant un moment de renversement M_y autour de l'axe \vec{y} , on considèrera que les éléments de fixation et de positionnement de celles-ci sont donc uniquement sollicités en cisaillement.

QUESTION 3.1 DT6 DR3 ou feuille de copie	Décoder , sur le DR3 (ou sur feuille de copie), la spécification géométrique indiquée, extraite du dessin de définition présenté dans le DT6.
--	--

L'ajustement « goupille cylindrique / trou lisses lame » présente un jeu maximal « J » occasionnant un positionnement angulaire variable de montage de la patte (cf. **DT8**).

Il est nécessaire d'évaluer la valeur de déplacement maximale de la forme basse de rayon R15 de la patte susceptible de venir en contact avec le rail.

Nota : pour un angle de rotation faible γ , on peut considérer que le déplacement **C** suivant la « corde » d'un point à une distance **R** du centre de rotation est correctement approximé avec la formule suivante : **$C = \gamma \cdot R$**

QUESTION 3.2 DT8 Feuille de copie	En considérant les données du DT8, démontrer la formule suivante :
---	---

$$e = \frac{J}{d} * \sqrt{a^2 + b^2} * \sin\left(\beta - \frac{J}{2d}\right)$$

QUESTION 3.3 DT6, DT8 Feuille de copie	Calculer la valeur maximale du déplacement « e ».
--	--

QUESTION 3.4
DT6
Feuille de copie

En considérant la valeur déterminée à la question précédente et les tolérances de fabrication de la lame anti-soulèvement, **donner** la valeur de variation d'écart à prendre en compte pour l'étude d'interférence.

Pour évaluer les éventuelles interférences entre le dispositif d'anti-soulèvement et le rail, ont été considérés tous les écarts possibles. Ils sont fonction des données suivantes :

- jeu fonctionnel entre le galet latéral et le rail ;
- tolérance de fabrication des galets latéraux ;
- tolérance de fabrication du profil du rail et tolérance de montage du rail ;
- tolérances de fabrication et d'assemblage des éléments du bogie ;
- tolérances de fabrication et d'assemblage des lames anti-soulèvement ;
- déplacement latéral du galet principal n°2 en raison des charges appliquées sur le bogie.

Les données énoncées ci-dessus sont précisées et quantifiées dans le **DT9**.

Au niveau du galet principal n°2, la distance horizontale prévue par conception entre la forme basse R15 de la lame et le rail en configuration initiale, c'est-à-dire en l'absence d'écarts, est de 8 mm.

QUESTION 3.5
DT9
Feuille de copie

Déterminer, à l'aide des données présentées ci-dessus et dans le DT9, la valeur arrondie au 1/10^{ème} de la variation horizontale maximale de position de la forme basse de la lame par rapport au rail. **Statuer** sur le risque d'interférence entre la lame et le rail lors des manœuvres.

4^e PARTIE : Étude d'un traitement de surface des lames anti-soulèvement (Durée conseillée : 30 min)

Objectif : choisir une nuance d'acier pour les lames anti-soulèvement afin de garantir la compatibilité avec le traitement de surface par galvanisation à chaud et la durée de vie de celui-ci.

Selon l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1990 de mars 2003 - « Eurocodes structuraux – Bases de calcul des structures », le court Philippe Chatrier (tribunes et couverture mobile) doit être classé dans la catégorie 4 de durée d'utilisation de projet. La durée indicative d'utilisation de l'ouvrage est donc de 50 ans.

Les éléments du bogie doivent respecter la contrainte de durée indiquée de l'ouvrage, qui est une durée de conservation d'intégrité sans interventions de maintenance.

Les matériaux constitutifs doivent donc être choisis de telle sorte soit qu'ils offrent, de base, une protection anti-corrosion (tels que les aciers inoxydables par exemple), soit qu'ils puissent recevoir un traitement de surface de protection.

Le matériau de la lame anti-soulèvement est un acier de désignation S355, donc sensible à la corrosion atmosphérique sans traitement de surface. Un traitement de galvanisation à chaud par trempage est donc envisagé.

La durée de protection du revêtement de zinc dépend largement, pour une charge corrosive donnée, de l'épaisseur de la couche appliquée. On peut considérer que la perte de zinc se produit de façon uniforme sur toute la surface revêtue.

On considèrera une charge corrosive macroclimatique de la catégorie C3, au sens de l'EN ISO 12944-2, valable aujourd'hui en Europe (cf. **DT10**).

QUESTION 4.1 | **Donner** la signification de la désignation « S355 ».

Feuille de copie

QUESTION 4.2 | **Déterminer**, à l'aide des données présentées ci-dessus et dans le DT10, la valeur de l'épaisseur de zinc nécessaire à déposer sur les lames anti-soulèvement afin de garantir leur intégrité sans aucun entretien pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage.

DT10

Feuille de copie

Les aciers peuvent être classés, au sens de la norme NF A 35-503, suivant plusieurs catégories d'aptitude à la galvanisation en fonction de leur taux combiné de phosphore et de silicium (cf. **DT11**).

QUESTION 4.3 | **Déterminer**, à l'aide du DT11, la ou les catégorie(s) d'acier envisageable(s) en considérant qu'aucun critère d'aspect de surface ne sera privilégié.

DT11

Feuille de copie

QUESTION 4.4 | **Étudier** la compatibilité des nuances d'acier S355 du DT12 avec le processus de galvanisation à chaud. **Préciser** pour les nuances compatibles la/les catégorie(s) au sens de la NF A 35-503 (cf. DT11).

DT11, DT12

Feuille de copie

QUESTION 4.5 | **Choisir** une nuance d'acier S355 parmi celles du DT12. **Justifier** le choix. **Préciser** l'épaisseur de revêtement estimée.

DT12

Feuille de copie

QUESTION 4.6 | **Préciser** quelles sont les implications de ce traitement de surface par rapport aux spécifications géométriques et/ou dimensionnelles de la lame anti-soulèvement.

Feuille de copie

**5^e PARTIE : Étude de la réalisation de la lame anti-soulèvement
(Durée conseillée : 40 min)**

Objectif : choisir un processus global de fabrication de la patte anti-soulèvement.

Le bogie est équipé de lames anti-soulèvements de sécurité positionnées au niveau des galets (cf. DT1). 4 lames anti-soulèvement sont positionnées au niveau de chaque galet. Le jeu entre rail et lames ne permet théoriquement pas un contact lame/rail durant le fonctionnement normal de la toiture. Il s'agit donc d'un système passif, n'intervenant que dans le cas où le bogie devrait se soulever du rail à cause du vent.

Après plusieurs années de manipulation du toit, une usure de quelques lames dû au frottement contre les rails a néanmoins été constatée. Un lot de 48 lames doit être commandé pour les remplacer.

Une entreprise consultée pour la fabrication doit établir un devis. Prenant en compte tous les éléments techniques relatifs à la pièce à produire, elle retient 2 processus prévisionnels de fabrication qu'il faut évaluer comparativement afin de pouvoir rapidement identifier le plus intéressant et affiner le devis. Ces processus sont détaillés dans les tableaux ci-après.

Phase	Opération	Temps de cycle	Machine - Taux horaire	Informations
10	Découpe brut, longueur à définir	2 min	Scie à ruban - 30€/h	À partir d'une barre acier S355 étiré de section 150x25
20	Perçage des trous Ø16,5 et des avant-trous Ø6	5 min	CUCN 3 axes V - 80€/h	Avant-trous Ø6 : trous d'enfilage pour ph30
30	Découpe électroérosion trous Ø16E10 et profil extérieur	À définir	Machine électroérosion FANUC ROBOCUT α-C400iC - 40€/h	Le coût horaire indiqué n'inclut pas le prix du fil laiton utilisé

Tableau 3 : Processus 1

Phase	Opération	Temps de cycle	Machine - Taux horaire	Informations
10	Découpe brut longueur 200	2 min	Scie à ruban - 30€/h	À partir d'une barre acier S355 étiré de section 150x25
20	Perçage des trous Ø16,5 Fraisage par interpolation hélicoïdale des trous Ø16E8	4 min et 30 s	CUCN 3 axes V - 80€/h	Trous Ø16E10 : tolérance qualité 10 resserrée à 8 pour le besoin de repositionnement en ph30
30	Fraisage du profil extérieur	21 min	CUCN 3 axes V - 80€/h	Positionnement/serrage pièce sur montage spécifique

Tableau 4 : Processus 2

Informations complémentaires :

- le coût horaire indiqué pour le CUCN 3 axes V intègre l'amortissement des outils de coupe standards utilisés et déjà présents dans l'entreprise ;
- les temps indiqués prennent en compte les temps de mise en place et de déchargement pièce ;
- montage spécifique utilisé en phase 30 du Processus 2 : positionnement "Centreur-Locating" dans les trous $\varnothing 16E8$, (qualité resserrée) serrage par deux vis M16 passant dans les trous $\varnothing 16,5$. Prix de l'outillage : 400€.

Nota : ne seront pas pris en compte, pour l'évaluation comparative des deux processus, les temps de préparation machines, ceux-ci étant jugés non déterminants et le nombre de phases étant identique.

Pour le Processus 1 phase 30, il est envisagé de placer dans la machine d'électroérosion FANUC (cf. **DT13**), une barre, issue de l'opération de sciage phase 10, qui repose de part et d'autre de la table. La barre devra permettre la découpe électroérosion d'un maximum de lames dans celle-ci sans démontage et repositionnement.

QUESTION 5.1
DT13
Feuille de copie

Déterminer, pour la phase 10 du Processus 1, la taille de la barre résultant du sciage. **Justifier** la réponse.

QUESTION 5.2
DT6, DT13
Feuille de copie

À partir des documents DT6 et DT13, **déterminer** le nombre de passe(s) de découpe électroérosion nécessaire et le ou les numéros de régime permettant la réalisation d'une lame en ph30. **Justifier** la réponse.

Le périmètre extérieur de la lame est d'environ 574 mm.

Temps de cycle moyen pour la coupure automatique du fil, le déplacement des buses et le ré-enfilage automatique : 30 minutes

QUESTION 5.3
Feuille de copie

Pour le Processus 1, **déterminer** le temps de cycle global de la phase 30.

QUESTION 5.4
DT13
Feuille de copie

Pour la phase 30 du Processus 1, **déterminer** le coût du fil laiton nécessaire à la découpe d'une pièce.

QUESTION 5.5
Feuille de copie

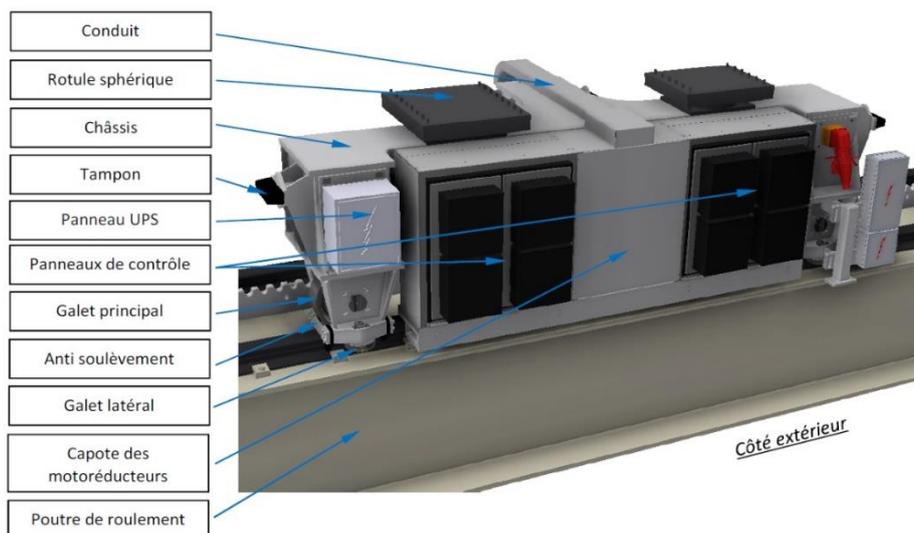
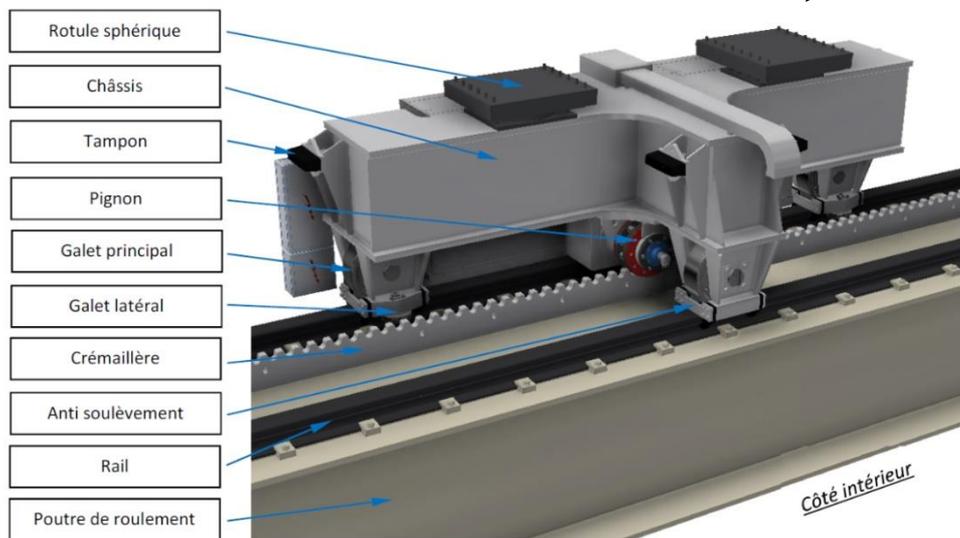
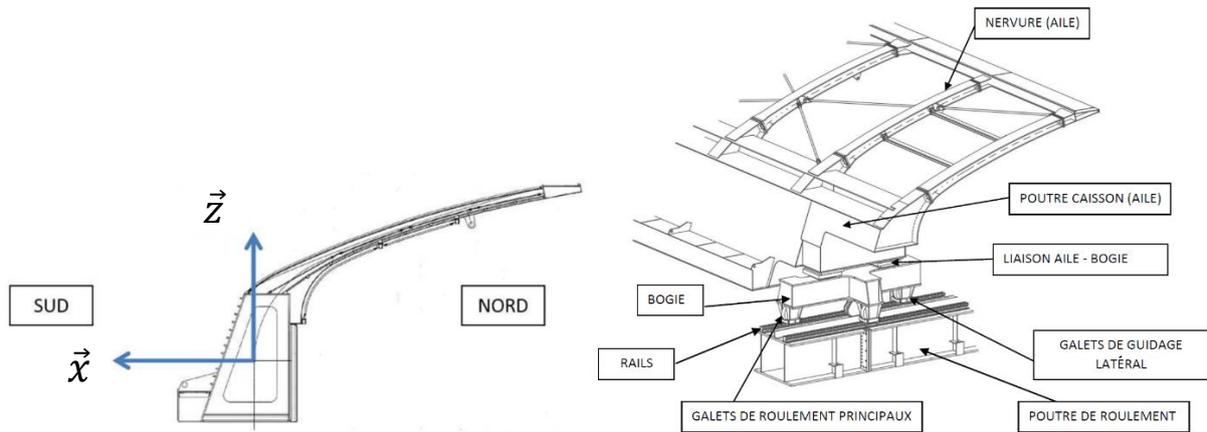
Calculer le coût de fabrication du lot de 48 pièces pour les deux processus envisagés. **Conclure**.

DOCUMENTS TECHNIQUES (DT)

Documents spécifiques relatifs au support de l'étude, données techniques

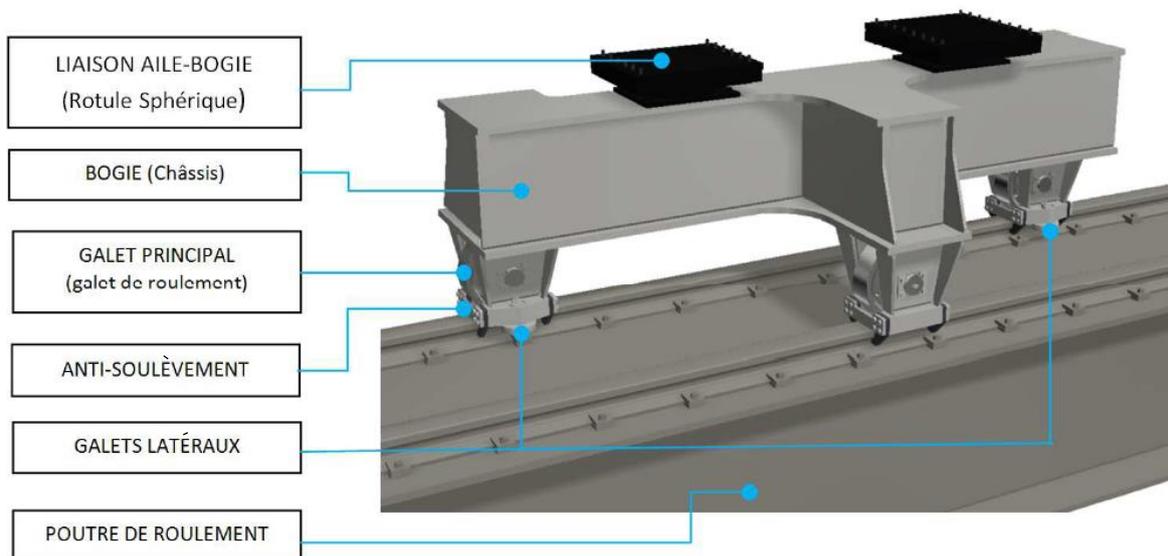
DT1	Schémas et illustrations de présentation du support	3 pages
DT2	Données pour calcul des efforts sur galets principaux	2 pages
DT3	Fiche technique acier 17-4PH	1 page
DT4	Données techniques contact galets principaux/rails	3 pages
DT5	Données techniques contact galets latéraux/rail	1 page
DT6	Dessin de définition lame anti-soulèvement	1 page
DT7	Extrait documentation technique goupilles cylindriques taraudées	1 page
DT8	Données pour étude du déplacement angulaire lame anti- soulèvement	1 page
DT9	Données pour étude d'interférence lame anti-soulèvement/rail	2 pages
DT10	Corrosion des aciers et corrosivité des atmosphères	1 page
DT11	Données sur la galvanisation à chaud des aciers	1 page
DT12	Nuances d'acier S355	1 page
DT13	Données électroérosion	1 page

DT1 1/3 - Schémas et illustrations de présentation du support

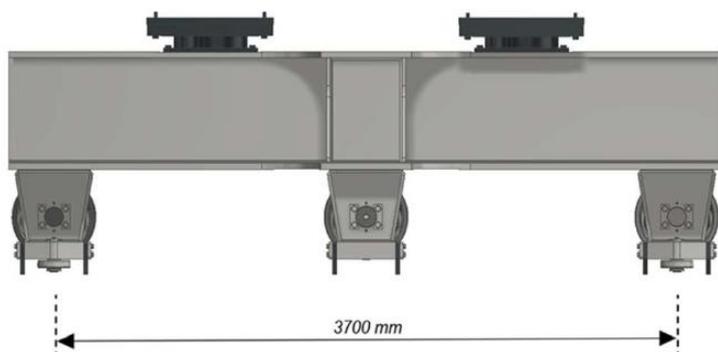


DT1 2/3 - Schémas et illustrations de présentation du support

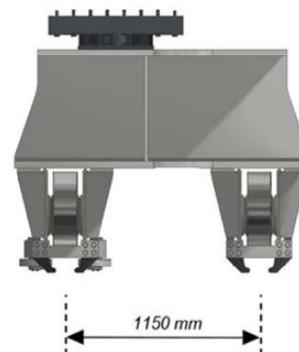
Sur la représentation ci-après sont précisés les composants du **bogie hors pignons**, moteurs et crémaillère.



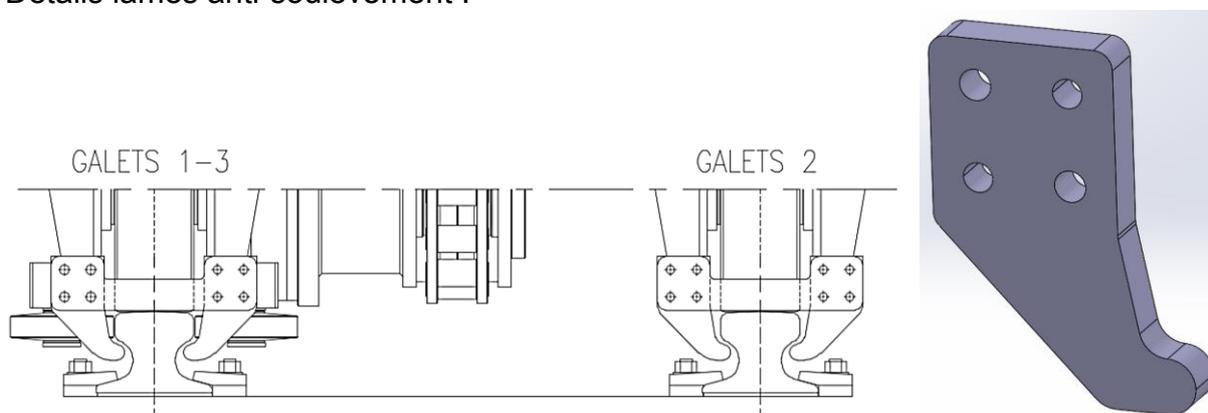
Vue latérale



Vue frontale

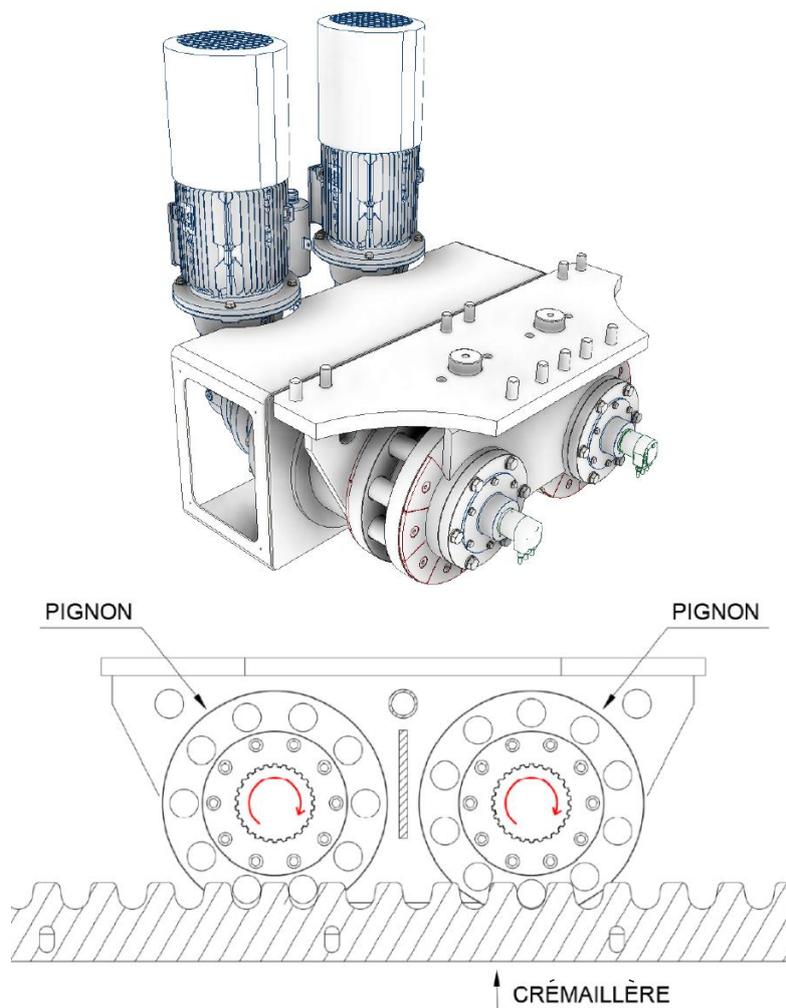
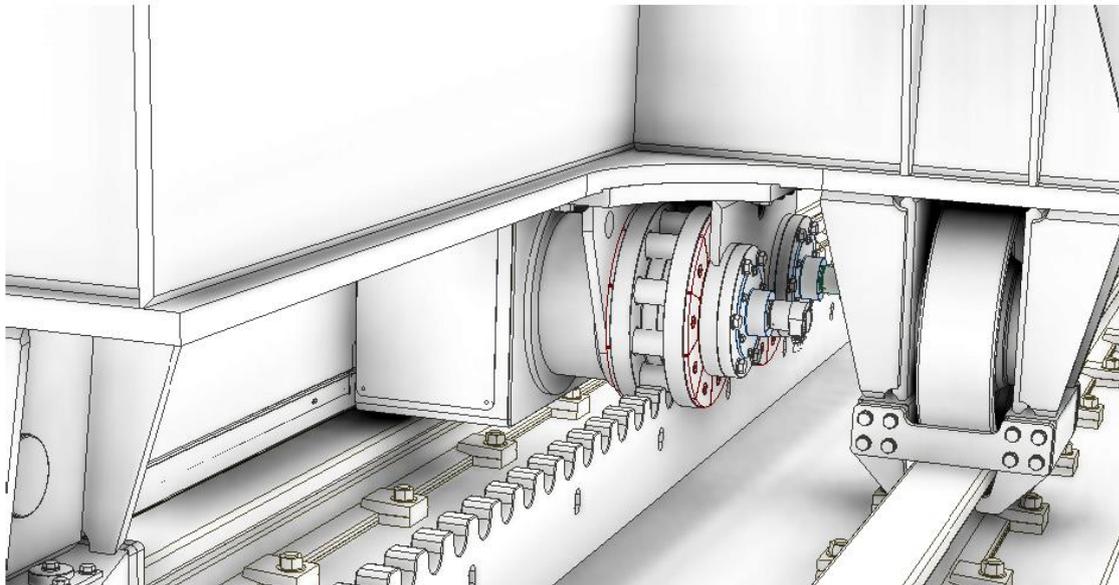


Détails lames anti-soulèvement :



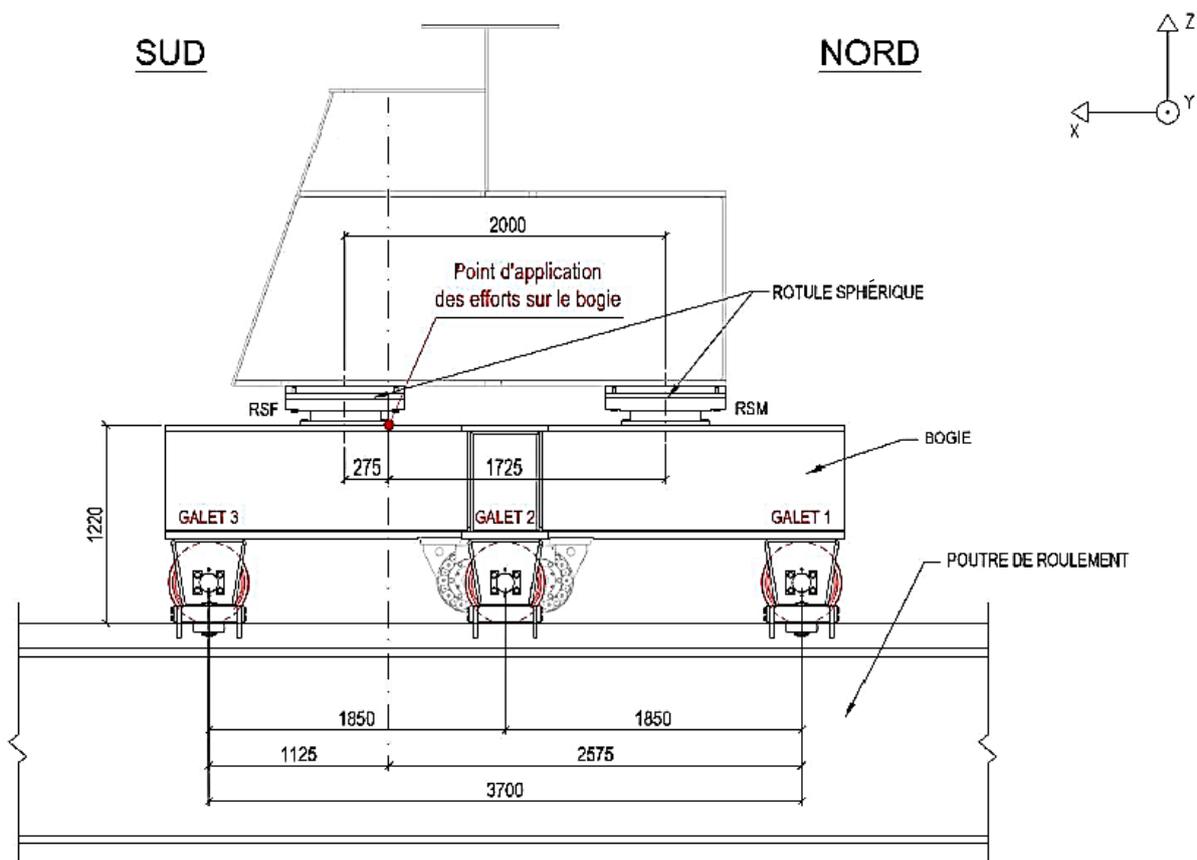
DT1 3/3 - Schémas et illustrations de présentation du support

Chaque bogie translate sur 2 rails à l'aide de 2 moteurs entrainant chacun un pignon en prise sur une unique crémaillère comme représenté ci-après.

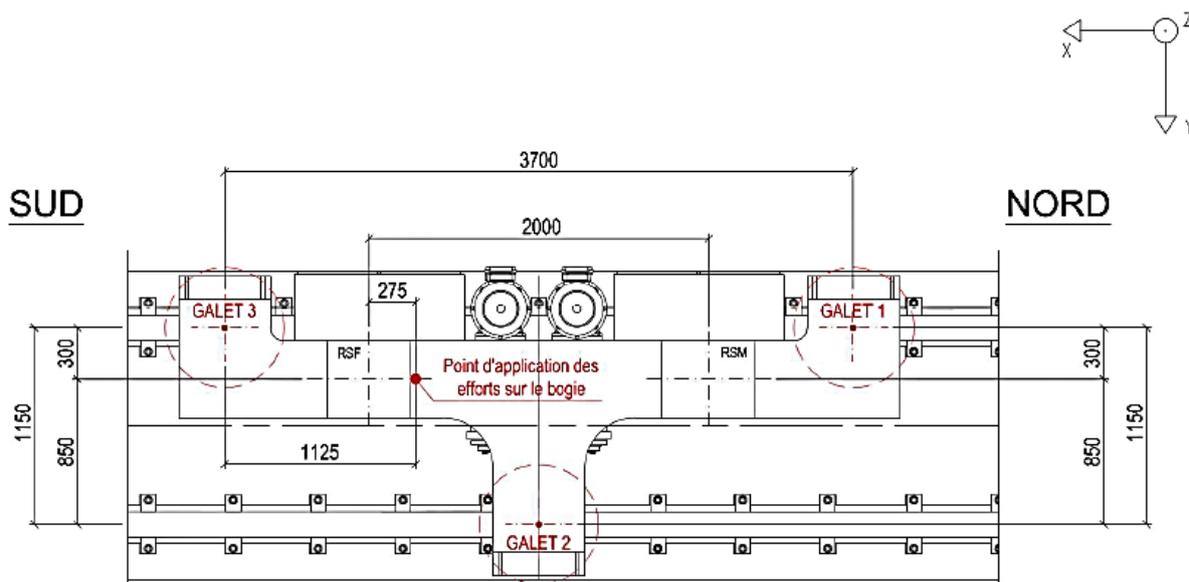


DT2 1/2 Données pour calcul des efforts sur galets principaux

VUE DU BOGIE DANS LE PLAN XZ

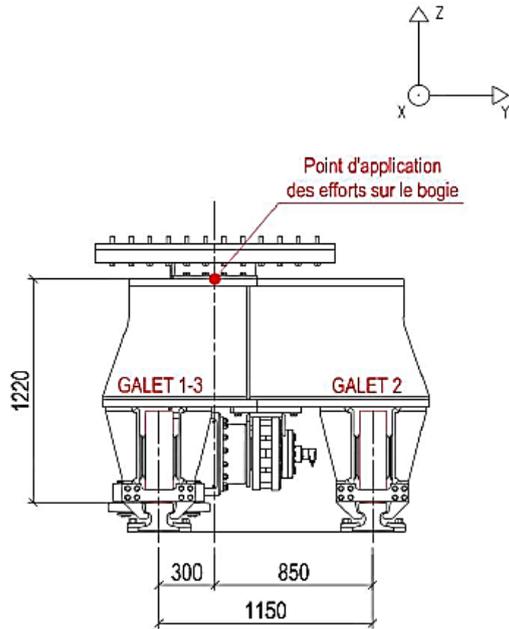


VUE DU BOGIE DANS LE PLAN XY

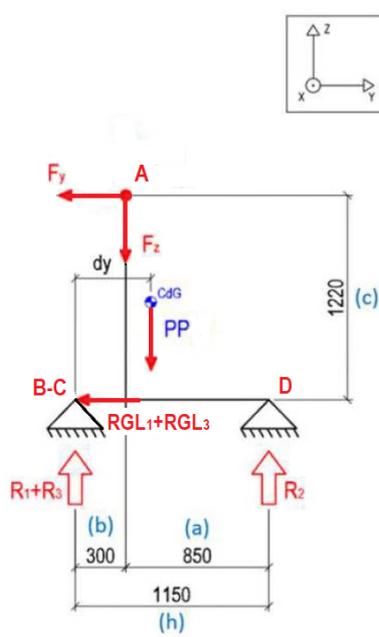


DT2 2/2 - Données pour calcul des efforts sur galets principaux

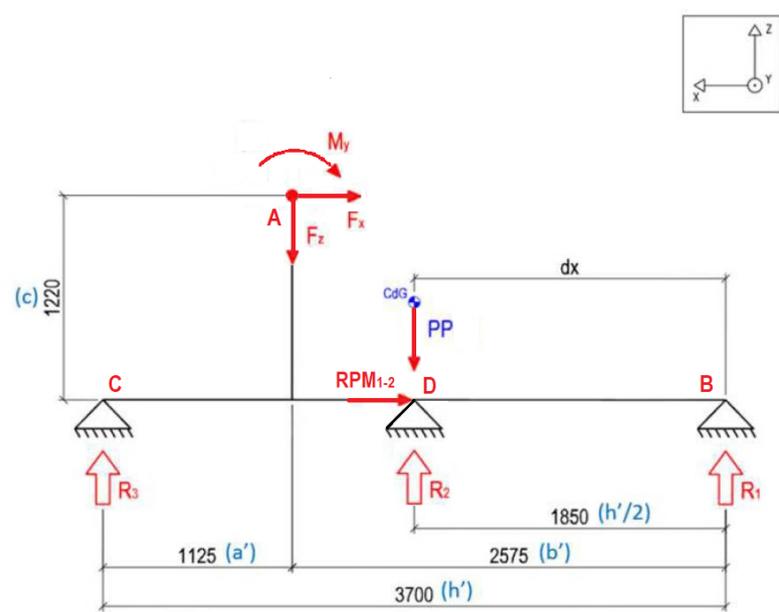
VUE DU BOGIE DANS LE PLAN YZ



PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUES		
a	0,850	m
b	0,300	m
h	1,150	m
a'	1,125	m
b'	2,575	m
h'	3,700	m
c	1,220	m
dx	1,850	m
dy	0,358	m



CdG : Centre de Gravité du bogie



CdG : Centre de Gravité du bogie

DT3 Fiche technique acier 17-4PH

1.4542 - X5CrNiCuNb 16.04 - 17-4PH - 630

EN / DIN / W.Nr	AISI		UNS	AFNOR
Symbolique	630		S17400	Z6 GNU 17.4 Z7 GNU 16.4
Numérique	1.4542			

ANALYSE CHIMIQUE en%	C	Si	Mn	P	S (*)	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Autres
(EN 10088 - EN10250-4)	≤ 0,07	≤ 0,70	≤ 1,50	≤ 0,040	≤ 0,015	15,0 - 17,0	3,0 - 5,0	≤ 0,60	5xC ≤ 0,45	3,0 - 5,0	-

(*) une teneur en soufre contrôlée comprise entre 0,015% et 0,030% est autorisée dans la norme (usinabilité améliorée)

PROPRIETES ET DOMAINES D'APPLICATION

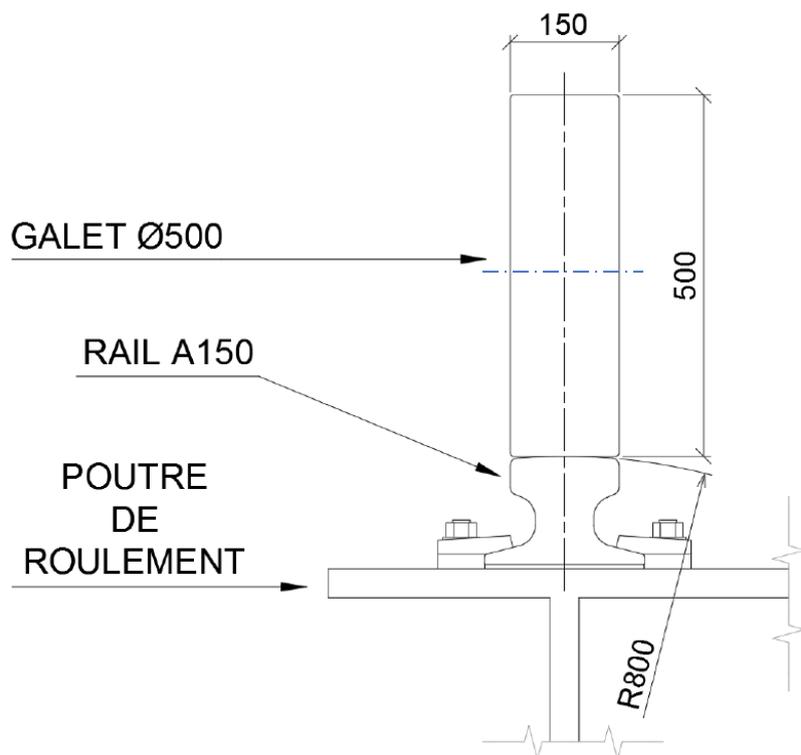
Acier martensitique à durcissement structural par le cuivre.

Cet acier présente la particularité d'une tenue à la corrosion comparable à un inox austénitique type 1.4301 / AISI 304, tout en combinant des caractéristiques mécaniques élevées y compris pour les fortes dimensions (possibilité de résistance à la rupture >1310 Mpa). Ses performances en fonction de son état métallurgique, lui permettent de répondre aussi bien à des exigences de résistance mécanique élevées qu'à des applications nécessitant une bonne résilience.

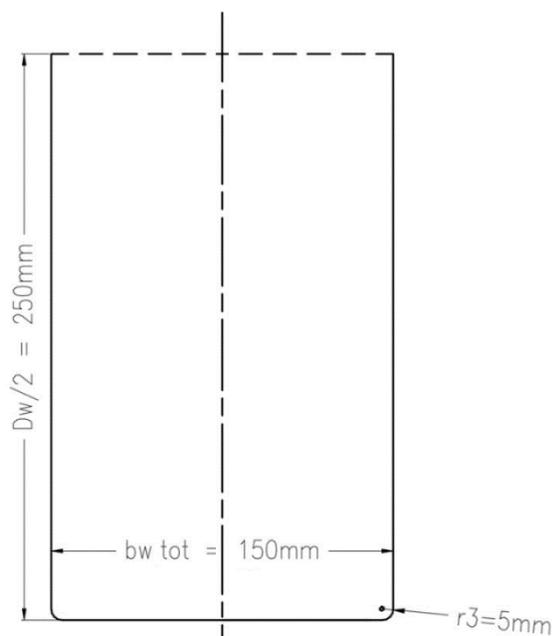
On l'utilise entre autres en robinetterie, industrie du pétrole, agro-alimentaire, nucléaire, automobile, mécanique générale, instrumentation médicale, marine...

ÉTAT MÉTALLURGIQUE	Codification		Caractéristiques mécaniques garanties									
	Normes	Conditions	Traitement thermique appliqué	Rm (Mpa)	Rp 0,2% (Mpa)	A %	Z %	KV (J) min.. à 20°C	HRC	HB		
Mis en solution	EN 10088-3	+AT	Trempe 1030/1050°C	≤ 1200	-	-	-	-	-	≤ 360		
	ASTM A564	Cond. A		-	-	-	-	-	≤ 38	≤ 363		
Durci	ASTM A564	H900 / A1	Trempe 1030/1050° C Refr Air ou Huile+ durcissement 1 h 480°C / Refr Air	≥ 1310	≥ 1170	≥ 10	≥ 40	-	≥ 40	≥ 388		
		H925 / A2	Trempe 1030/1050° C Refr Air ou Huile + durcissement 4 h 495°C / Refr Air	≥ 1170	≥ 1070	≥ 10	≥ 44	≥ 7	≥ 38	≥ 375		
	EN 10088-3	+P1070 / A3	Trempe 1030/1050°C Refr Air ou Huile + Revenu 4 h 550°C / Refr Air	1070/1270	≥ 1000	≥ 10	-	-	-	≥ 331		
	ASTM A564	H1025 / A3		≥ 1070	≥ 1000	≥ 12	≥ 45	≥ 20	≥ 35	≥ 331		
Adouci	ASTM A564	H1075 / A4	Trempe 1030/1050°C Refr Air ou Huile + Revenu 4 h 580°C / Refr Air	≥ 1000	≥ 860	≥ 13	≥ 45	≥ 27	≥ 32	≥ 311		
		+P960 / A5	Trempe 1030/1050°C Refr Air ou Huile	960/1160	≥ 790	≥ 12	-	-	-	-		
	EN 10088-3	H1100 / A5	+ Revenu 4 h 590°C / Refr Air	≥ 965	≥ 795	≥ 14	≥ 45	≥ 34	≥ 31	≥ 302		
	ASTM A564	+P930 / A6	Trempe 1030/1050°C Refr Air ou Huile	930/1100	≥ 720	≥ 16	-	≥ 40	-	-		
	EN 10088-3	H1150 / A6	+ Revenu 4 h 620°C / Refr Air	≥ 930	≥ 725	≥ 16	≥ 50	≥ 41	≥ 28	≥ 277		
	ASTM A564	+P800 / A7	Trempe 1030/1050°C Refr Air ou Huile	800/950	≥ 520	≥ 18	-	≥ 75	-	-		
	EN 10088-3	H1150M / A7	+ Revenu 2 h 760°C / Refr AIR + Revenu 4 h 620°C / Refr AIR	≥ 795	≥ 520	≥ 18	≥ 55	≥ 75	≥ 24	≥ 255		
	ASTM A564	H1150D / A6	Trempe 1030/1050°C / Refr Air ou Huile + Revenu 4 h 620°C / Refr AIR + Revenu 4h 620°C / Refr AIR	≥ 860	≥ 725	≥ 16	≥ 50	≥ 41	24/33	255/311		

DT4 1/3 - Données techniques contact galets principaux/rails



Géométrie galets principaux

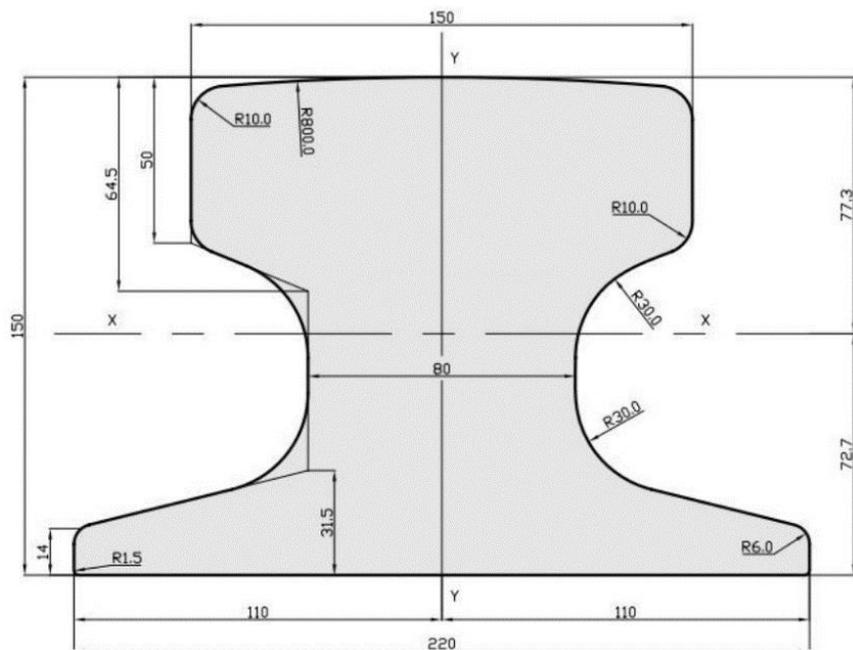


DT4 2/3 - Données techniques contact galets principaux/rails

Extrait de documentation technique fournisseur sur « European Crane Rails » :

« European Crane Rails have a very wide base, low center of gravity and thick web. This makes them ideal for supporting strong lateral forces. They are available in various section profiles from A45 to A150. The number refers to the width of the head in millimeters. Thus an A150 crane rail has a head width of 150 millimeters. These crane rails are manufactured in accordance with European technical specification DIN 536 and are available in three grades. The standard grade, S700, is the one most commonly ordered, but two higher grades are also available. The strength and hardness of the S1100 grade is achieved by using a chrome-vanadium alloy steel. »

Géométrie rail A150 :



Propriétés mécaniques des aciers standards disponibles pour le rail A150 :

Standard grades	Rm mini (N/mm ²)	Re mini (N/mm ²)	Elongation 5d mini (%)	HB mini on section
S700	690	355	12	200
S900	880	440	8	260
S1100 (110 Cr-V)	1080	640	7	320

DT4 3/3 - Données techniques contact galets principaux/rails

Conformément à la norme NF EN 13001-3-3, la résistance statique pour le contact galet principal/rail est vérifiée si l'expression suivante est vraie :

$$F_{Sd,s} \leq \text{Min} [F_{Rd,s \text{ galet}} ; F_{Rd,s \text{ rail}}]$$

Où :

- $F_{Sd,s}$ est la force de contact de calcul

- $F_{Rd,s}$ est la force limite de contact de calcul statique (pour matériaux non-durcis en surface)

Formule applicable pour le cas de charge qui sera retenu :

$$F_{Rd,s} = \frac{(7 \cdot HB)^2 \cdot (\pi \cdot D_w \cdot b \cdot (1 - \nu^2)) \cdot f_1 \cdot f_2}{\gamma_m \cdot E_m}$$

Avec :

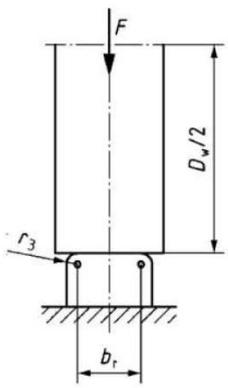
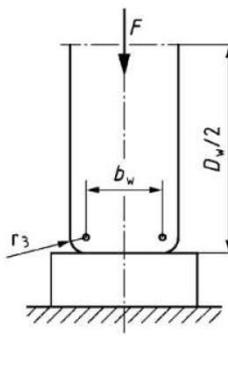
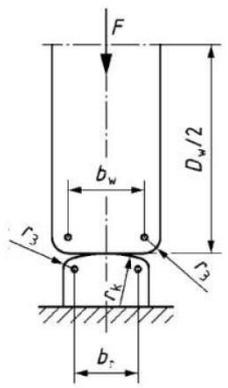
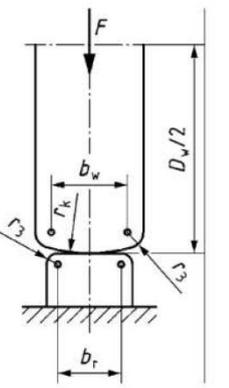
- D_w en mm
- b en mm
- E_m en MPa

Cas de charge n°1

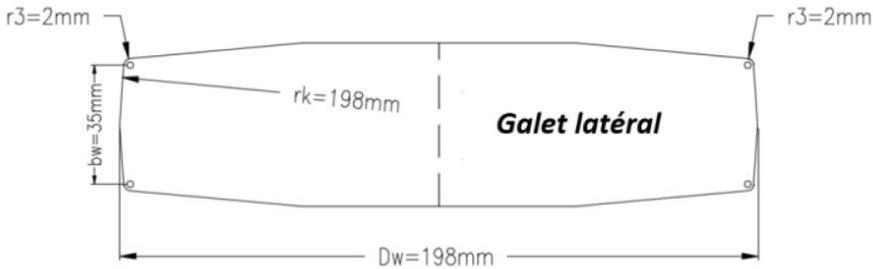
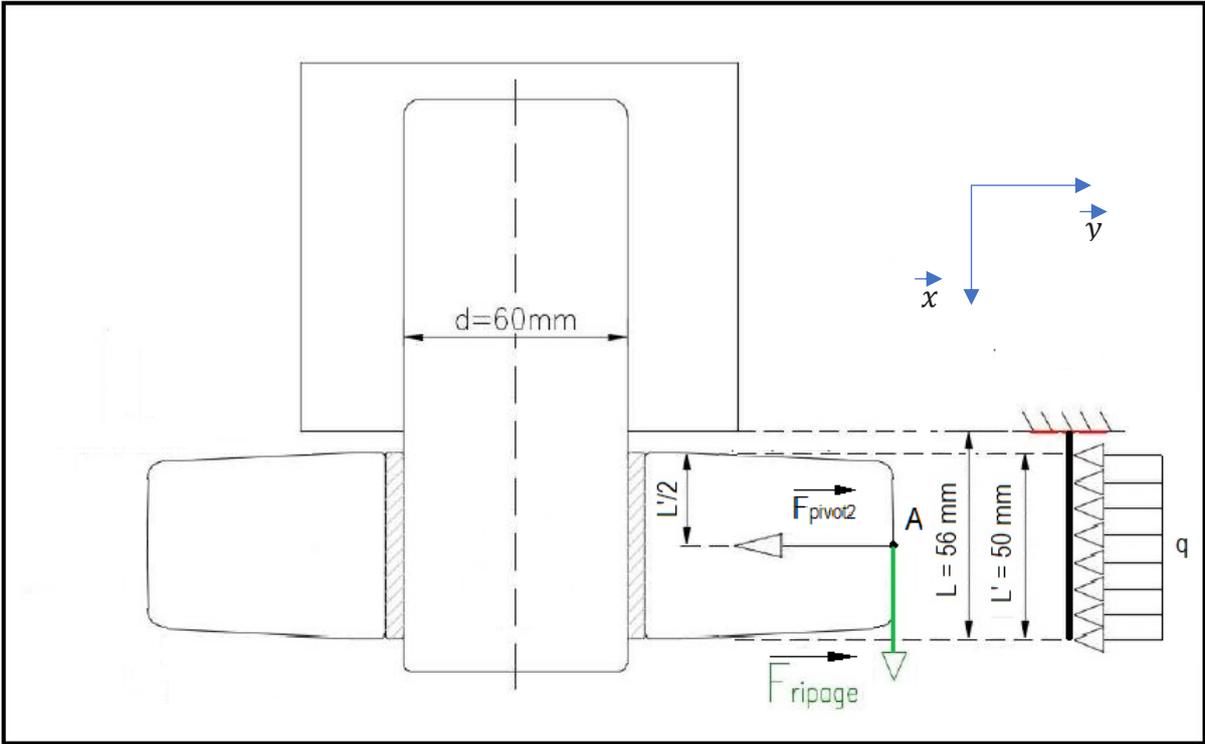
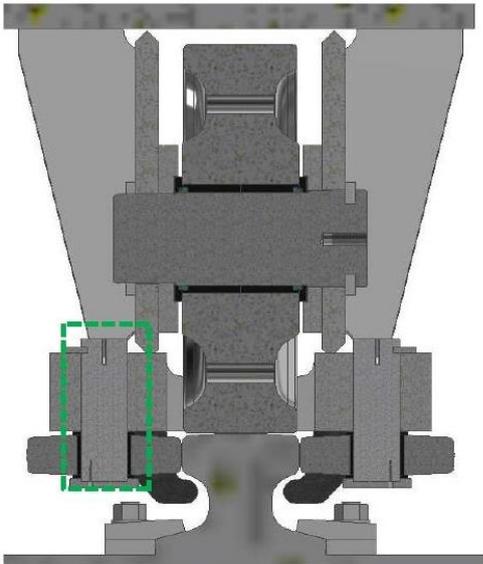
Cas de charge n°2

Cas de charge n°3

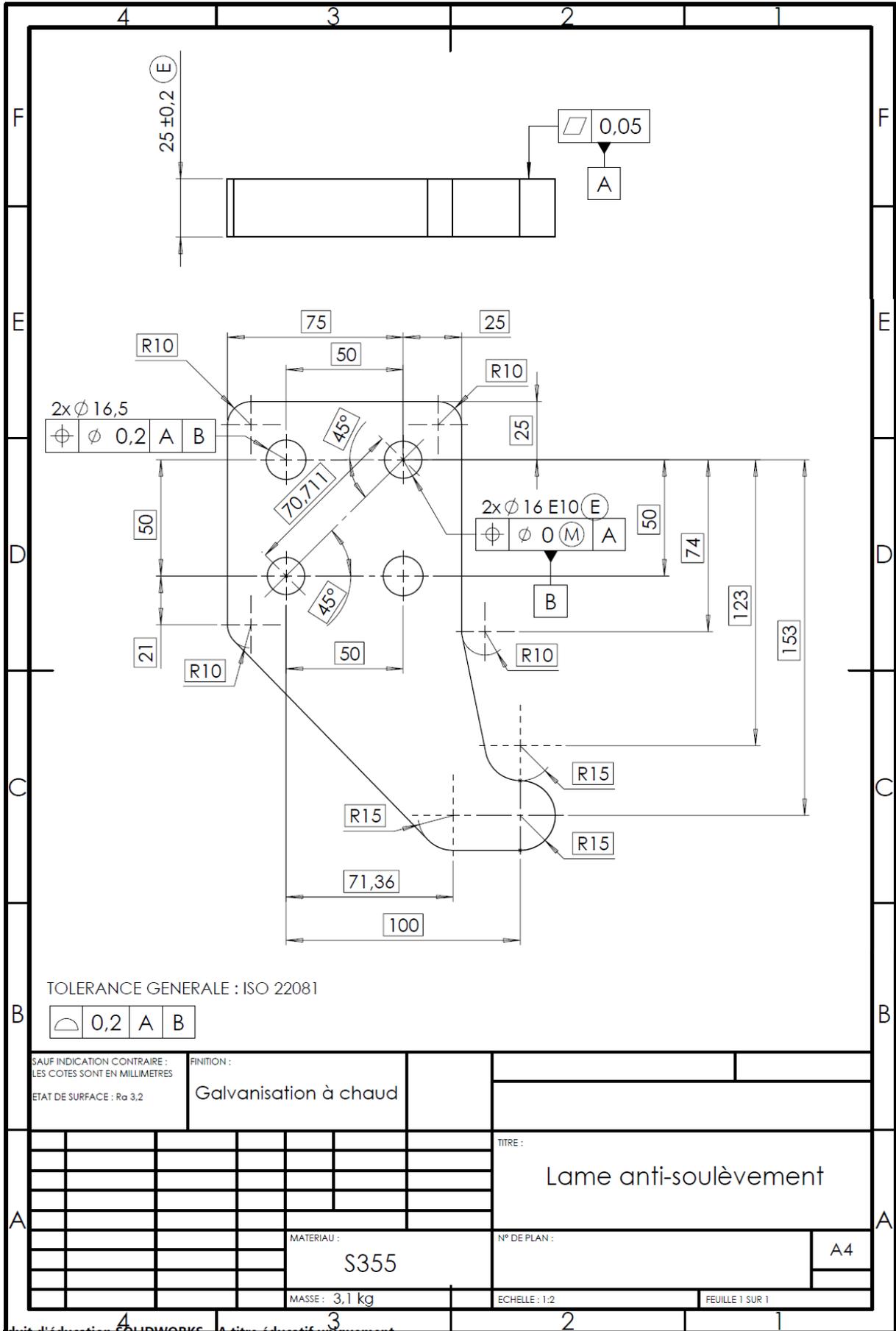
Cas de charge n°4

			
<p>a) Contact linéaire</p>		<p>b) Contact ponctuel</p>	
		<p>Les contacts ponctuels pour lesquels $r_k \leq 5 \times \min [b_r ; b_w]$ sont hors du Domaine d'application de la présente norme. Pour les cas pour lesquels $r_k > 200 \times \min [b_r ; b_w]$, les prescriptions indiquées pour le contact linéaire doivent s'appliquer.</p>	
<p>Les largeurs de contact réelles (b_w, b_r) sont déterminées en déduisant de la largeur du matériau du galet/rail, l'effet du rayon d'arrondi égal à $2 \times r_3$.</p>			

DT5 Données techniques contact galets latéraux/rail



DT6 Dessin de définition lame anti-soulèvement



DT7 Extrait doc technique goupilles cylindriques taraudées

03325 Goupille cylindrique taraudée DIN EN ISO 8735



Description de l'article/illustrations du produit



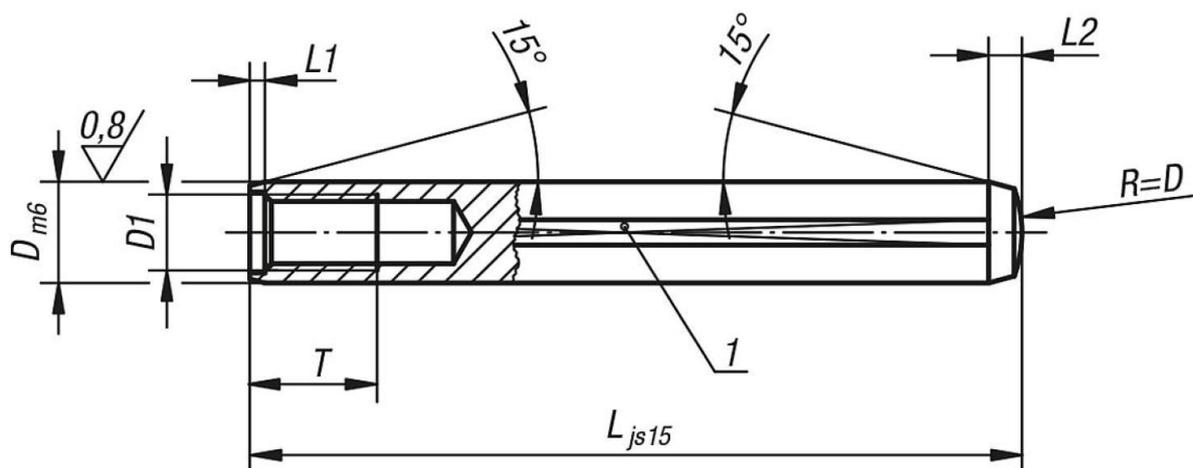
Description

Matière :
Acier à outils 1.2067.

Finition :
Trempe, dureté 60 ±2 HRC et rectifié.

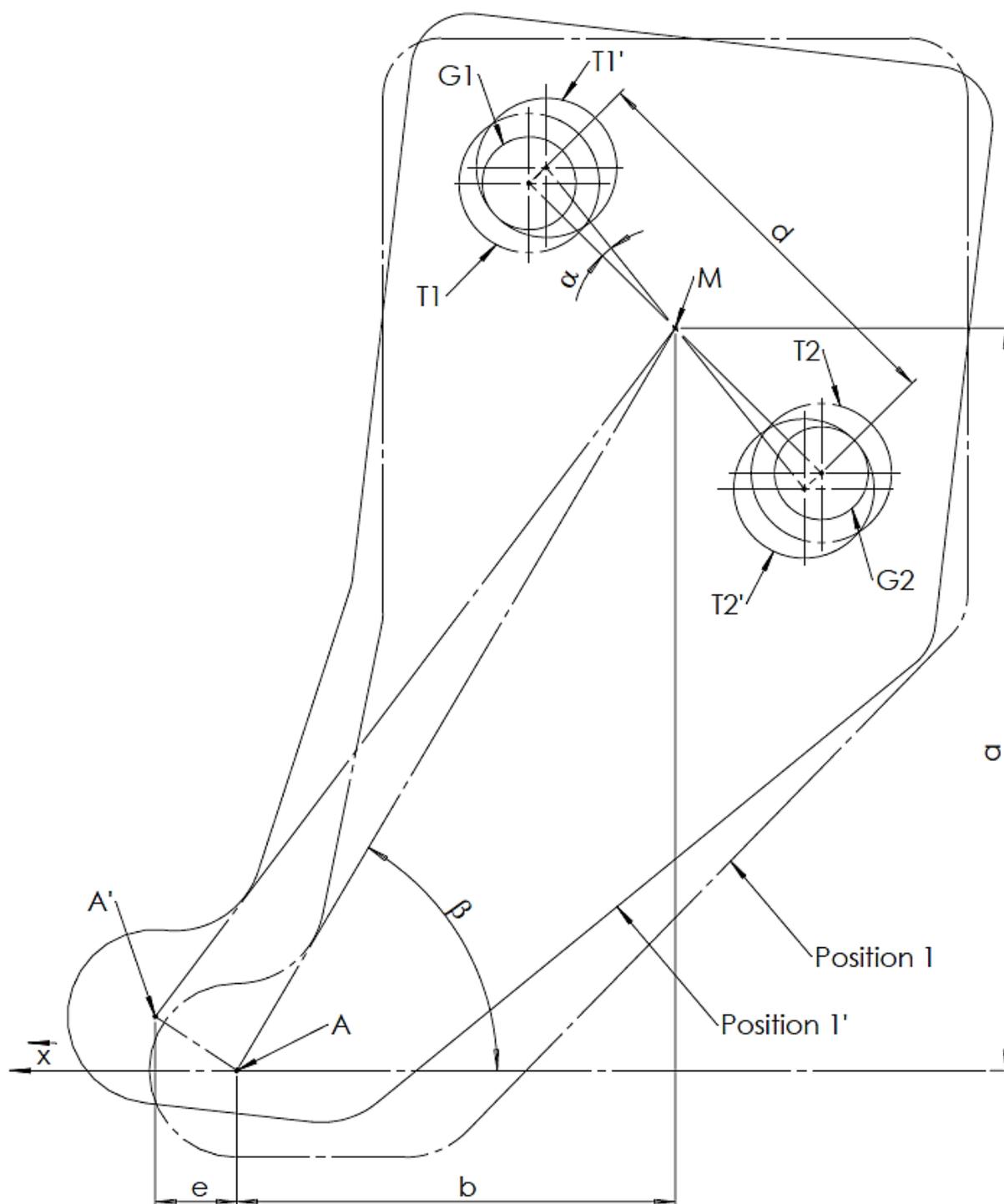
Nota :
Les goupilles cylindriques taraudées sont essentiellement utilisées dans les trous borgnes. Le méplat meulé empêche toute compression de l'air dans ces trous borgnes. Le taraudage permet d'utiliser l'extracteur 03328.

Indication de dessin :
1) Méplat d'aération



Référence	D	L	D1	T	L1 env.	L2 env.
03325-05X	5	16/20/24/28/32/36/40/45	M3	6	0,6	1,7
03325-06X	6	16/18/20/24/28/32/36/40/45/50/55/60	M4	6	0,8	2,1
03325-08X	8	20/24/28/32/36/40/45/50/55/60/70/80/90/100	M5	8	1	2,6
03325-10X	10	20/24/28/32/36/40/45/50/55/60/70/80/90/100	M6	10	1,2	3
03325-12X	12	32/36/40/45/50/55/60/70/80/90/100/120	M6	10	1,6	3,8
03325-14X	14	32/36/40/45/50/55/60/70/80/90/100/120	M8	12	1,8	4
03325-16X	16	40/45/50/55/60/70/80/90/100/120	M8	12	2	4,7
03325-20X	20	45/50/55/60/70/80/90/100/120	M10	16	2,5	6

DT8 Données pour étude du déplacement angulaire lame anti-soulèvement

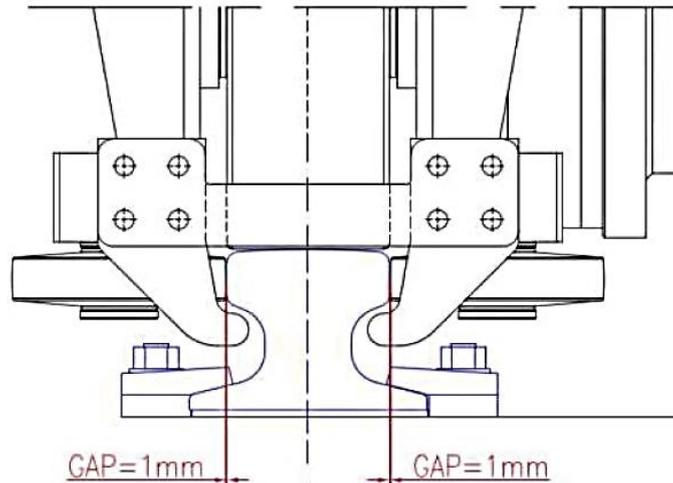


- M** : point milieu de la liaison formée par les 2 goupilles de positionnement **G1** et **G2**
T1, T2 : trous lisses $\varnothing 16E10$ de la patte anti-soulèvement
Position 1 : position de la patte avec trous lisses coaxiaux avec goupilles **G1** et **G2**
Position 1' : position extrême de la patte en considérant une rotation d'angle α autour de **M**
A : point de centre de la forme basse R15 de la lame (cf. **DT6**)
e : déplacement maximal possible de **A** (\rightarrow **A'**), en projection sur \vec{x}

DT9 1/2 - Données pour étude d'interférence lame anti-soulèvement/rail

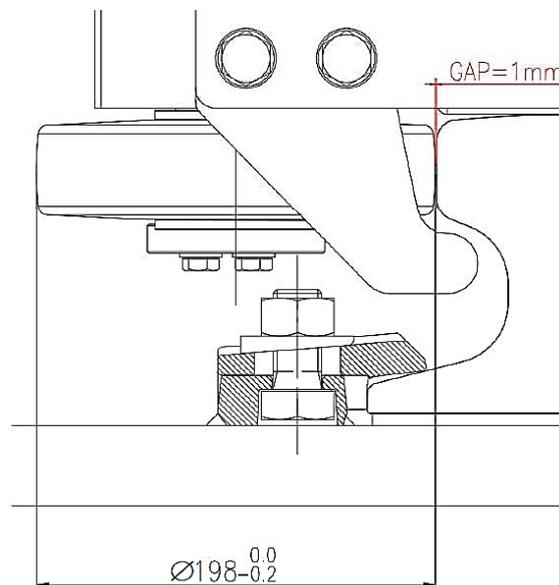
- JEU GALET LATÉRAL / RAIL

Par conception et avec tous les éléments à leur cote moyenne, la distance (GAP) entre les galets latéraux et le rail est prévue être égale à 1mm.



- TOLERANCES DE FABRICATION GALET LATÉRAL

Intervalle de tolérance de fabrication pour le diamètre du galet latéral : 0,2mm.



- TOLERANCES DE FABRICATION ET D'ASSEMBLAGE DES ELEMENTS DU BOGIE

Tolérances de fabrication et d'assemblage des éléments du bogie : ± 1 mm

- TOLERANCES DE FABRICATION ET D'ASSEMBLAGE DES LAMES ANTI-SOULEVEMENT

Cf. DT6 et réponse apportée à la **question 3.4**

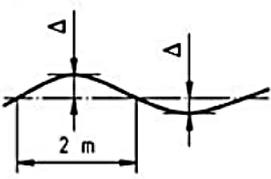
DT9 2/2 - Données pour étude d'interférence lame anti-soulèvement/rail

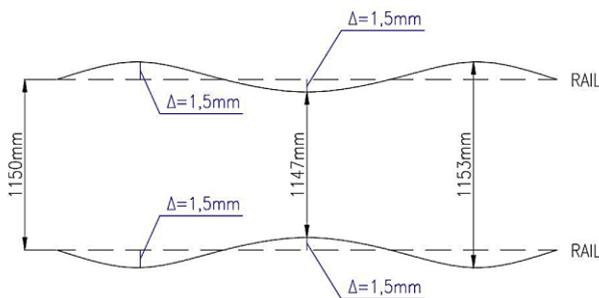
- TOLERANCES DE FABRICATION DU PROFIL DU RAIL ET DE MONTAGE DU RAIL

La tolérance de positionnement et de fabrication du rail est conforme aux indications données par la norme NF EN 1090-2.

La tolérance de fabrication pour le profil du rail : $\pm 1\text{mm}$.

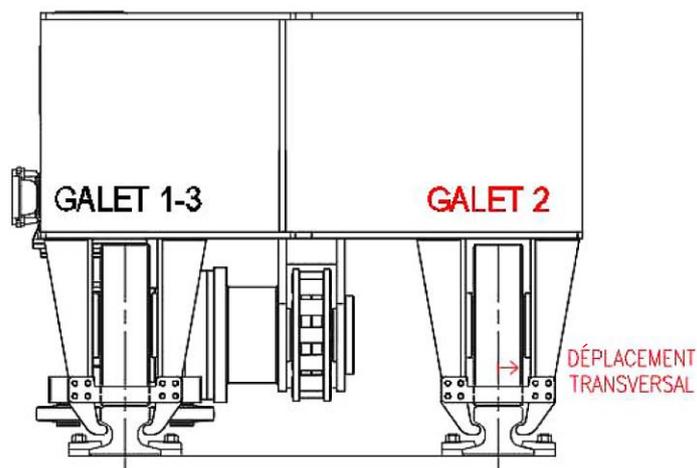
Écart maximal dû au montage : $\pm 1,5\text{mm}$.

N°	Critère	Paramètre	Écart autorisé Δ	
			Classe 1	Classe 2
4	Alignement local du rail : 	Alignement sur la longueur de référence de 2 m	$\Delta = \pm 1,5 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 1 \text{ mm}$



- DEPLACEMENT LATERAL DU GALET PRINCIPAL N°2

Du fait des efforts appliqués sur le bogie, le déplacement transversal du galet principal n°2 est déterminé, par simulation numérique, être de 1,5mm maximal par rapport à sa position de base sans efforts appliqués.



DT10 Corrosion des aciers et corrosivité des atmosphères

L'acier réagit avec des composants de l'atmosphère pour former des liaisons thermodynamiques stables, à savoir des oxydes et/ou sels de fer. La faculté de l'acier à revenir à l'état naturel ou initial est appelée corrosion.

L'aptitude de l'acier à conserver une résistance physique et mécanique diminue si la corrosion provoque des réductions de sections préjudiciables à la sécurité.

La durée de vie des structures dépend de la vitesse de réactions entre l'acier et son environnement. La nature et l'ampleur d'une corrosion éventuelle dépendent de la durée d'exposition à l'humidité des surfaces métalliques et du degré de pollution de l'air (SO₂, NO_x, ...).

L'influence complexe des polluants atmosphériques sur la vitesse de corrosion de l'acier de construction non protégés et du zinc a été analysée dans le cadre de plusieurs programmes de recherche européens.

Les résultats de ces travaux ont débouché sur l'élaboration de la norme ISO 9223 "Corrosion des métaux et alliages - Corrosivité des atmosphères - Classification", qui a également servi de base à l'élaboration de l'EN ISO 12944-2. Cette norme caractérise les conditions atmosphériques ambiantes sous forme de catégories de corrosivité en se fondant sur des indications de perte de masse ou d'épaisseur par unité de surface d'acier et de zinc par année d'exposition aux intempéries (cf. tableau ci-dessous).

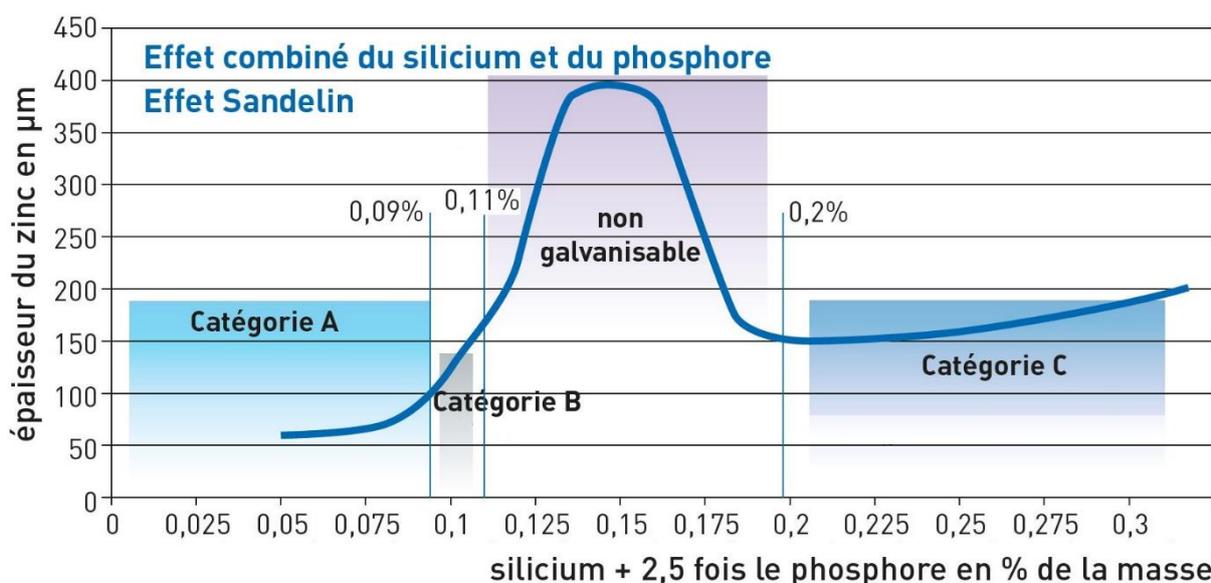
Risque de corrosion	Perte d'épaisseur de zinc /an [µm]*	Exemples d'environnements caractéristiques	
		Extérieur	Intérieur
C 1 insignifiant	≤ 0.1	–	Bâtiment isolé ; humidité relative de l'air ≤ 60 %
C 2 faible	> 0.1 – 0.7	Atmosphère faiblement polluée, climat sec, p. ex. zones rurales	Bâtiment sans isolation avec condensation d'eau passagère, p. ex. entrepôts, salles de sport
C 3 moyen	> 0.7 – 2.1	Atmosphère urbaine et industrielle ayant une faible pollution au SO ₂ ou zones côtières à faible salinité	Locaux caractérisés par une humidité relative de l'air élevée et des impuretés, p. ex. des brasseries, blanchisseries, laiteries
C 4 important	> 2.1 – 4.2	Atmosphère industrielle ou atmosphère côtière à faible salinité	Piscines, installations chimiques
C 5 très important I	> 4.2 – 8.4	Atmosphère industrielle à humidité importante et à atmosphères agressives	Bâtiments ou zones à condensation d'eau quasiment permanente et forte pollution
C 5 très important M	> 4.2 – 8.4	Zones côtières et littorales à salinité importante	

* également appelée perte de masse [g/m²]

DT11 Données sur la galvanisation à chaud des aciers

La norme NF A 35-503 classe les aciers en fonction de leur aptitude à la galvanisation à chaud. Elle définit ainsi trois catégories d'aciers dont les caractéristiques d'aptitude à la galvanisation sont dictées notamment par deux composants : le silicium et le phosphore.

La combinaison du phosphore et de silicium, dans une certaine proportion, augmente l'appétence de l'acier pour le zinc (effet Sandelin) : ce dernier va fusionner avec le zinc, créant une épaisseur importante.



Pour les aciers de la catégorie A, l'aspect sera brillant et lisse.

Pour les aciers de la catégorie B, lorsque les teneurs en Si et en P sont proches des limites, un aspect mat et marbré peut apparaître mais n'a aucune conséquence sur la performance du traitement contre la corrosion.

Pour les aciers de la catégorie C, limitée à un taux combiné d'environ 0,31, l'aspect de surface peut être mat avec un effet « peau d'orange ».

En dehors de ces catégories d'aciers, une composition différente peut provoquer des résultats non maîtrisés : écaillage, fragilité de la surface, tâches noires.

DT12 Nuances d'acier S355

Désignation commerciale	Désignation EN 10025-2 symbolique	Désignation EN 10025-2 numérique	Désignation NF A35-501	P (%)	Si (%)
S355JR EN 10025-2	S355JR		E36-2	≤0,035	≤0,55
S355JR AM FCE	S355JR		E36-2	≤0,035	≤0,50
S355JO EN 10025-2	S355JO		E36-3	≤0,030	≤0,55
S355JO AM FCE	S355JO		E36-3	≤0,025	≤0,03
S355J2 EN 10025-2	S355J2	1,0577	-	≤0,025	≤0,55
S355J2 AM FCE	S355J2		-	≤0,025	≤0,03
S355J2+N EN 10025-2	S355J2+N		E36-4	≤0,025	≤0,55
S355J2+N AM FCE	S355J2+N		E36-4	≤0,025	≤0,25
S355K2 EN 10025-2	S355K2	1,0596	-	≤0,025	≤0,55
S355K2+N EN 10025-2	S355K2+N		-	≤0,025	≤0,55
S355K2+N AM FCE	S355K2+N		-	≤0,025	0,15-0,25

L'acier S355 se décline en plusieurs nuances, en fonction, entre autres, des pourcentages de Si et de P.

En plus des nuances normalisées (norme EN 10025-2), les aciéristes proposent des nuances complémentaires d'aciers (cf. tableau ci-dessus) avec des pourcentages Si et P légèrement différents et destinées à des applications spécifiques.

DT13 Données électroérosion



Standard	
Maximum workpiece dimensions [mm]	730 x 630 x 250
Maximum workpiece weight [kg]	500
XY axis table travel [mm]	400 x 300
Z axis travel [mm]	255
UV axis travel [mm]	± 60 x ± 60
Maximum taper angle [°/mm]	±30/80
Minimum step increment of the drives [mm]	0,0001
Wire diameter [mm]	Ø 0.10 – Ø 0.30
Maximum wire weight [kg]	16
Machine weight (approx.) [kg]	About 2200
Controller	FANUC 31i-WB
Part program storage size [MB]	8

Caractéristiques bobine électroérosion :

Référence	36.25.350
Poids (kg)	16
Longueur fil (m)	37440
Diamètre fil (mm)	0,25
Matière fil	Laiton
Marque	Novotec
Type de bobine	K200
Résistance à la traction fil (MPa)	> 900
Prix de la bobine (€ HT)	180



Tableau des régimes de découpe pour électroérosion fil FANUC, pour acier non-allié, épaisseur 25 mm :

	1 Passe Vitesse					1 Passe Précision		2 Passes			3 Passes	4 Passes	
N° Regime	61024	61124	61224	61324	31624	61424	61524	66047	61947	61747	62210	162713	63213
Vitesse (mm/min)	4,67	4,35	3,98	3,71	3,21	3,23	2,99	3,08	2,07	2,05	1,77	2,09	1,49
Précision (±µm)	17	17	15	15	13	13	13	8	6	6	6	6	4
Rugosité (Ra)	3,12	3,12	3	3	2,75	0,2	2,75	1,76	1,52	2,35	0,94	0,58	0,58
Distance Buses	0,1	0,1	0,2	0,2	2 ECAR	0,2	0,2	0,1	0,2	2 ECAR	0,2	0,1	0,2
Vitesse défilement fil (m/min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DR1 Détermination des variations de l'effort tranchant T et tracé du diagramme :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



DR2 Détermination des variations du moment fléchissant M_f et tracé du diagramme :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



2x ∅ 16 E10 (E)

DR3 Analyse de la spécification :

∅ ∅ 0 (M) A

Entourer les réponses correctes

Type de spécification	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance et condition de conformité
Forme			Simple	
Orientation	Unique	Unique	Commune	Simple
Position	Groupe	Multiples	Systeme	Composée
Battement				
<p>2x ∅ 16 E10 (E)</p> <p>∅ ∅ 0 (M) A</p>				