

Points du programme	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>S2-2 - Comportement d'un mécanisme et/ou d'une pièce</b> : Résistance des matériaux : hypothèses et modèle poutre, types de sollicitations simples, notion de contrainte et de déformation, loi de Hooke et module d'Young, limite élastique d'une sollicitation simple.</li> </ul>	Séquence 3
Objectifs	Pré requis	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Différencier les différentes sollicitations.</li> <li>• Identifier le type de contrainte et son intensité.</li> <li>• Dimensionner une structure en fonction des caractéristiques d'un matériau.</li> <li>• Prendre en compte le coefficient de sécurité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Séquence 2 : Statique analytique.</li> </ul>	

## 1 - Introduction

La résistance des matériaux (RDM) est l'aboutissement de la mécanique. Ce domaine d'étude est très présent dans les bureaux d'études et la conception. Les systèmes qui y sont conçus doivent résister aux efforts, aux vitesses, aux chocs et à l'usure, premier critère des cahiers des charges.

Mais il ne faut pas les sur dimensionner. Le coût des matériaux et de la fabrication des pièces est important pour la rentabilité ou la compétitivité. Dans l'aéronautique ou l'automobile, la consommation en lien avec la légèreté du véhicule est importante aussi. Il faut donc trouver un juste équilibre entre solidité et économie.

La statique permet la détermination des forces extérieures à un solide indéformable. Mais, du fait qu'aucun corps n'est indéformable, la présence de forces extérieures fait naître des forces intérieures entre les particules matérielles. Il en résulte des contraintes et des déformations qui ne doivent pas devenir dangereuses.

*Le but de la RDM :*

Elle étudie les conditions d'équilibre des constructions, afin qu'elles supportent les forces auxquelles elles sont soumises dans les meilleures conditions de sécurité, d'économie et d'esthétique.

Les problèmes principaux de la RDM sont

- soit de dimensionner une pièce en fonction des efforts connus.
- soit déterminer les efforts que peut supporter la pièce en fonction de ses dimensions.

## 2 – Hypothèses

### 2.1 - Matériaux

Nous admettons que lors d'une étude de RDM, le matériau est :

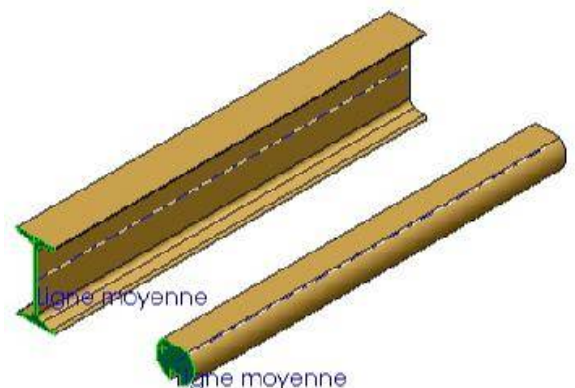
- Homogène :
- Isotrope :

### 2.2 - Disposition de la matière

Les solides étudiés sont des poutres. Une poutre est un solide engendré par la translation d'une section plane (S) dont le centre de surface G décrit une droite appelée *ligne moyenne*.

Les caractéristiques de la poutre sont :

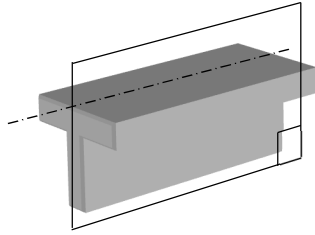
- 
- 
- 
- 



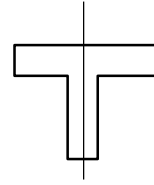
**2.3 - Efforts extérieurs appliqués à la poutre**

Les efforts sont appliqués :

Soit dans un plan de symétrie :

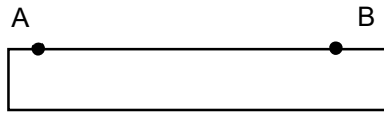


Soit symétriquement par rapport à un plan de symétrie :

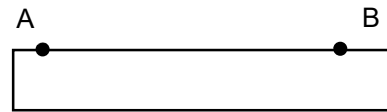


Les types d'efforts sont :

Soit une charge concentrée en un point :



Soit une charge uniformément répartie :

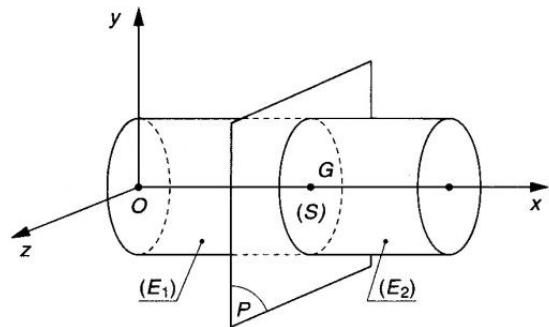


**3 - Tenseur de cohésion**

Soit une poutre (E) en équilibre sous l'action de plusieurs actions extérieures. Pour étudier ce solide déformable, il faut modéliser ce qui se passe au sein de la matière. Pour se faire, on réalise une coupure fictive de la poutre située à l'abscisse x qui la sépare en deux tronçons E1 et E2.

Les efforts de cohésion traduisent les actions de contact de (E2) sur (E1) dans la surface (S). Ces efforts de cohésion permettent à la poutre de ne pas se "disloquer" sous l'effet d'actions extérieures.

Les efforts de cohésion sont modélisables par une résultante  $\vec{R}$  (en N) et un moment résultant  $\vec{M}_G$  (en N.m) au point G. On peut les projeter de la façon suivante dans le repère (O,  $\vec{x}$ ,  $\vec{y}$ ,  $\vec{z}$ ).

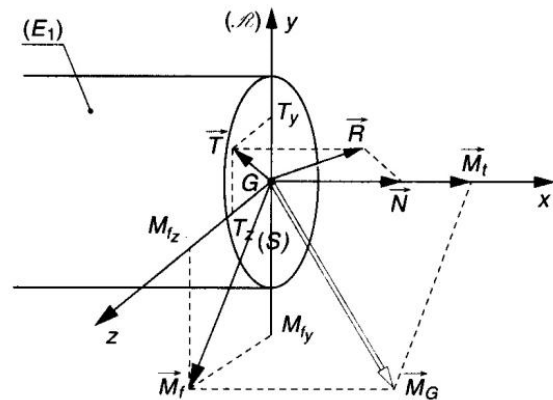


Résultante  $\vec{R}$  :

- 
- 

Moment résultant  $\vec{M}_G$  :

- 
- 



$\vec{T}$  et  $\vec{M}_f$  n'ayant pas de direction privilégiée dans ( $\vec{y}$ ,  $\vec{z}$ ), ils sont composés de leurs projections sur ces axes. Les composantes algébriques de ces vecteurs sont :

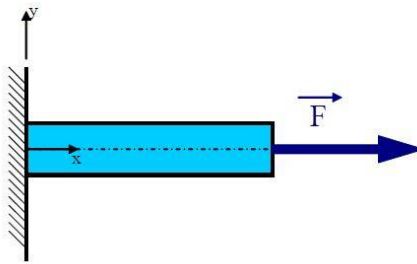
$\vec{R} \left| \right.$  et  $\vec{M}_G \left| \right.$  soit  $\{T_{COH}\}_G =$

## 4 – Sollicitations et contraintes

### 4.1 - Traction - Compression

Un corps est sollicité à la traction lorsqu'il est soumis à deux forces opposées qui tendent à l'allonger (exemple : câbles d'ascenseur).

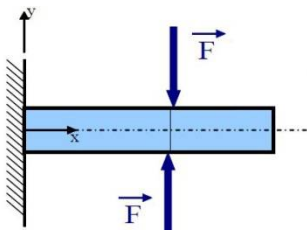
Un corps est sollicité à la compression lorsqu'il est soumis à deux forces opposées qui tendent à le raccourcir (exemples : colonnes pour un bâtiment, tige de vérin en sortie).



Torseur associé :

### 4.2 - Cisaillement

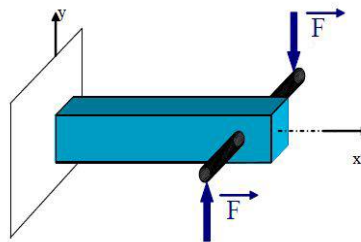
Un corps est sollicité au cisaillement lorsqu'il est soumis à deux forces opposées qui tendent à le séparer en deux tronçons glissant l'un par rapport à l'autre suivant le plan d'une section (exemples : découpage d'une tôle, poinçonnage, sollicitation sur des axes d'articulation, de goupilles ...)



Torseur associé :

### 4.3 - Torsion

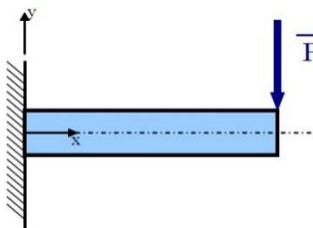
Un corps est sollicité à la torsion lorsqu'il est soumis à deux couples opposés (exemple : arbres de transmission avec l'existence des moments moteur et récepteur).



Torseur associé :

### 4.4 - Flexion plane

Un corps est sollicité à la flexion lorsqu'il est soumis à des forces coplanaires normales aux génératrices (exemples : poutre de ponts, de bâtiments, le plancher). La déformation correspondante est appelé flèche.



Torseur associé :

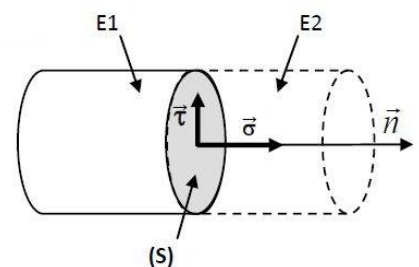
### 4.5 - Notion de contrainte

Les efforts de cohésion induisent des contraintes à l'intérieur de la pièce qui caractérisent les actions mécaniques de cohésion interne au matériau qui existent entre les grains de matière.

*Remarque :* Une contrainte est assimilable à une pression. C'est un effort par unité de surface (N/mm<sup>2</sup> ou MPa).

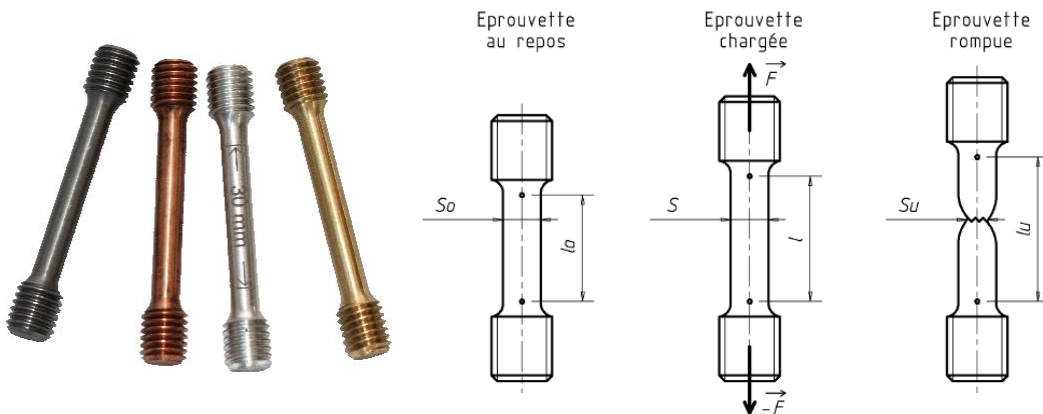
Suivant l'orientation de la contrainte par rapport à la normale de la section, on définit deux types de contraintes :

- 
- 



## 5 – Traction compression

L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette normalisée à un effort de traction progressivement croissant, jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Il permet de déterminer les caractéristiques des matériaux.



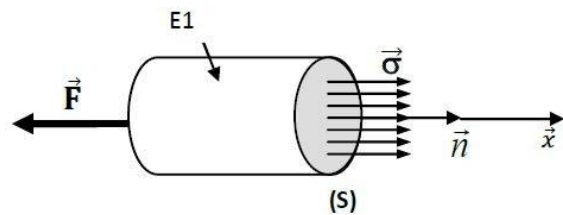
### 5.1 - Contrainte unitaire

Durant l'essai, un mécanisme enregistreur mémorise toutes les déformations de l'éprouvette et fourni en continu l'effort unitaire par unité de surface. Cet élément est appelé contrainte unitaire  $\sigma$  (sigma).

La répartition des contraintes dans la section (S) est uniforme et normale à la surface :



Avec  $F$  norme de l'effort normal  $N$ .



### 5.2 - Allongement unitaire

L'effort de traction provoque un allongement de l'éprouvette ( $\Delta l$ ). Le système enregistreur donne directement une expression de l'allongement unitaire :



Avec  $\Delta l = l_u - l_0$ , variation entre la longueur ultime et la longueur initiale.

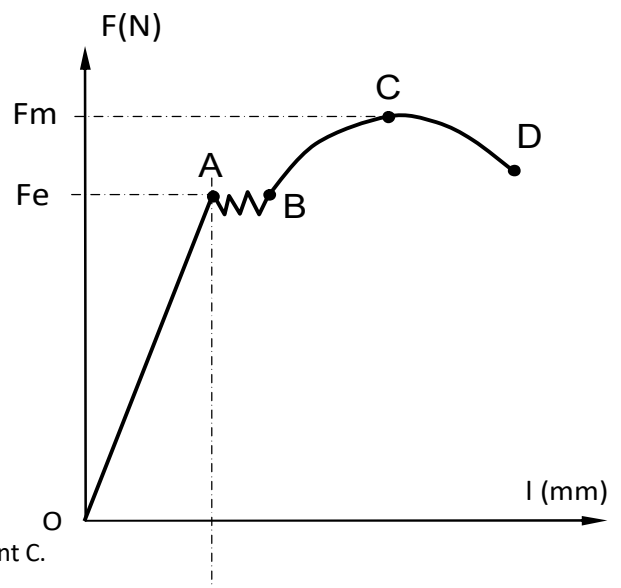
### 5.3 - Courbe obtenue

A l'issue de l'essai le système enregistreur fournit un diagramme représentant l'effort en fonction de l'allongement.

- **Portion OA** : Assimilable à une droite. C'est la zone de déformation élastique. Si le point A n'est pas dépassé, l'éprouvette reprend sa longueur initiale  $l_0$ .
- **Au-delà de A** : C'est la zone de déformation plastique, l'éprouvette reste déformée.
- **A partir du point C** : Apparition du phénomène de striction, diminution notable de la section.
- **Au point D** : c'est la rupture de l'éprouvette.

La **Limite élastique**,  $R_e$  ou  $\sigma_e$ , correspondant à l'effort au point A.

La **limite à la rupture**,  $R_m$  ou  $\sigma_m$ , correspondant à l'effort au point C.



**5.4 - Loi de Hooke**

On remarque que dans la zone élastique, il y a proportionnalité entre la contrainte et l'allongement unitaire. Cette propriété est mise en évidence par la loi de Hooke :



**E** correspond à la pente de la droite du domaine élastique. C'est le **module de Young noté E**, en Mpa, appelé aussi module d'élasticité longitudinale. Il caractérise l'aptitude du matériau à l'allongement. Plus **E** est grand plus le matériau est « raide ». Plus **E** est petit plus le matériau est « souple ».

Quelques valeurs du module de Young :

- Aluminium : 70 000 MPa
- Fontes : 100 000 MPa
- Aciers : 200 000 MPa
- Tungstène : 400 000 Mpa

**5.5 - Expression de la déformation élastique**

L'utilisation des définitions de la contrainte et de l'allongement unitaire dans la loi de Hooke permet d'exprimer directement la déformation fonction de  $F$ ,  $S_0$ ,  $l_0$  et  $E$  connus dans les cas pratiques :

soit



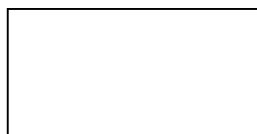
**5.6 - Condition de résistance**

Pour qu'une pièce résiste aux efforts de traction sans subir de déformation permanente il faut que la contrainte unitaire ne dépasse pas la limite élastique **Re** du matériau.

Pour des raisons de sécurité et compte tenu des hypothèses faites, la contrainte doit rester inférieure à une valeur limite appelée **contrainte pratique à l'extension Rpe**. On considère que c'est la contrainte maximale admissible.

Pour qu'il y ait résistance, il faut donc que \_\_\_\_\_

Avec **Rpe** définie fonction d'un coefficient de sécurité, noté  $cs$  :



- $cs = 1,5$  à  $3$  pour des structures courantes.
- $cs = 8$  à  $10$  pour des structures présentant un danger pour l'homme et son environnement.

Pour déterminer le coefficient de sécurité dans un cas pratique,  $\sigma$  est alors égal à **Rpe**. La relation précédente se présente donc sous la forme :

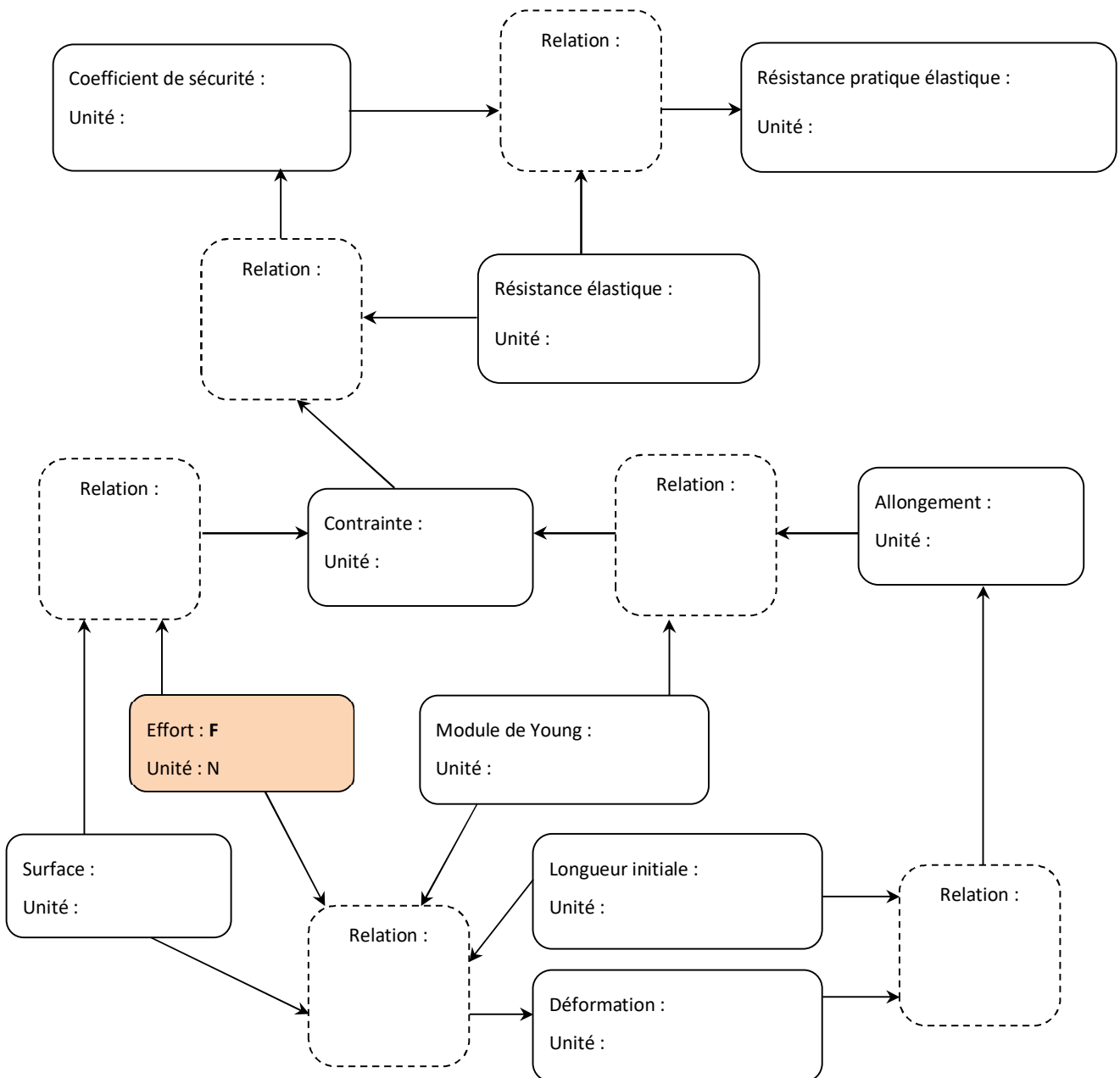


## Applications

### Exercice 1 - Synthèse

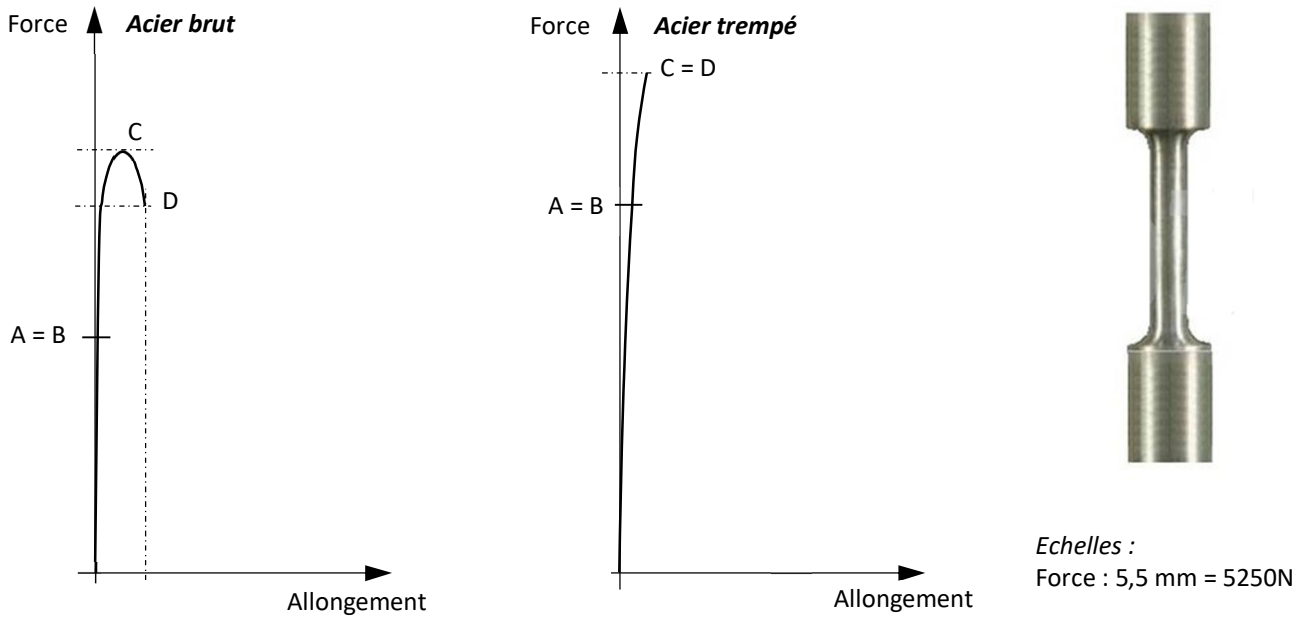
**Question 1.1** - Compléter les cadres en traits continus ci-dessous avec la notation usuelle des grandeurs physiques et leurs unités.

**Question 1.2** - Compléter les cadres en pointillés avec les relations qui existent entre ces différentes grandeurs physiques.



**Exercice 2 - Traitement à la trempe**

Les deux figures ci-dessous représentent l'enregistrement de l'essai de traction sur une éprouvette en acier. Le diagramme de gauche est l'essai de ce matériau à l'état brut et le diagramme de droite ce même matériau trempé à une température de 850°.



L'éprouvette possède un diamètre de 10 mm et la longueur initiale est de 50 mm. Après la rupture, l'allongement mesuré est de 56 mm pour l'éprouvette brute et de 52 mm pour celle qui a été trempée.

Pour les deux cas, déterminer :

Eprouvette acier brut	Eprouvette acier trempé
-----------------------	-------------------------

**Question 2.1** - A partir du diagramme, l'effort d'extension maximum et en déduire **Rm**.

Fm		Fm	
Rm		Rm	

**Question 2.2** - A partir du diagramme, l'effort d'extension correspondant à la limite élastique et en déduire **Re**.

Fe		Fe	
Re		Re	

**Question 2.3** - L'allongement unitaire du matériau.

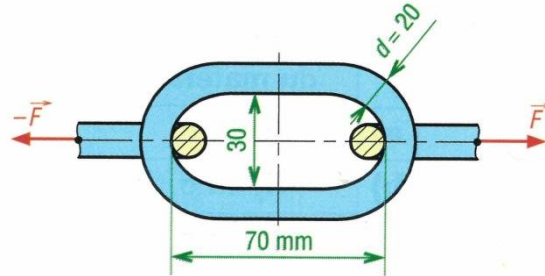
ε		ε	
---	--	---	--

**Question 2.4** - Conclure quant à l'intérêt d'un traitement par la trempe.

**Exercice 3**

Une chaîne se compose d'une suite de maillons soudés les uns derrière les autres. La limite à la rupture de l'acier utilisé est de 63 daN/mm<sup>2</sup>.

**Question 3.1** - Déterminer la force d'extension maximale  $\vec{F}$  que peut supporter la chaîne si le coefficient de sécurité adopté est de 5.



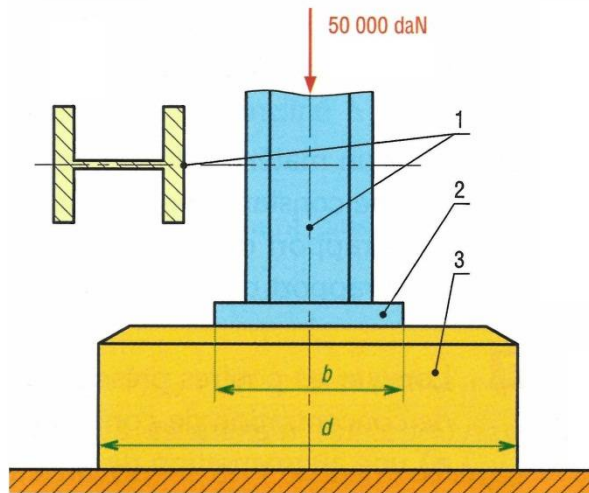
**Exercice 4**

Une poutre en H, repérée 1 sur la figure, supporte un effort de compression de 50 000 daN. La poutre est soudée sur un plat carré en acier de côté  $b$  repéré 2. L'ensemble repose sur un support circulaire 3 en béton de diamètre  $d$  posé à même le sol.

**Question 4.1** - Calculer la section de la poutre H si la contrainte admissible de l'acier est de 10 daN/mm<sup>2</sup>.

**Question 4.2** - Déterminer le côté  $b$  du carré 2 si la contrainte admissible en compression du béton est de 0,4 daN/mm<sup>2</sup>.

**Question 4.3** - Calculer le diamètre  $d$  du socle 3 si la contrainte admissible à l'écrasement du sol est de 2,5 daN/cm<sup>2</sup>.

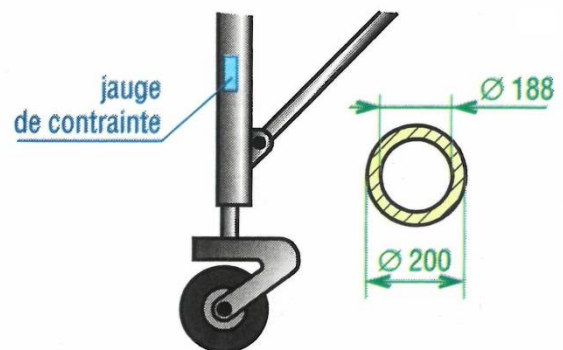


**Exercice 5**

Pour contrôler la charge d'un avion, on place des jauges de contrainte sur le train d'atterrissage. Une jauge collée sur le pied de forme tubulaire donne les indications suivantes :

- $\epsilon_1 = 0,000\ 68$  en position déchargé,
- $\epsilon_2 = 0,001\ 82$  en charge.

**Question 5.1** - Déterminer la charge supplémentaire si  $D = 200\text{mm}$ ,  $d = 188\ \text{mm}$  et  $E = 75\ \text{GPa}$ .





**Exercice 6 - Ascenseur**

Dans un immeuble de 15 étages, l'ascenseur peut relier le rez-de-chaussée (RDC) au 15ème étage. La hauteur entre chaque étage est de 2,80 m.

La machinerie d'ascenseur est disposée sur le toit de l'immeuble. Pour des raisons d'encombrement, le treuil d'enroulement du câble est situé à 1 m au-dessus du toit.

La cage d'ascenseur fait 2,50 m de haut à l'intérieur. Muni de ses systèmes de sécurité, elle mesure hors tout 2,80 m.

**Données**

- La cage d'ascenseur pèse à vide 980 daN
- Le poids du câble est négligé.
- Le câble fait 30 mm de diamètre.
- Le câble à une limite élastique  $Re = 350 \text{ MPa}$ .
- Le module de Young du câble est  $E = 210\,000 \text{ MPa}$ .
- Le coefficient de sécurité adopté est  $cs = 5$ .
- La limite de déformation acceptable est de 5 mm.

**Question 6.1** - Identifier la sollicitation auquel est soumis le câble.

**Question 6.2** - Calculer la section  $S$  du câble en  $\text{mm}^2$ .

**Question 6.3** - En déduire la contrainte  $\sigma$  exercée dans le câble.

**Question 6.4** - Comparer la contrainte  $\sigma$  avec la limite pratique élastique en tenant compte du coefficient de sécurité et conclure.

Pour les questions suivantes, la cabine d'ascenseur est au rez-de-chaussée.

**Question 6.5** - Calculer la longueur du câble  $L_0$ .

**Question 6.6** - Calculer l'allongement relatif du câble  $\epsilon$ .

**Question 6.7** - En déduire la déformation  $\Delta l$  du câble. Pensez-vous que cette déformation est acceptable ?

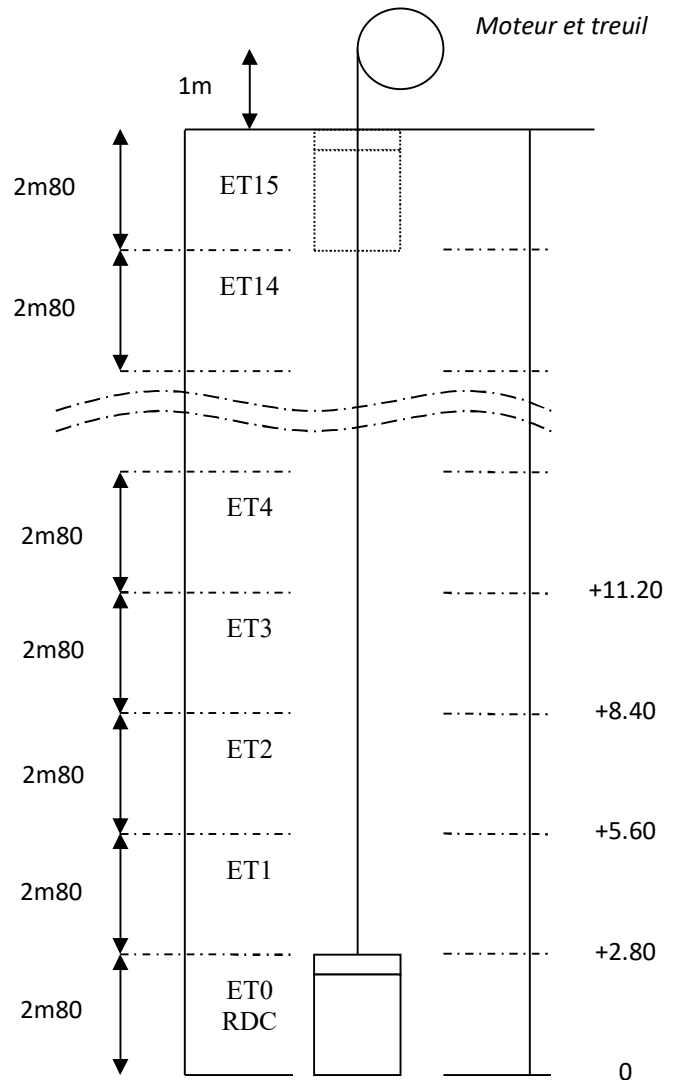
**Question 6.8** - La cabine à une capacité de 1050 kg en charge maximale, calculer alors l'effort  $F_{\max}$  exercé sur le câble en prenant  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ .

**Question 6.9** - En déduire la contrainte  $\sigma_{\max}$  exercées dans le câble.

**Question 6.10** - Comparer  $\sigma_{\max}$  avec la limite pratique élastique et conclure.

**Question 6.11** - Calculer l'allongement relatif du câble  $\epsilon_{\max}$ .

**Question 6.12** - En déduire la déformation  $\Delta l_{\max}$  du câble. Pensez-vous que cette déformation est acceptable ?

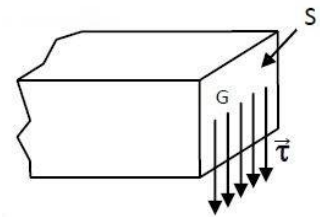


## 6 - Cisaillement

Lors d'une sollicitation en cisaillement, les propriétés et relations sont similaires à la sollicitation en traction compression.

### 6.1 - Contrainte unitaire

La répartition des contraintes tangentielles dans la section droite (S) est uniforme :



Avec **F** norme de l'effort tranchant **Ty**.

### 6.2 - Condition de résistance

La condition de résistance pour une sollicitation de cisaillement est la même que pour la traction en prenant en compte la résistance pratique au cisaillement (ou glissement) **Rpg** :

Pour qu'il y ait résistance, il faut donc que \_\_\_\_\_

Avec **Rpg** définie fonction d'un coefficient de sécurité et de **Reg**, résistance élastique au glissement :

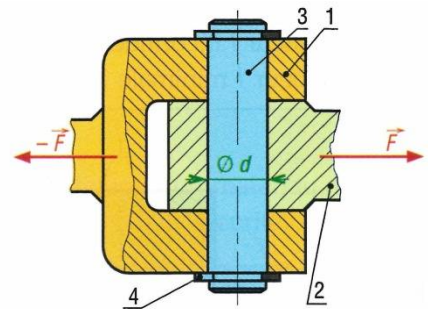


## Applications

### Exercice 7 - Montage en chape

L'articulation proposée assure la liaison pivot entre la chape 1 et le tirant 2 au moyen d'un axe 3 arrêté en translation par deux circlips 4. La résistance admissible au cisaillement de l'axe 3 est égale à 80 MPa.

**Question 7.1** - Si le diamètre  $d$  de l'axe est égal à 50 mm, déterminer l'effort  $F$  maximal transmissible par la liaison.



### Exercice 8 - Poinçonnage de tôles

Lorsque l'on veut découper, par poinçonnage, un trou dans une tôle, on exerce par l'intermédiaire d'un poinçon un effort  $F$  qui se répartit sur toute la section de tôle que l'on souhaite ôter.

La tôle à poinçonner possède une épaisseur de  $e = 4\text{ mm}$ . Le trou à réaliser est un carré de côté  $a = 20\text{ mm}$ .

#### Etude de la tôle

**Question 8.1** - Quelle sollicitation subit cette tôle.

**Question 8.2** - Exprimer la contrainte subit par la tôle.

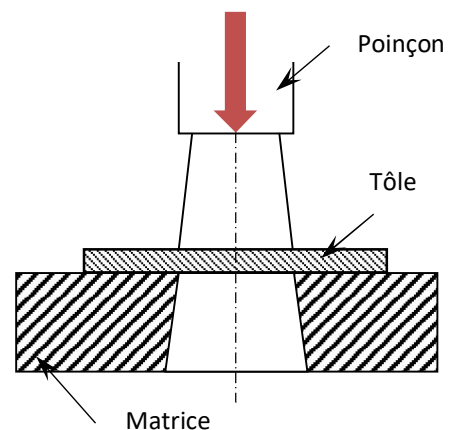
**Question 8.3** - La résistance à la rupture de la tôle étant de 200 MPa, définir l'effort à appliquer au poinçon afin d'effectuer cette découpe.

#### Etude du poinçon

**Question 8.4** - Quelle sollicitation subit le poinçon.

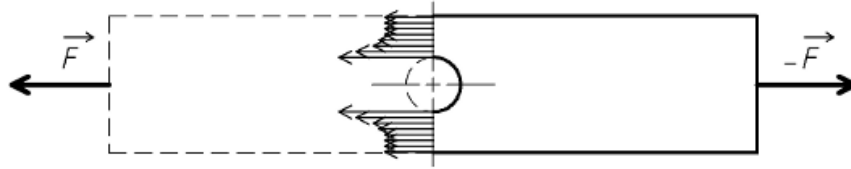
**Question 8.5** - Définir la contrainte subit par le poinçon.

**Question 8.6** - Fonction de l'effort déterminé à la question 3, calculer le Re mini du poinçon si l'on adopte un coefficient de sécurité de 2,5.



## 7 - Phénomène de concentration de contraintes

Ce phénomène ne se produit que si la poutre (P) n'est pas homogène, lorsqu'il y a des variations de section avec présence d'alésage ou d'épaulement par exemple. Dans ces cas, la contrainte au voisinage des changements de section est supérieure à la contrainte normale. La contrainte n'est pas uniformément répartie sur la section de la pièce.

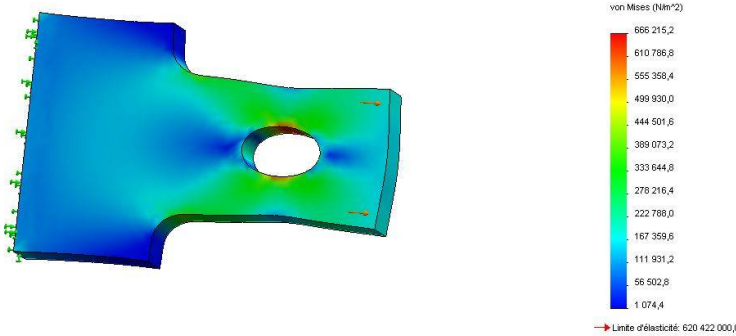


Dans ces cas :

$k$  est appelé

Lors de la conception d'une pièce pour éviter ce phénomène, il faut éviter les changements brusques de section en prévoyant des rayons de raccordement plutôt que des angles vifs ou des nervures.

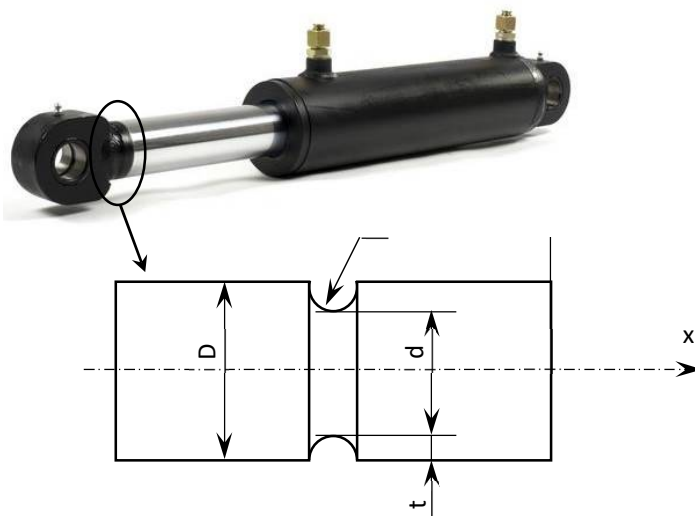
Mise en évidence de ce phénomène par l'utilisation d'outil informatique :



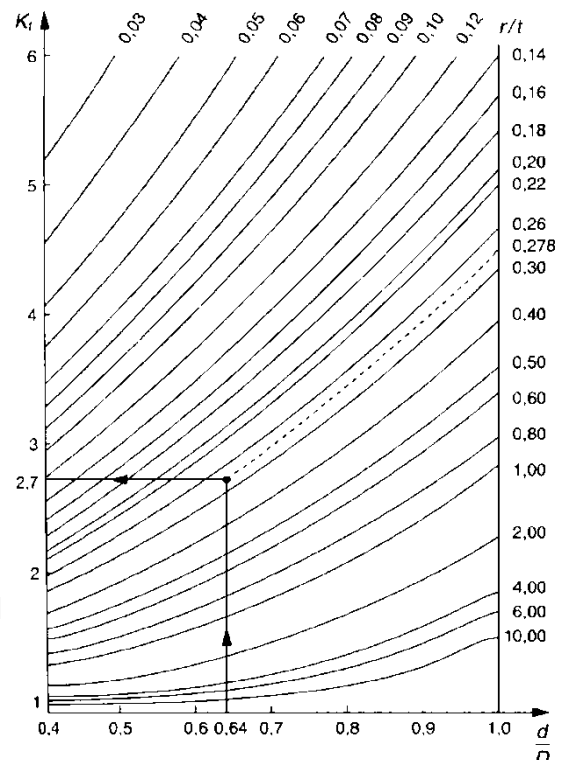
## Applications

### Exercice 9 - Tige de vérin

Sur la tige cylindrique d'un vérin représenté ci-dessous, il a été usiné une gorge à fond demi-circulaire. Cette tige subit un effort de traction de  $5 \cdot 10^4$  N. La présence de cette gorge présente une concentration de contrainte dont le coefficient  $k$  est défini par l'abaque.



Données :  $D = 100$  mm,  $d = 75$  mm,  $r = 5$  mm.



**Question 9.1** - Déterminer le coefficient de concentration de contrainte  $k$ .

**Question 9.2** - Calculer la contrainte maximale que subit la tige du vérin.

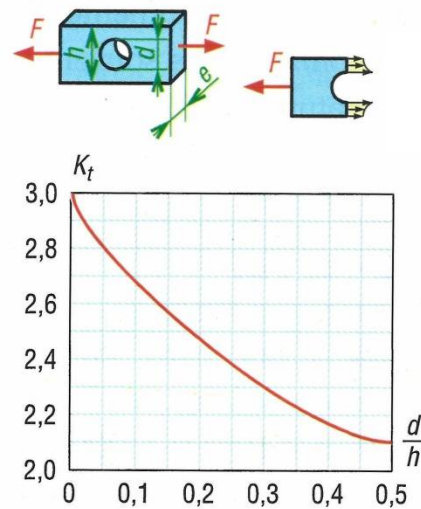
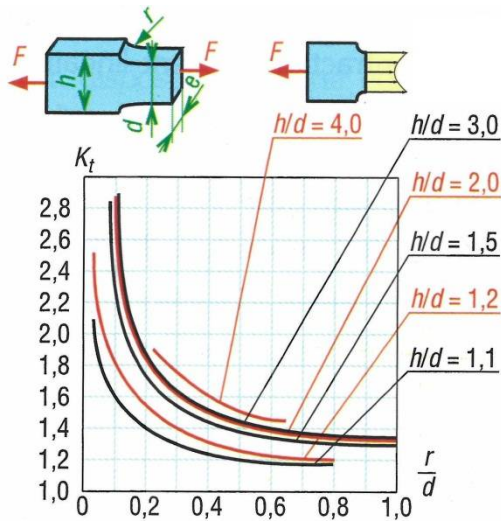
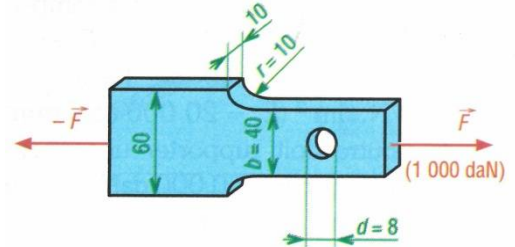
**Question 9.3** - La résistance élastique de cet acier est de 120 MPa, déterminer alors le coefficient de sécurité.

**Exercice 10**

Un plat (60 x 10) comporte un rétrécissement de rayon  $r = 10$  mm et un perçage de diamètre  $d = 8$  mm. La force de traction  $F$  est de 1 000 daN.

**Question 10.1** - Calculer la contrainte maximale  $\sigma_r$  au niveau du rétrécissement.

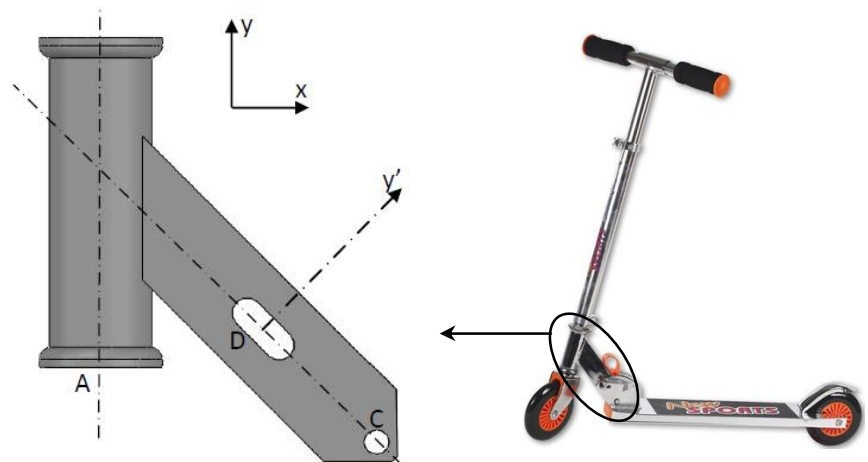
**Question 10.2** - Calculer la contrainte maximale  $\sigma_p$  au niveau du perçage.



**Exercice 11 - Potence de trottinette**

La trottinette est devenue un moyen de transport individuel pour les petits comme pour les grands. Construite autour d'un châssis compact et léger, sa structure pliante la rend transportable aisément en toutes circonstances.

L'objectif est de vérifier les choix de dimensionnement et de matériau pour la potence, élément le plus sollicité de la trottinette.



Échelle des forces : 1 mm pour 7 N

### Etude statique

On souhaite déterminer graphiquement les actions mécaniques sur la potence de la trottinette pour une charge de 70 kg. Pour cela on isole la potence.

#### Hypothèses

- Toutes les liaisons sont supposées parfaites : en C une liaison pivot d'axe z avec le châssis et en D une liaison ponctuelle de normale y' avec le châssis.
- L'action du sol sur la trottinette engendre au point A une action mécanique verticale d'une intensité de 210 N pour une personne de 70 kg
- La masse des pièces est négligée.
- Le problème est supposé plan.

**Question 11.1** - Faire le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées à la potence (S).

**Question 11.2** - En appliquant le principe fondamental de la statique, que peut-on dire des actions mécaniques appliquées à la potence ?

**Question 11.3** - Déterminer graphiquement les actions mécaniques aux points C et D.

### Etude de la potence

La potence est en acier (AISI 1020) dont la limite élastique  $R_e = 350$  MPa.

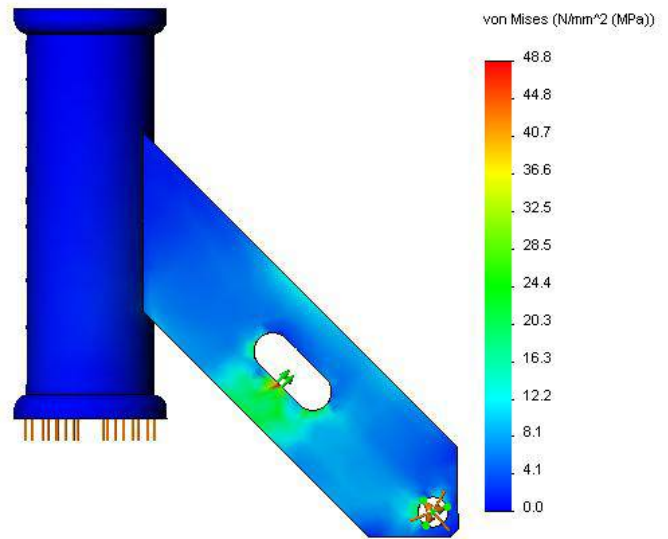
Une étude de déformation avec les valeurs d'efforts déterminées précédemment a été effectuée avec le logiciel SolidWorks. Les résultats de cette étude sont donnés ci-contre.

**Question 11.4** - Entourer la zone de plus forte sollicitation.

**Question 11.5** - Déterminer le coefficient de sécurité  $c_s$  dans le cas le plus défavorable.

Le bureau d'étude impose un coefficient de sécurité supérieur à 5 pour permettre de résister aux efforts dynamiques (sauts, chocs ...).

**Question 11-6** - La potence a-t-elle été correctement dimensionnée ?



### Etude de l'axe de la liaison pivot

Pour être ranger ou transporter plus facilement, la trottinette peut se replier grâce à une liaison pivot au point C. Cette liaison pivot est réalisée par l'intermédiaire d'un axe en acier dont la résistance élastique  $R_e = 250$  MPa.

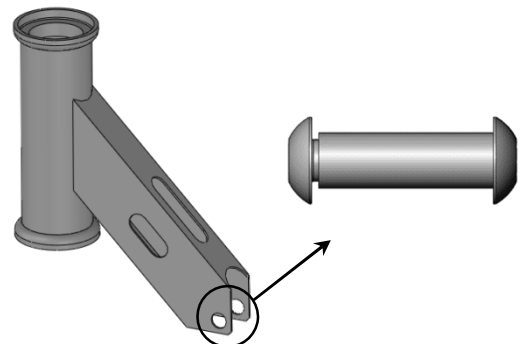
#### Données

- La limite élastique au glissement  $R_{eg} = 0,5 R_e$ .
- Le bureau d'étude impose un coefficient de sécurité  $c_s = 5$ .
- Le diamètre de l'axe est de 8mm.

**Question 11.7** - A quel type de sollicitation correspondent les efforts appliqués à l'axe en C ?

**Question 11.8** - Déterminer la contrainte appliquée à l'axe en C.

**Question 11.9** - Vérifier que le critère de dimensionnement est respecté.



## Sujet de bac

### Session 2015 - Projet de pont transbordeur Jules Verne à Nantes

#### Mise en situation

La ville de Nantes est confrontée à la saturation de son périphérique à hauteur du pont de Cheviré. Ce pont, initialement prévu pour le contournement de la ville, est aussi très utilisé pour les déplacements urbains. Depuis quelques années, la question d'un nouveau franchissement de la Loire est donc à l'ordre du jour.

Par ailleurs, la ville de Nantes est confrontée à un réaménagement d'une partie de son centre-ville située sur une île fluviale, l'île de Nantes, jusque-là occupée par diverses activités industrielles.

En juillet 2008, une association « Les Transbordés » est fondée avec l'objectif de porter le projet d'un nouveau pont transbordeur imaginé par l'architecte nantais Paul Poirier.

#### Définition d'un pont transbordeur

Ouvrage comportant deux piliers auxquels est suspendue une travée dégageant une passe navigable et sur laquelle se déplace un chariot qui porte, accrochée à des câbles (suspentes), une nacelle transbordeuse allant d'une rive à l'autre.

#### ÉTUDE 1.3 : ACCESSIBILITÉ À LA NACELLE

*Le pont à transbordeur est un établissement recevant du public (ERP). Comme tous les ERP, il doit répondre à certaines caractéristiques quant à son accessibilité par les personnes à mobilité réduite. Un extrait du journal officiel de la République décrit ces caractéristiques dans le document technique DT6.*

#### Exigences de l'arrêté du 1<sup>er</sup> août 2006

*Il s'agit de déterminer l'écart de niveau maximum acceptable entre le quai et la nacelle.*

Question 1.3.1  
voir DT6

**Relever** sur l'extrait du journal officiel DT6 la dénivellation maximale acceptable sans équipement spécifique entre la nacelle du pont transbordeur et les quais.

*La partie suivante est divisée en quatre étapes. D'abord le choix des suspentes (câbles) qui soutiennent la nacelle, puis le calcul de leur allongement dû au chargement, l'influence de la dilatation sur le positionnement vertical de la nacelle par rapport au quai et enfin le choix des équipements à prévoir pour respecter les normes d'accessibilité de l'ERP.*

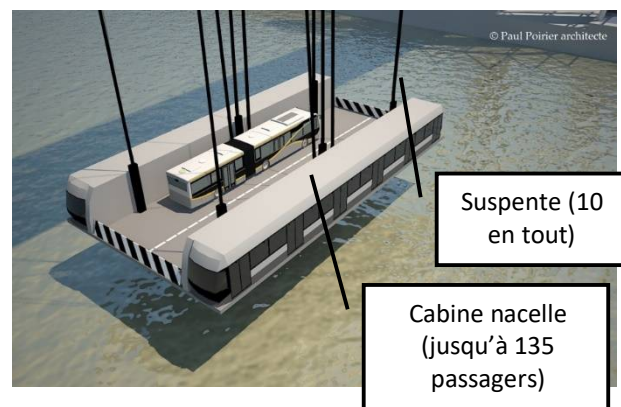
#### Choix des suspentes

*Pour connaître les différences d'altitude de la nacelle dans le temps et sous certaines conditions, il est nécessaire de connaître les caractéristiques des 10 suspentes. Nous ferons ici l'hypothèse que le poids total est réparti de façon égale entre toutes les suspentes.*

*L'architecture de la nacelle est donnée dans le document technique DT6.*

Question 1.3.2  
voir DT3

**Relever** sur le diagramme d'exigences (DT3) la charge utile de la nacelle. Sachant que la masse de la nacelle à vide est de 100 tonnes. **Calculer** le poids total de la nacelle puis celui que chaque suspente doit soulever. Vous prendrez  $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .



Le coefficient de sécurité est fixé à 10 pour les équipements suspendus recevant du public (cas de la nacelle), les suspentes étant des câbles dont les sollicitations varient beaucoup du fait des mouvements de la charge. Pour prendre en compte la fatigue du matériau, le constructeur retient l'effort de service comme critère de choix des câbles.

Question 1.3.3

voir DT7

**Calculer** l'effort à prendre en compte dans le choix des suspentes en tenant compte du coefficient de sécurité. **Justifier** le choix d'un câble de type 19T15S par le constructeur en utilisant le DT7.

### Allongement d'une suspente dû aux sollicitations

La sollicitation en traction des suspentes varie seulement en fonction de la charge embarquée. La nacelle est suspendue par 10 câbles de 50 m de long, et leur allongement qui en découle intervient directement sur la différence de hauteur entre la nacelle et le quai. Les caractéristiques des câbles utilisés de type 19T15S sont indiquées dans le document technique DT7. On donne par ailleurs la formule de calcul de l'allongement :

$$\Delta l_1 = \frac{F \times L_0}{S \times E}$$

$L_0$  : longueur initiale du câble ;

$S$  : section du câble ;

$E$  : module de Young ;

$F$  : charge appliquée sur le câble.

Question 1.3.4

voir DT7

**Calculer** la variation de longueur des suspentes en considérant que chacune d'entre-elles supporte un poids de 100 kN.

Le pont transbordeur est soumis aux conditions climatiques environnantes. Les températures extrêmes relevées sur trente ans sont données dans le document technique DT7. Lors d'un changement de température, chaque suspente se dilate ou se contracte et par conséquent, la hauteur de la nacelle varie entre l'hiver et l'été. L'objectif est de calculer la variation de longueur d'une suspente et de définir si cette variation est significative ou non.

Question 1.3.5

voir DT7

**Déterminer** l'allongement d'une suspente dû à la dilatation entre les températures extrêmes données par le graphique du document technique DT7.

On donne :  $\Delta l_2 = \alpha \times L_0 \times \Delta T$

Question 1.3.6

**En déduire** l'allongement total et maximum d'une suspente et **préciser** quel phénomène est prépondérant dans l'allongement des suspentes.

### Conclusion

Vous allez maintenant déterminer les équipements nécessaires pour l'accessibilité de cet ERP par les personnes en situation de handicap. Pour permettre de minimiser les effets d'allongement des suspentes, le réglage initial d'altitude de la nacelle sera réalisé à un niveau moyen. Ainsi, la différence de niveau entre le quai et la nacelle vide au plus froid de l'hiver sera symétrique à celle constatée en pleine charge pendant les plus fortes chaleurs de l'été.

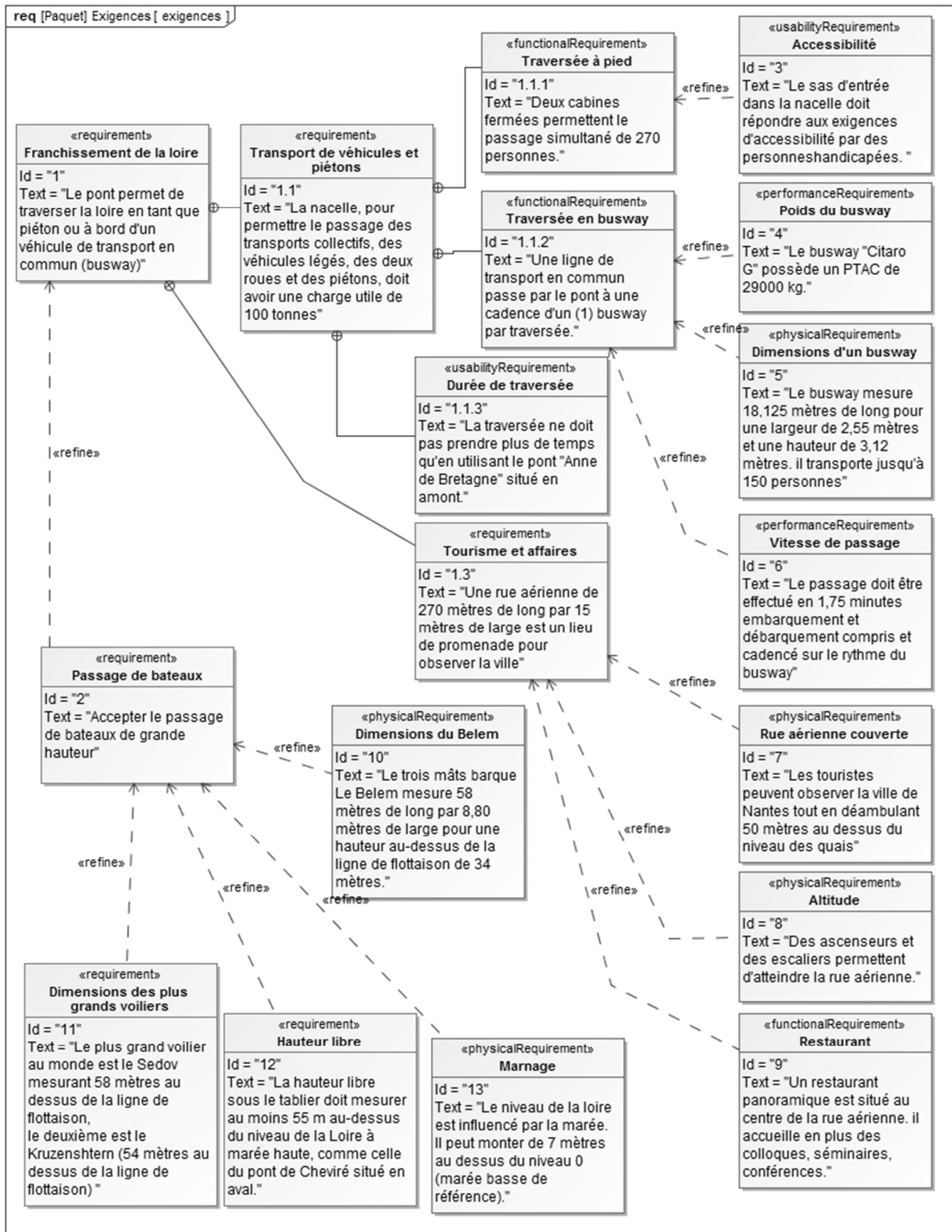
Question 1.3.7

voir DT6

**Déterminer** la différence de niveau entre la nacelle et le quai. **Conclure** quant à la nécessité d'un équipement complémentaire pour assurer l'accessibilité de cet ERP par les personnes en situation de handicap.

**Justifier** votre réponse.

DT3 - Diagramme d'exigences du pont transbordeur





DT6 - Extrait du journal officiel de la république française.

24 août 2006

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Texte 14 sur 104

## Décrets, arrêtés, circulaires

### TEXTES GÉNÉRAUX

#### MINISTÈRE DE L'EMPLOI, DE LA COHÉSION SOCIALE ET DU LOGEMENT

**Arrêté du 1er août 2006 fixant les dispositions prises pour l'application des articles R. 111-19 à R. 111-19-3 et R. 111-19-6 du code de la construction et de l'habitation relatives à l'accessibilité aux personnes handicapées des établissements recevant du public et des installations ouvertes au public lors de leur construction ou de leur création**

NOR : SOCU0611478A

-----  
2° Caractéristiques dimensionnelles :

a) Profil en long :

Le cheminement accessible doit être horizontal et sans ressaut. Lorsqu'une dénivellation ne peut être évitée, un plan incliné de pente inférieure ou égale à 5 % doit être aménagé afin de la franchir. Les valeurs de pentes suivantes sont tolérées exceptionnellement :

Un palier de repos est nécessaire en haut et en bas de chaque plan incliné, quelle qu'en soit la longueur. En cas de plan incliné de pente supérieure ou égale à 4 %, un palier de repos est nécessaire tous les 10 m.

Les caractéristiques dimensionnelles du palier sont définies à l'annexe 2.

Lorsqu'il ne peut être évité, un faible écart de niveau peut être traité par un ressaut à bord arrondi ou muni d'un chanfrein et dont la hauteur doit être inférieure ou égale à 2 cm.

**DT7 - Caractéristiques des câbles – conditions climatiques nantaises**

**Extrait de tableau constructeur (Freysinnet)**

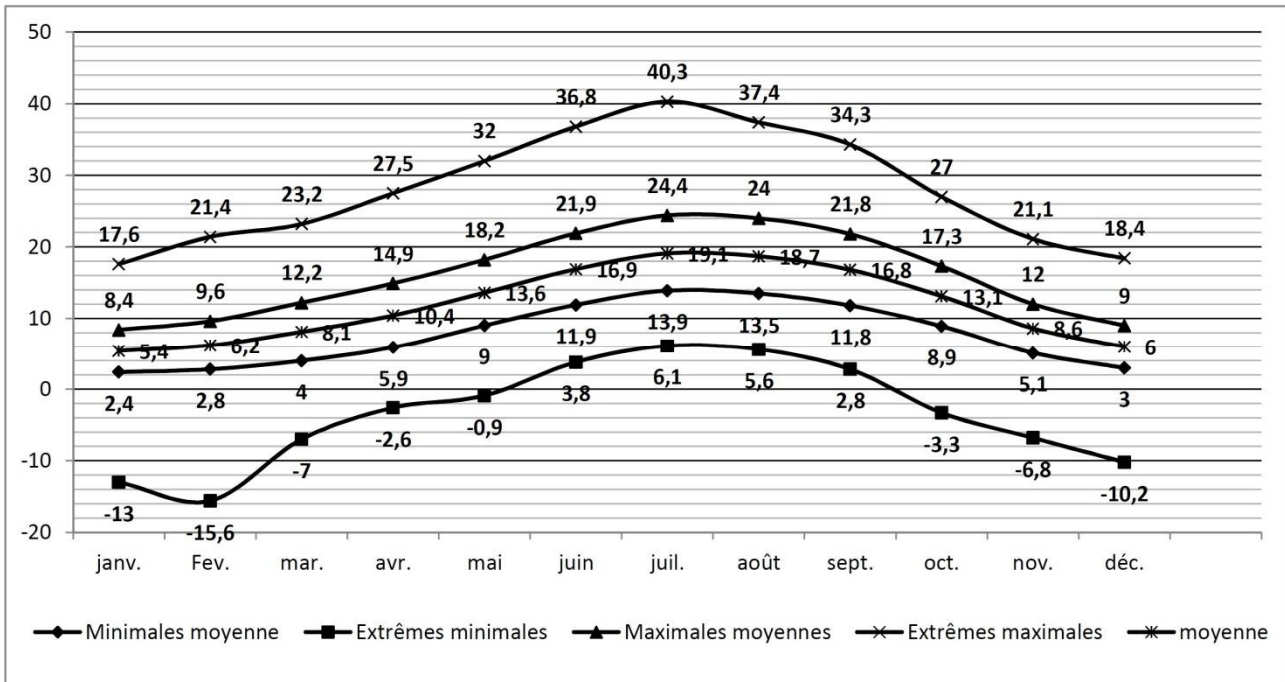
Type	Section [mm <sup>2</sup> ]	Effort de rupture 1,0 f <sub>pk</sub>	Effort service 0,45 f <sub>pk</sub>	Gaine en partie courante
[-]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN]	∅ <sub>ext</sub> / e <sub>paroi</sub> [mm]
4T15S	600	1'060	477	90 / 6
7T15S	1'050	1'855	835	110 / 6
12T15S	1'800	3'186	1'434	125 / 6
19T15S	2'850	5'044	2'270	140 / 6
27T15S	4'050	7'168	3'226	160 / 6
31T15S	4'650	8'230	3'704	160 / 6
37T15S	5'550	9'824	4'421	180 / 6
55T15S	8'250	14'602	6'571	200 / 6

**Caractéristiques du câble**

- Résistance nominale à la traction : 1770 N·mm<sup>-2</sup>
- Module d'Young : 195 kN·mm<sup>-2</sup>
- Charge de rupture caractéristique spécifiée : 265 kN
- Coefficient de dilatation :  $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

**Historique des conditions climatiques à Nantes**

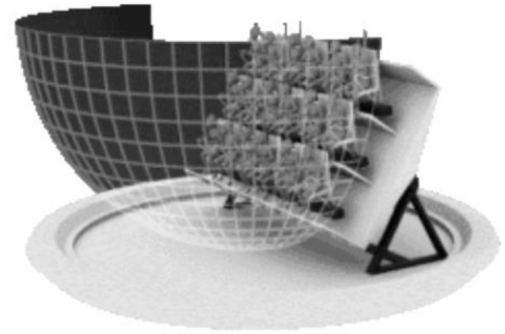
Cet historique reprend les températures maximales et minimales relevées pendant trente ans par la station météorologique de Château-Bougon située en périphérie nantaise.



Sujet de bac

Session 2019 - Futuroscope, les innovations technologiques de « l'extraordinaire voyage »

Depuis 2003, le Futuroscope investit chaque année dans une nouvelle attraction. La dernière-née, ouverte en 2017, « l'extraordinaire voyage », est un simulateur de vol animé sur le thème des aventures des romans de Jules Verne.



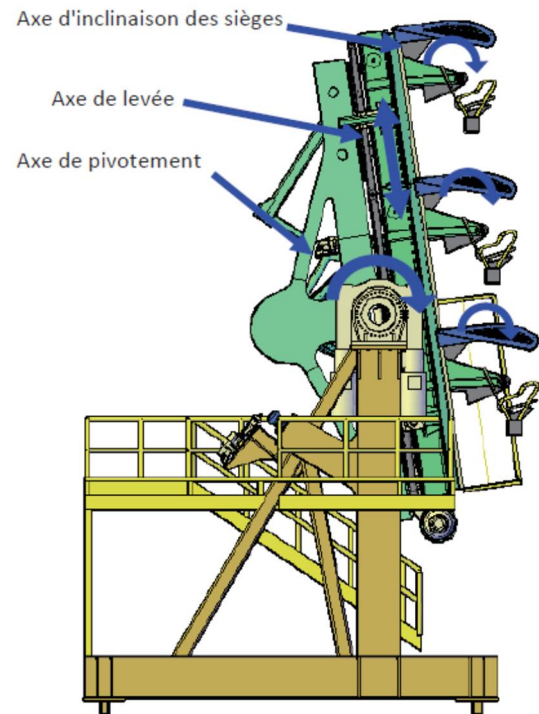
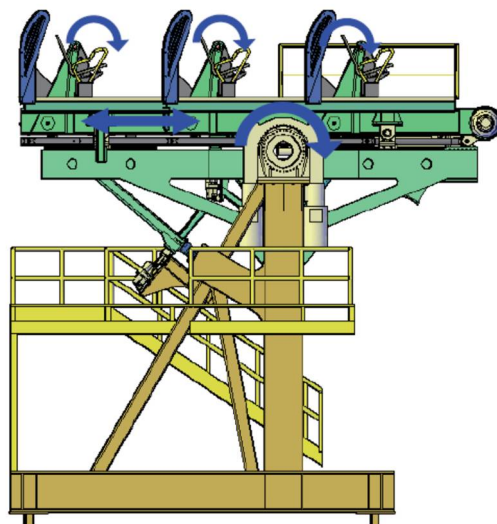
L'attraction se présente sous la forme d'une plateforme dynamique de 84 places assises s'inclinant à près de 90° en 12 secondes. Les visiteurs ont les pieds dans le vide et regardent un écran hémisphérique de 600 m<sup>2</sup>.

L'idée est de retranscrire une sensation de vol dans les nuages. Des effets sensoriels embarqués (vent, bruine, froid, parfums ...) agrémentent l'immersion.

La fréquentation prévue est de 500 à 600 personnes par heure.

Validation des basculeurs de sièges de la base mobile de « l'extraordinaire voyage »

La plateforme dynamique de cette attraction a été conçue par le bureau d'études du Futuroscope et commandée à une société canadienne. Le comité français d'accréditation (Cofrac), intervenant dans l'évaluation de la conformité, a dû valider les différents éléments de cette structure, notamment le système de basculement des sièges.



L'objectif est de valider le choix des profilés, laminés à froid de section tubulaire, pour les cylindres de contrebalancement.

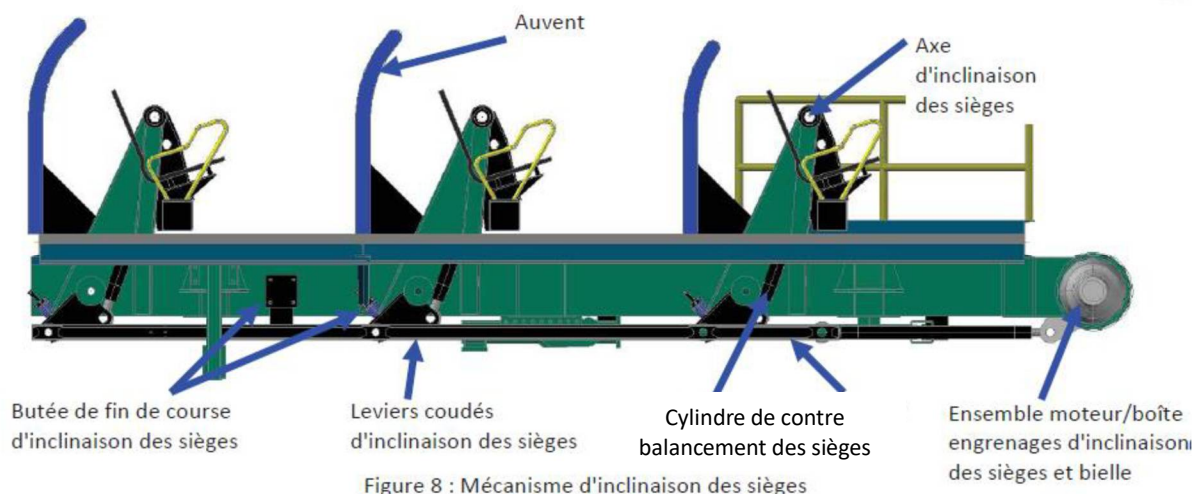


Figure 8 : Mécanisme d'inclinaison des sièges

Question 2.19

DR7

On isole un cylindre de contrebalancement (voir figure 1 sur le DR7) en équilibre statique. En négligeant l'effet de la pesanteur, on constate qu'il est soumis à deux forces appliquées à chacune de ses extrémités A et C. Ces deux forces ont pour support l'axe AC. **Justifier** cette affirmation.

Sur la figure 2 du DR7, on isole un siège et on suppose que la position du cylindre de contrebalancement est la même que sur la figure 1. G désigne le centre de gravité de l'ensemble {siège ; occupant}.

Question 2.20

DR7

**Reporter** sur cette figure, la droite support (axe AC) de la question précédente.

**Calculer** puis **tracer** le poids  $\vec{P}$  d'un siège et de son occupant. On donne la masse d'un siège et de son occupant ( $M = 840 \text{ kg}$ ). On prendra  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ .

**Déterminer** entièrement les forces appliquées au siège aux points A et B, par construction graphique, sur le dynamique du DR7 à partir du point D. **Reporter** les résultats sur le DR7.

Question 2.21

En tenant compte des résultats obtenus à la question précédente, **déduire** la sollicitation à laquelle est soumis le cylindre de contrebalancement.

Le constructeur a fait le choix pour le cylindre de contrebalancement d'un profilé laminé à froid de section tubulaire de diamètre extérieur 40 mm et de diamètre intérieur 20 mm. Les phénomènes de flambage ne seront pas pris en compte dans la suite de l'étude, seule la compression sera étudiée.

Question 2.22

DT18

**Calculer** la section S de ce cylindre. **Relever** sur le résultat de la simulation numérique (DT18) la valeur maximale  $\sigma_{\max}$  à laquelle est soumis le cylindre de contrebalancement.

L'effort appliqué sur le cylindre de contrebalancement est de 10 600 N.

Question 2.23

À l'aide de la réponse à la question précédente, **valider** le choix du profilé.

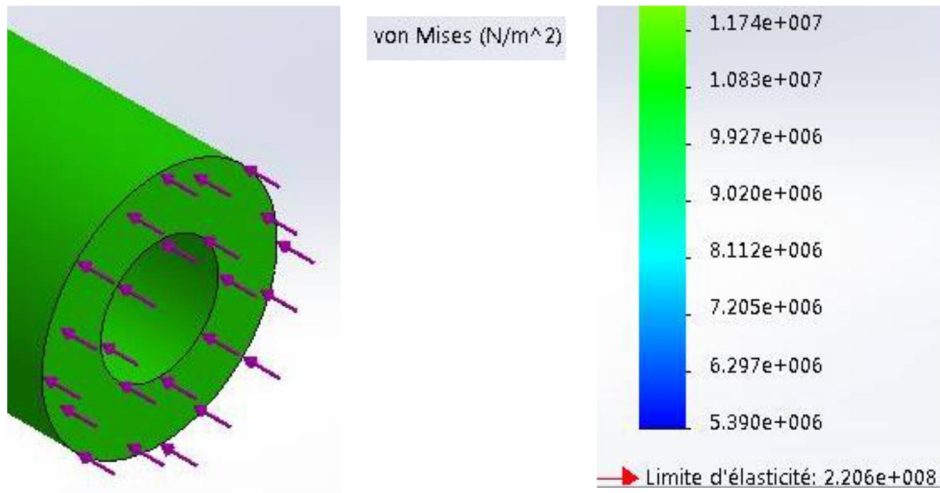
Question 2.24

DT19

Au regard de la norme des établissements recevant du public (ERP), **expliquer** le choix de la valeur du coefficient de sécurité fait par la société de construction canadienne.

**DT18 - Simulation numérique**

Etude des contraintes dans une section d'un cylindre de contrebalancement



**DT19 - Normes ERP (établissement recevant du public)**

	<b>Coefficient de sécurité</b>	<b>Observations</b>
Domaine de l'architecture	1,5	
Domaine routier	3	
Domaine du levage industriel	4	levage par câbles métalliques : s = 5 levage par sangles en tissu : s = 7
Engins de levage /appareils de levage lourds	6	
Ascenseurs, transport du public, matériels à destination du public	10	

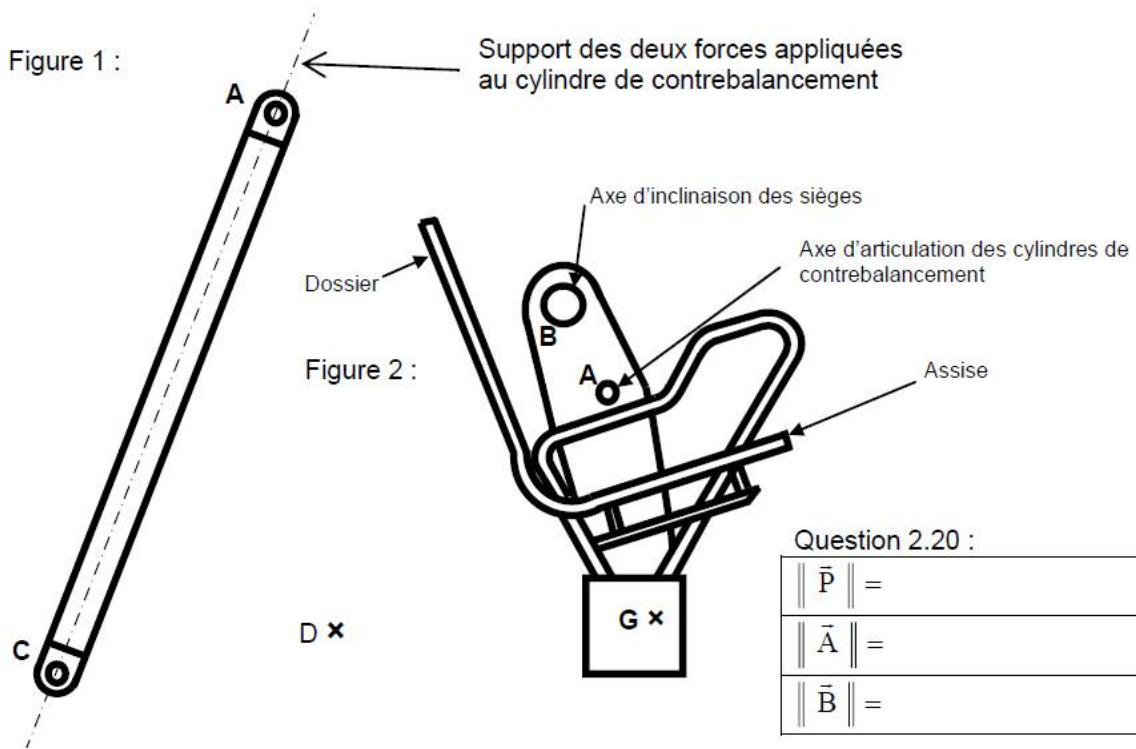
**DR7 - Document réponse 7**

Question 2.20

Reporter sur cette figure, la droite support (axe AC) de la question précédente.

Calculer puis tracer le poids  $\vec{P}$  d'un siège et de son occupant. On donne la masse d'un siège et de son occupant ( $M = 840 \text{ kg}$ ). On prendra  $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

Déterminer entièrement les forces appliquées au siège aux points A et B, par construction graphique, sur le dynamique du DR7 à partir du point D. Reporter les résultats sur le DR7



Dynamique des forces  
 (Echelle des forces :  $1 \text{ cm} \rightarrow 1\,000 \text{ N}$ )