

SESSION 2020

---

**AGRÉGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER**

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

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

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

Durée : 5 heures

---

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

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

*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.

**Agrégation interne et Caer  
Section sciences industrielles de l'ingénieur**

Page 8 (en haut de page) : Au lieu de lire « Les efforts en A et P sont  $RA=...$  Et  $RA=.$  »

Lire « Les efforts en A et P sont  $RA=.$  Et  $RP=...$  »

Attention : il s'agit bien du second « RA » de la phrase : à remplacer par RP

## INFORMATION AUX CANDIDATS

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

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

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

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1414A	101	7809

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1415A	101	7809

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1416A	101	7809

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

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1414A	101	7809

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1415A	101	7809

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1416A	101	7809

## COMPOSITION DU SUJET

### SUJET :

Mise en situation	Page 2
Partie 1 : analyse du contexte d'implantation du système de transport par câble de la ville de Brest	Page 3
Partie 2 : analyse des solutions techniques retenues par la société BMF	Page 4
Partie 3 : optimisation énergétique	Page 15
Partie 4 : stratégie pédagogique	Page 18

### DOCUMENTS :

DOCUMENTS TECHNIQUES (DT1 à DT8) :  
Documents relatifs au support de l'étude

DOCUMENTS PÉDAGOGIQUES (DP1) :  
Documents spécifiques à l'exploitation pédagogique

DOCUMENTS RÉPONSES (DR1 à DR3) :  
Documents à compléter et à rendre par le candidat

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

Les différentes parties seront traitées sur des copies séparées.

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

Préciser les unités des résultats.

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

Il est conseillé de composer pendant environ trois heures pour les parties 1 à 3 et de réserver une heure pour la partie 4. Le barème de notation prend en compte la capacité des candidats à traiter correctement les différentes parties

## Mise en situation - Téléphérique de Brest

La ville de Brest est coupée en deux par la « Penfeld », un fleuve côtier passant au fond d'un vallon occupé par l'ancien arsenal militaire. Cette configuration forme une coupure urbaine forte entre les deux rives. Deux ponts permettent le franchissement du fleuve : le pont de Recouvrance et le pont de l'Harteloire plus au nord. Le centre-ville s'est développé sur la rive gauche, tandis que sur la rive droite le quartier de Recouvrance, autrefois le quartier l'arsenal, a vu son développement économique freiné par cette coupure urbaine.

Depuis les années 2000, ce quartier fait l'objet d'une opération de renouvellement urbain. Afin de redynamiser la rive droite, il a été décidé de créer un nouvel éco-quartier, le quartier des Capucins, à la place des anciens ateliers militaires ; ce site représente une surface de 16 hectares accueillant 560 logements, des commerces, des bureaux, un cinéma multiplexe et une nouvelle médiathèque de 9 700 m<sup>2</sup>. Ce nouveau quartier des Capucins présente la caractéristique d'être construit sur un promontoire rocheux fermé au nord et à l'est par la Penfeld et au sud par 2 formes de radoub (bassin permettant l'accueil de navires et leur mise à sec pour leur entretien).

Ce projet d'éco-quartier a de nouveau mis en évidence la difficulté de relier les deux rives. Les deux ponts étaient en limite de capacité lors des heures de pointe. De plus, les trajets pour les piétons et les vélos se caractérisent par des itinéraires longs et pentus. Brest métropole a conduit des études de faisabilité sur les solutions permettant de relier les Ateliers au quartier Siam par un franchissement de la Penfeld en mode doux : piétons, vélos, transports collectifs...

Tous les modes de franchissement ont été étudiés et comparés au regard de leur coût et efficacité : pont transbordeur (de 40 à 60 M€), pont routier levant (de 40 à 100 M€), passerelle levante (de 25 à 30 M€), liaison par câble type téléphérique (de 15 à 20 M€).

Après analyse de ces quatre scénarios de franchissement de la Penfeld, la solution d'une liaison par câble reliant la station « Château » aux Ateliers du Plateau des Capucins dégageant un tirant d'air de 48 m pour les besoins de la base navale (zone militaire Penfeld / marine nationale) a été jugée techniquement plus simple. Financièrement, elle est moins coûteuse et plus respectueuse de l'environnement. Cette solution a été choisie et fait l'objet de l'étude proposée ici.

Le sujet est composé de 4 parties :

- la première partie est consacrée à l'analyse du contexte dans lequel la solution de transport urbain est implantée ;
- la deuxième partie consiste en une analyse de la solution technique proposée par la société ayant réalisé la liaison par câble ;
- la troisième partie vise à proposer une optimisation énergétique du système ;
- la quatrième partie aborde plus spécifiquement l'exploitation pédagogique du support étudié, bien qu'au fil des études techniques menées dans les parties 1 à 3, des pistes d'exploitations pédagogiques feront l'objet d'investigations.

## Partie 1. Analyse du contexte d'implantation du système de transport par câble de la ville de Brest

---

*Objectif : identifier les contraintes liées à l'environnement conduisant au choix d'un système de transport par câble adapté à la ville de Brest.*

---

Par délibération du 9 décembre 2011, Brest métropole a approuvé à l'unanimité le projet de réalisation d'une liaison aérienne par câble entre le bas de Siam et les Ateliers des Capucins. Il s'agit, en France, du tout premier téléphérique en espace urbain.

La recherche d'une solution technique adaptée au contexte de la ville a conduit la société BMF® à envisager plusieurs principes de solutions de transport par câble (voir DT 1) :

- système de téléphérique ;
- système de télécabine ;
- système « funitel » à voies « côte à côte » ;
- système « funitel » à pincement vertical ou « saut de mouton ».

**Question 1.** À l'aide du document DT1, pour les solutions de transport par câble de type téléphérique, télécabine, « funitel à câble côte à côte », « funitel à câble en saut de mouton », **repérer** les critères de choix permettant de caractériser ces quatre solutions.

**Question 2.** À l'aide des documents DT1 et DT2 1/3, **justifier** le choix de la solution de funitel à « saut de mouton » compte tenu du contexte propre à la ville de Brest. **Établir** le lien entre ce choix de solution et l'approche de développement durable voulue par la ville.

L'analyse comparative de solutions de transport par câble dans le contexte de la ville de Brest est susceptible de présenter un intérêt pédagogique que l'on souhaite explorer dans le contexte d'une activité proposée à des élèves de première STI2D.

**Question 3.** À l'aide du DP1, **identifier** les compétences issues du programme du baccalauréat STI2D pouvant être abordées en prenant appui sur une analyse comparative de solutions techniques ; **justifier** votre réponse.

**Question 4.** **Construire** un document adapté aux élèves de première STI2D leur permettant de caractériser les différentes solutions de transport par câble en vue d'effectuer un choix.

## Partie 2. Analyse des solutions techniques retenues par la société BMF

**Objectif :** vérifier les choix techniques réalisés lors de la conception du funitel de la ville de Brest au regard des exigences. On s'intéressera successivement à la capacité horaire du système, à sa tenue au vent, à la conception du système de traction par câble, à l'implantation des stations et à la motorisation.

### 2.1. Capacité horaire du funitel

On souhaite déterminer la vitesse de déplacement des cabines permettant de satisfaire l'exigence de capacité horaire du système sans compromettre le confort des passagers.

Le funitel doit pouvoir fonctionner suivant deux modes d'utilisation :

- mode normal : capacité horaire attendue de 650 personnes / heure / sens ;
- mode évènementiel : capacité horaire attendue de 1 200 personnes / heure / sens.

Le cycle de fonctionnement est décrit par le diagramme d'état fourni figure 1 :

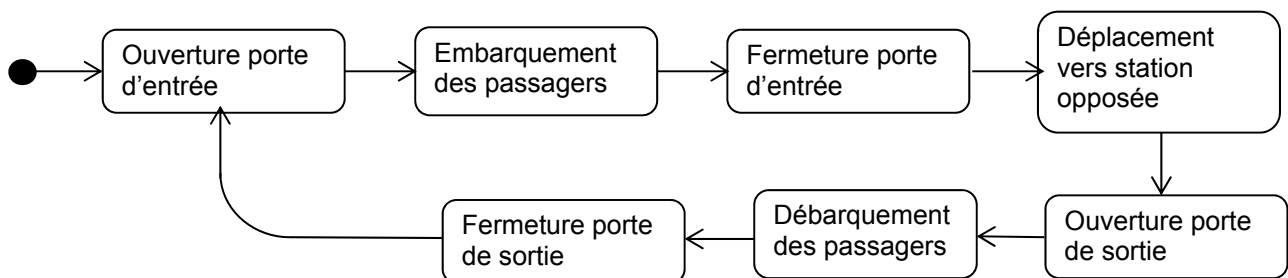


Figure 1 : diagramme d'état du cycle de fonctionnement

Données :

- un diagramme d'exigence est fourni sur le document **DT 2** ;
- les durées d'embarquement et de débarquement des passagers sont  $t_d = 15$  s ;
- les durées d'ouverture et de fermeture des portes sont  $t_p = 2$  s ;
- les moteurs d'entraînement des câbles tracteurs suivent une loi de commande trapézoïdale de vitesse où  $V_s$  est la vitesse de la cabine supérieure (figure 2) ;

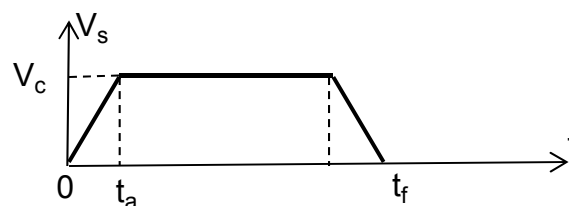


Figure 2 : loi de commande du moteur de la cabine supérieure

- les accélérations et décélérations sont  $a = 0,5 \text{ m.s}^{-2}$  ;
- chaque cabine contient jusqu'à 60 passagers ;
- dans cette partie, la distance à parcourir par chacune des cabines est de 420 m.

**Question 5.** Déterminer le temps de parcours maximal  $t_f$  pour satisfaire à l'exigence de capacité horaire en mode évènementiel. En déduire la vitesse de croisière  $V_c$  minimale afin de satisfaire l'exigence et vérifier que celle-ci est acceptable du point de vue du confort des passagers.

## 2.2. Tenue au vent

On souhaite vérifier la tenue au vent de la solution à voie large de type funitel.

On suppose dans un premier temps le choix d'un téléphérique monocâble, la cabine étant en liaison pivot au point A avec le câble (figure 3) :

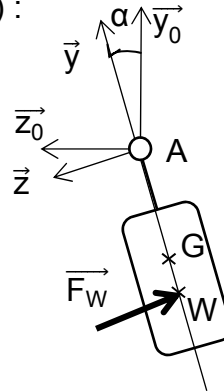


Figure 3 : modélisation d'une cabine de téléphérique monocâble

### Hypothèses :

- l'effort latéral exercé par le vent sur la cabine peut être modélisé par un glisseur  $\vec{F}_W$  appliqué en W tel que  $\vec{F}_W = -\frac{1}{2} C_x \rho S_l V_v^2 \vec{z}$  où  $S_l$  est la surface latérale et  $V_v$  la vitesse du vent ;
- on note  $\vec{AW} = -h_w \vec{y}$  et  $\vec{AG} = -h_G \vec{y}$  où G est le centre de gravité de la cabine.

### Données numériques :

- $C_x = 0,76$  coefficient de traînée ;
- $S_l = 18,96 \text{ m}^2$  surface latérale de la cabine ;
- $\rho = 1,29 \text{ kg.m}^{-3}$  masse volumique de l'air ;
- $h_w = 3,45 \text{ m}$  position du point d'application de la force du vent ;
- $h_G = 2,6 \text{ m}$  position du centre de gravité ;
- $M_v = 5970 \text{ kg}$  masse de la cabine à vide ;
- $M_c = 5970 + 60 \times 75 = 10\,470 \text{ kg}$  masse maximale (60 passagers).

On précise que la norme relative aux systèmes de transport de personnes par câble impose un angle d'inclinaison maximal des cabines de  $0,05 \text{ rad}$  pour un vent de  $30 \text{ m.s}^{-1}$ .

**Question 6.** Déterminer l'angle d'inclinaison maximal de la cabine sous l'effet d'un vent de  $30 \text{ m.s}^{-1}$ . Justifier qu'un téléphérique monocâble ne peut satisfaire l'exigence de tenue au vent.

Le constructeur fait le choix de cabines à voie large de type funitel (figures 4 et 5). Chaque cabine est liée à deux câbles porteurs aux points A et B.

### Hypothèses :

- les actions mécaniques de câbles porteurs sont modélisées par des glisseurs en A et en B :  $\vec{F}_A(\text{câble} \rightarrow \text{cabine}) = Y_A \vec{y} + Z_A \vec{z}$  et  $\vec{F}_B(\text{câble} \rightarrow \text{cabine}) = Y_B \vec{y} + Z_B \vec{z}$  ;
- les positions des points A et B sont repérées par rapport à la position d'équilibre sans vent :  $y_A = \vec{OA} \cdot \vec{y}_0$  et  $y_B = \vec{OB} \cdot \vec{y}_0$ . Si la force due au vent est nulle,  $y_A = y_B = 0$  ;
- sous l'effet du vent, la cabine s'incline d'un angle  $\alpha$ ,  $y_A = -\frac{l}{2} \sin \alpha$  et  $y_B = \frac{l}{2} \sin \alpha$  où l est la longueur AB ;
- l'inclinaison  $\alpha$  est faible :  $\sin \alpha \approx \alpha$  et  $\cos \alpha \approx 1$  ;



- après une étude des déformations des câbles porteurs, les actions verticales des câbles porteurs sur les cabines en A et en B peuvent être modélisées par des actions élastiques de raideur  $k = 70\,000 \text{ N.m}^{-1}$  :  $Y_A = Y_0 - k.y_A$  et  $Y_B = Y_0 - k.y_B$  ;
- les géométries et positions des points d'application de la force du vent et de la gravité sont définies figures 5 a et b ;
- les masse, surface latérale, coefficient de trainée sont identiques au cas précédent.

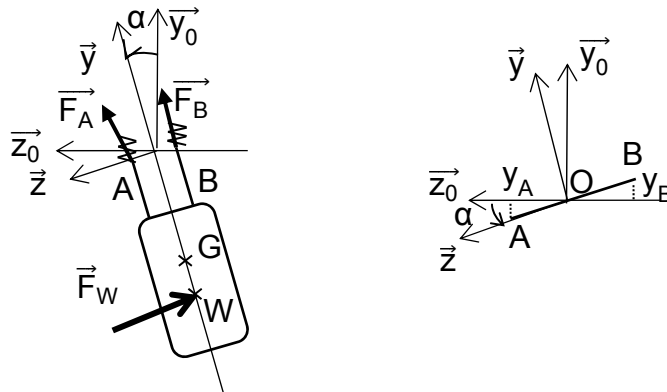


Figure 4 : modélisation des actions mécaniques sur une cabine de type funitel

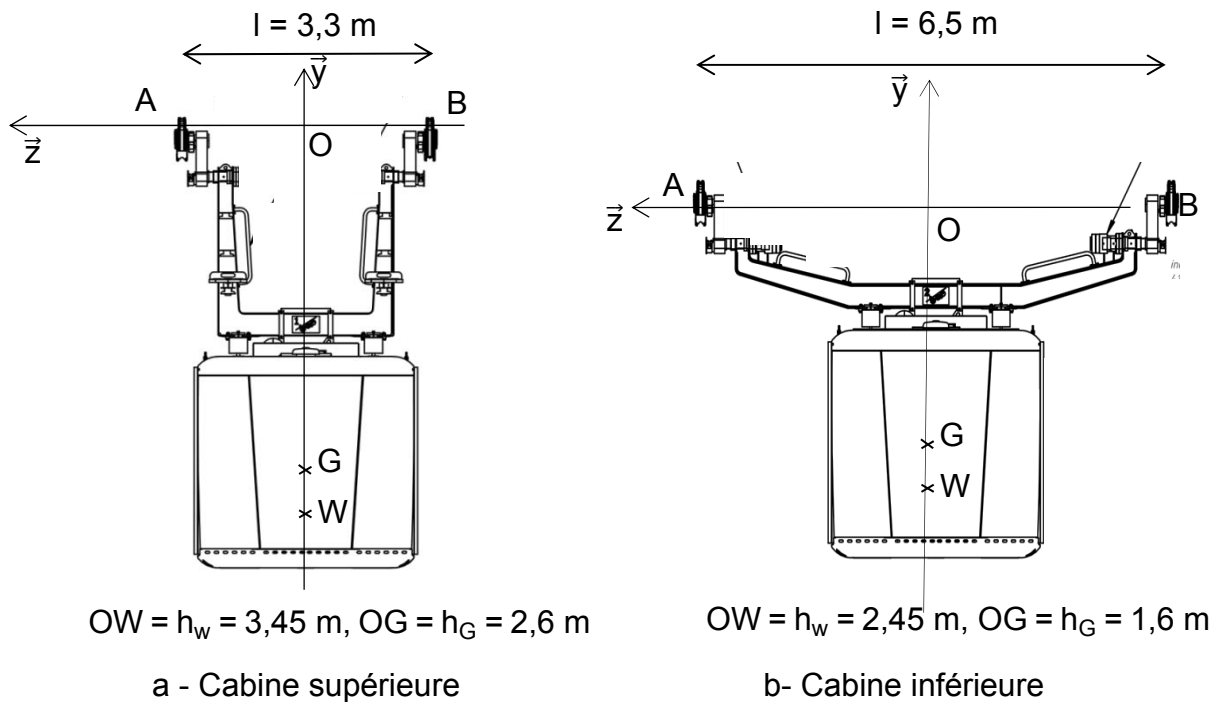


Figure 5 : dimensions des cabines

L'angle d'inclinaison  $\alpha$  de la cabine est lié à l'effort  $\vec{F}_W$  par la relation suivante :

$$\sin \alpha = \frac{h_w F_w}{\frac{kl^2}{2} + h_G mg}$$

On obtient dans ces conditions :

- pour la cabine supérieure  $\alpha = 3,1^\circ$  ;
- pour la cabine inférieure  $\alpha = 0,8^\circ$  .

**Question 7.** Préciser les hypothèses et théorèmes utilisés afin d'obtenir cette relation puis conclure quant à l'exigence de tenue au vent.

### 2.3. Système de compensation de longueur de câble

On s'intéresse à présent au système de compensation de longueur de câble, afin d'en justifier l'existence et de dimensionner les vérins permettant d'actionner le dispositif.

L'installation, présentée sur le document **DT2**, est composée de quatre câbles porteurs de diamètre 50 mm et de deux boucles de câble tracteur de diamètre 25 mm. Chaque câble tracteur est relié à chacune des deux cabines. Le système de traction comporte deux motorisations identiques (gauche et droite).

Le plan d'implantation du **DT2** permet de retenir le modèle et les notations suivants :

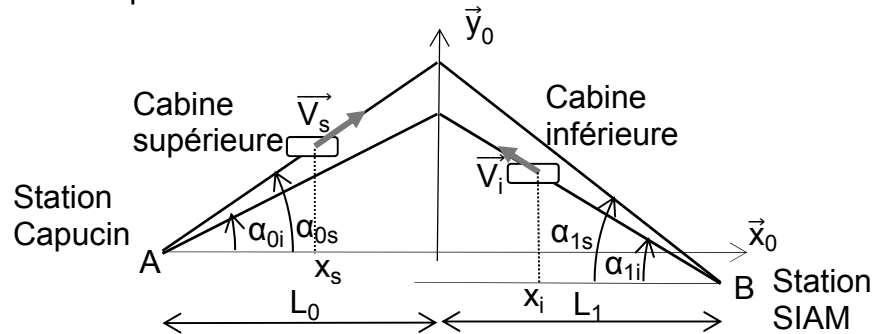


Figure 6 : plan d'implantation

#### Données :

$L_0 = 236,2 \text{ m}$  ;  $L_1 = 174,6 \text{ m}$  ;  
 $\alpha_{0i} = 6,72^\circ$  ;  $\alpha_{0s} = 8,78^\circ$  ;  $\alpha_{1i} = 11,4^\circ$  ;  $\alpha_{1s} = 14,1^\circ$  ;

**Hypothèse** : les câbles sont supposés indéformables.

**Question 8.** Déterminer les distances à parcourir pour chacune des deux cabines et justifier la nécessité d'un système de compensation de longueur pour les câbles de traction.

Le mécanisme de compensation de longueur est décrit sur le schéma plan figure **DT3-a** et en 3D figure **DT3-b** dans le document technique **DT3**. Il comporte deux vérins de compensation dont la course disponible est de 2 mètres.

**Question 9.** Déterminer la course nécessaire des vérins de compensation et valider le choix du vérin.

### 2.4. Tenue des ancrages de câbles

L'étude s'intéresse aux ancrages des câbles permettant le fonctionnement du funiculaire. Il s'agit de déterminer d'abord la tension présente dans les câbles porteurs pour en déduire ensuite le dimensionnement des vérins et des ancrages au sol.

#### 2.4.1. Tension des câbles porteurs

a – Tension induite par le poids des cabines.

Dans un premier temps, seul le poids des cabines est pris en compte. Les câbles porteurs sont supposés inextensibles et de masse négligeable.

Le modèle retenu, si  $\vec{P}$  représente le poids d'une  $\frac{1}{2}$  cabine, est donné figure 7.

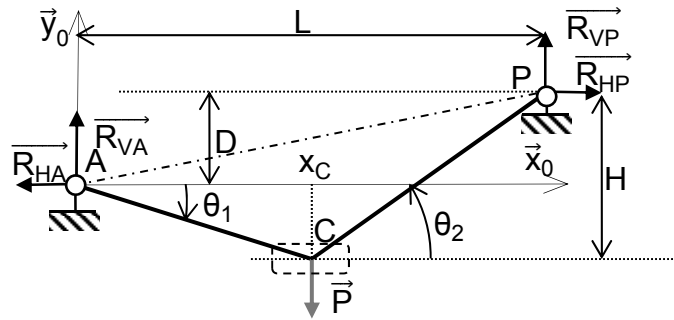


Figure 7 : modèle de l'ensemble câble porteur + cabine

Les efforts en A et P sont :  $\vec{R}_A = -R_{HA}\vec{x}_0 + R_{VA}\vec{y}_0$  et  $\vec{R}_P = R_{HP}\vec{x}_0 + R_{VP}\vec{y}_0$ .

La position de la cabine est repérée par son abscisse  $x_C = \vec{AC} \cdot \vec{x}_0$  où  $0 \leq x_C \leq L$ .

**Question 10.** Déterminer les composantes des efforts en A et en P en fonction de la force  $R_H = R_{HA}$ , du poids de la cabine  $P = \|\vec{P}\|$ , de sa position  $x_C$  et des grandeurs géométriques H, D et L. En déduire la tension  $N(x)$  dans le câble pour  $0 < x < x_C$  et pour  $x_C < x < L$  en fonction de  $R_H$ , P,  $x_C$  et des grandeurs géométriques.

b - Effet combiné du poids propre du câble et des cabines.

Les résultats de simulation figure 8, tiennent compte du poids du câble et des cabines, de la déformation et de la dilatation du câble.

La force limite à la rupture du câble est de 2 743 kN.

**Question 11.** À partir des résultats de simulation donnés figure 8, vérifier la tenue du câble. Évaluer l'effort d'ancrage en A en précisant éventuellement vos hypothèses.

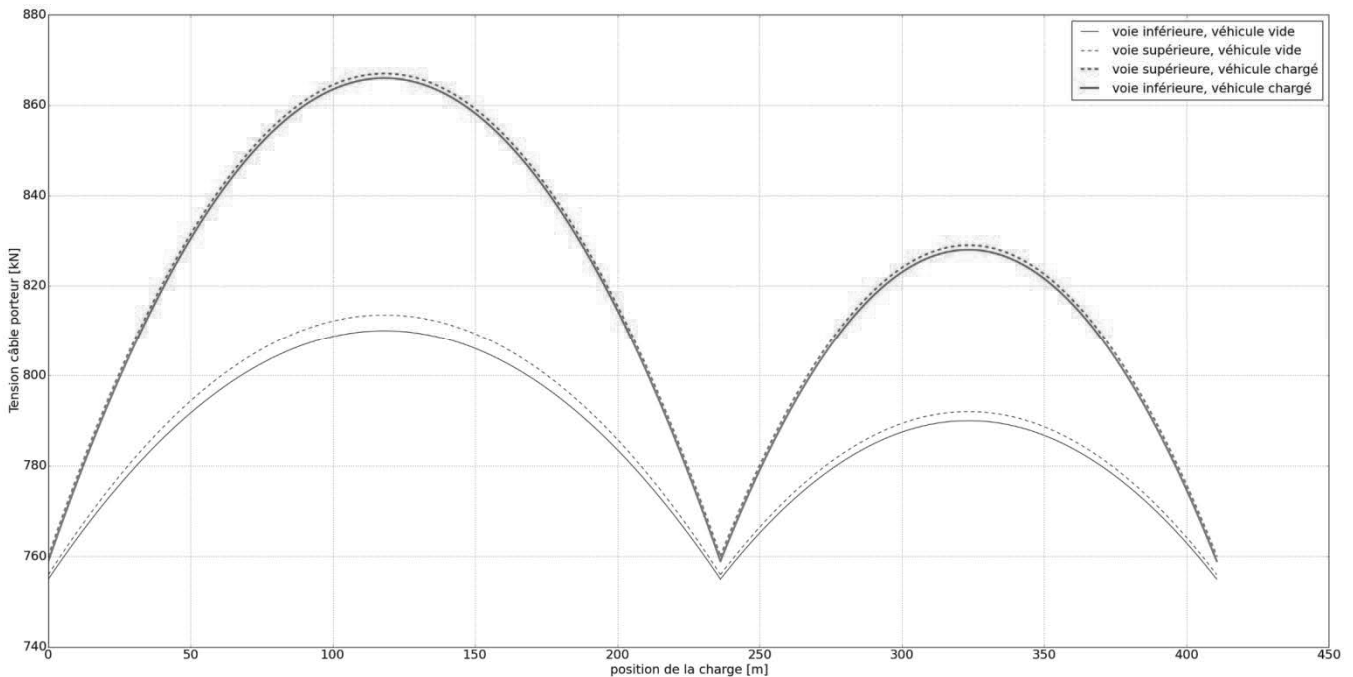


Figure 8 : tension du câble porteur sur le pylône comme fonction de la position de la charge

## 2.4.2. Tenue des ancrages

Les tirants d'ancrage précontraints sont des éléments de construction dont la fonction est de transmettre des efforts au sol, sol meuble ou rocher, par l'intermédiaire d'armatures.

Ils comportent trois parties principales définies figure 10 :

- la **longueur scellée** qui transmet l'effort au sol. La transmission de l'effort s'effectue par le corps d'ancrage réalisé par injection du terrain avec un coulis de ciment ;
- la **longueur libre** qui permet l'allongement du câble lors de sa mise en tension. Dans le but de limiter les pertes de force d'ancrage au cours de la durée d'utilisation de l'ouvrage, il peut être opportun de choisir une longueur libre supérieure à la longueur théorique calculée. En règle générale, la longueur libre ne devrait pas être inférieure à 7 m ;
- la **tête d'ancrage** qui maintient le câble tendu et transmet l'effort du câble à la structure ancrée.

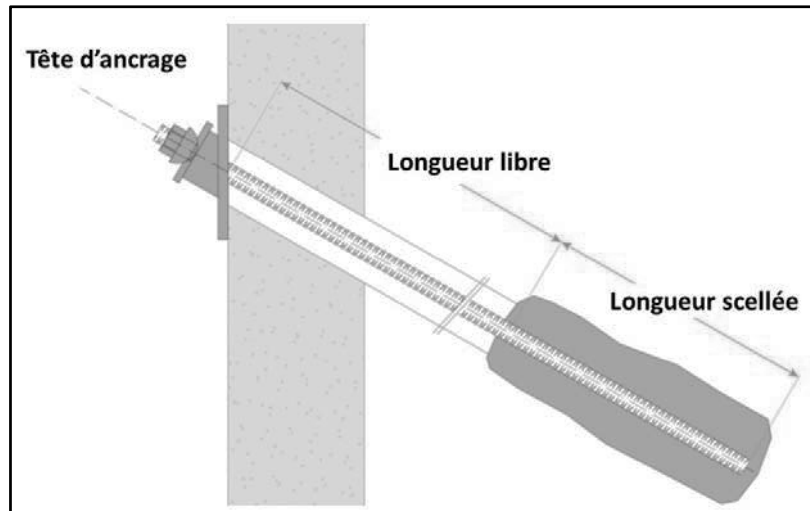


Figure 9 : tirant d'ancrage précontraint

Au niveau de la station SIAM, figure 10, deux câbles permettent de transmettre les efforts liés à la traction des câbles du téléphérique à une poutre en béton fortement armé qui est ancrée au sol via des tirants d'ancrage précontraints.

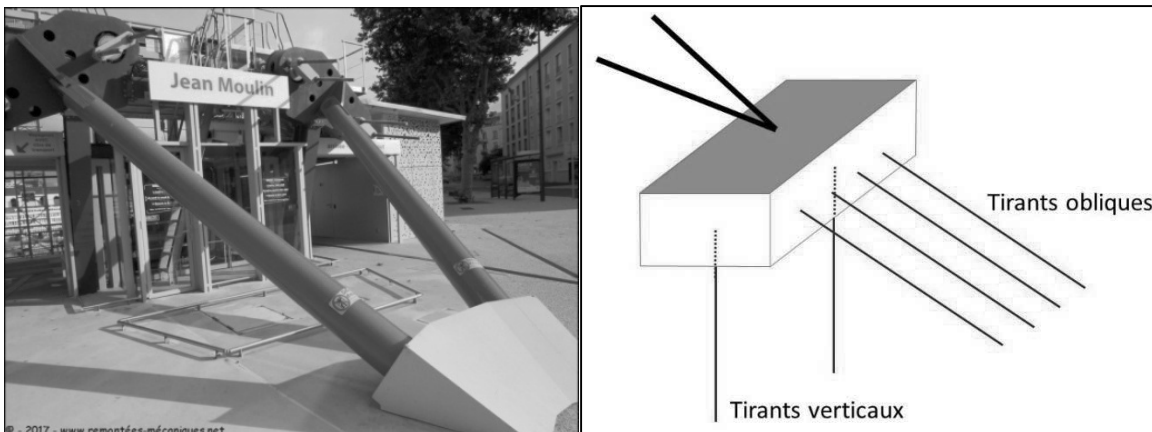


Figure 10 : ancrages à la station Siam

Les tirants ont une capacité unitaire comprise entre 90 t et 140 t (précontrainte) et leur longueur est comprise entre 30 m et 50 m. La poutre est ancrée par :

- 2 tirants verticaux, destinés à empêcher le glissement vertical de la poutre ;
- 4 tirants obliques, avec une inclinaison de 35° par rapport à l'horizontale.

**On limitera l'étude à un tirant oblique de capacité unitaire de 140 t.**

La norme NF EN 1537 recommande de sélectionner une section telle que :

$$S = 1,54 \cdot \frac{T_S}{\sigma_R}$$

S : section ;  $T_S$  : force de traction de service ;  $\sigma_R$  : contrainte de rupture de l'acier.

**Question 12.** À l'aide de la documentation technique du fournisseur dans le document **DT4**, **déterminer** la section minimale puis choisir le tirant précontraint à mettre en place.

**Question 13.** À l'aide du document technique **DT5**, **déterminer** la longueur libre minimale du tirant.

En phase de pré-dimensionnement, les recommandations professionnelles préconisent que la traction de service du tirant  $T_S$  soit inférieure à la traction limite du tirant isolé  $T_u$  avec  $T_S < 0,5 T_u$ .

**Question 14.** **Déterminer** la longueur de scellement  $L_s$  minimale à mettre en œuvre en utilisant la formule de Bustamante :  $T_u = \pi \cdot D_s \cdot L_s \cdot q_s$  où  $q_s$  est le frottement latéral unitaire du sol et  $D_s$  est le diamètre du bulbe de scellement (ici, on prendra  $D_s = 20$  cm). **Déterminer** la longueur minimale du tirant précontraint.

La mise en tension d'un tirant est atteinte par paliers. On impose une traction d'épreuve  $T_e$  supérieure à la traction de service attendue afin de prendre en compte les différentes pertes de tension (immédiates et/ou différées). Ces pertes ne devront pas dépasser 12 à 15 %. Dans le cas des tirants permanents, les recommandations professionnelles conseillent de prendre  $T_e = 1,25 T_S$ .

**Question 15.** **Calculer** la valeur minimale de  $T_e$  et estimer l'allongement théorique du tirant sous cet effort. **Comparer** à l'allongement sous charge maximale du tirant sélectionné.

## 2.5. Commande de motorisation des câbles tracteurs

*L'objectif de cette partie est de mettre en place une commande de la motorisation des câbles tracteurs permettant d'éviter les écarts de positions.*

Un schéma descriptif du système de traction, sans sa motorisation, est donné sur le document technique **DT3**. La motorisation ainsi que son diagramme de définition des blocs sont fournis sur le document technique **DT6**.

Ce système comporte deux câbles tracteurs, avec leur motorisation. Les deux poulies motrices sont accouplées et entraînées par deux motorisations identiques. Chaque câble entraîne les deux cabines, l'un relié à la gauche des véhicules, l'autre à la droite.

Pour entraîner les cabines en translation, les déplacements des deux câbles doivent être identiques.

Afin de détecter tout écart, le déplacement est mesuré en cinq points par des codeurs incrémentaux :

- un sur chaque moteur principal ;
- un sur l'une des deux poulies motrices principales (accouplées) ;
- un sur chacune des deux poulies motrices de secours.

Un schéma acasual du système de motorisation des câbles tracteurs est fourni partiellement sur le document réponse **DR1**. Sur ce schéma, seule une motorisation est représentée. Les entrées du bloc commande sont les cinq mesures de position. Ce bloc commande en déduit les lois de déplacement des moteurs et des vérins.  
 Les masses en translation  $M_i$  et  $M_s$  modélisent les demi-véhicules supérieur et inférieur.

**Question 16.** Sur le **DR1**, compléter le schéma à l'aide des informations fournies en y intégrant les capteurs de position.

Lorsque les deux moteurs sont pilotés avec des consignes de vitesses identiques  $V_c$ , il apparaît de forts écarts entre les positions des deux moteurs, pouvant être préjudiciable à l'accouplement entre les deux poulies motrices.

Pour pallier ces écarts, le constructeur souhaite modifier la loi de commande de la façon suivante : si un écart de position supérieur à une valeur  $\epsilon_m$  apparaît, une procédure de resynchronisation est lancée. Le moteur en avance est ralenti (sa vitesse est diminuée par deux soit  $\frac{V_c}{2}$ ) jusqu'à ce que l'écart de position s'annule.

**Notations :**

Entrée :	Sortie :
Mesure position moteur droit : mesd	Commande de vitesse moteur droit : $V_d$
Mesure position moteur gauche : mesg	Commande de vitesse moteur gauche : $V_g$

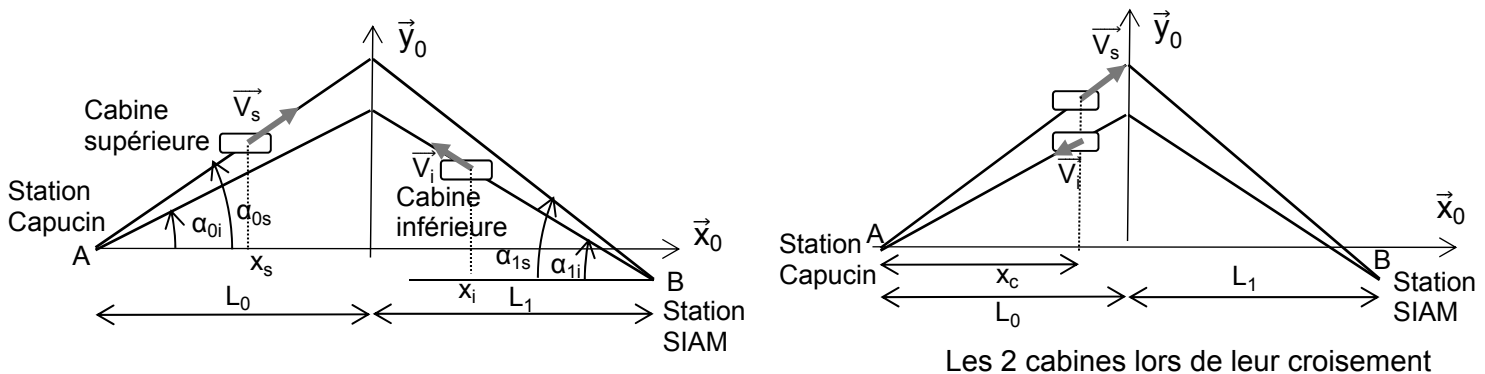
**Question 17.** Compléter l'algorithme proposé sur le document réponse **DR2**.

**2.6. Dimensionnement de la motorisation**

On souhaite vérifier le dimensionnement des moteurs de traction.

La structure de la motorisation est définie sur le document technique **DT6**.

Le plan d'implantation du document technique **DT2** permet de retenir le modèle et les notations suivants :



**Figure 11 : plan d'implantation**

**Données :**

$L_0 = 236,2 \text{ m}$  ;  $L_1 = 174,6 \text{ m}$  ;  
 $\alpha_{0i} = 6,72^\circ$  ;  $\alpha_{0s} = 8,78^\circ$  ;  $\alpha_{1i} = 11,4^\circ$  ;  $\alpha_{1s} = 14,1^\circ$  ;

### Notations :

$M_i, M_s$ :	masse d'une cabine pleine respectivement inférieure et supérieure
$\mu_t$ :	masse linéique des câbles tracteurs
$L_i, L_s$ :	longueur des câbles tracteurs (inférieur et supérieur)
$V_s$ :	vitesse de la cabine supérieure ; $V_s = 7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
$V_i = k_i \cdot V_s$ :	vitesse de la cabine inférieure
$D_p$ :	diamètre d'une poulie motrice ; $D_p = 2 \text{ m}$ (4 poulies)
$I_m$ :	inertie d'une poulie motrice et de l'arbre moteur
$I_p$ :	inertie d'une poulie de renvoi (supposées toutes identiques) (6 poulies)
$r$ :	rapport de transmission du réducteur ; $r = 0,0483$
$\eta_r$ :	rendement du réducteur ; $\eta_r = 0,95$

### Hypothèses :

- pour cette partie on considère le système de compensation fixe ainsi que les contrepoids ;
- les cabines sont situées initialement dans les stations (cabine supérieure aux Capucins et cabine inférieure à SIAM ou inversement).

**Question 18.** Déterminer l'énergie cinétique galiléenne, notée  $E_{cT}$ , des câbles tracteurs, des deux cabines et de la motorisation, en fonction de  $V_s$  et des données du problème. En déduire l'expression de  $M_{eq}$  défini par  $E_{cT} = \frac{1}{2} M_{eq} V_s^2$ .

Les durées  $t_{m1}$ ,  $t_{m2}$  et  $t_f$  correspondent respectivement aux instants de fin de montée de la première cabine arrivée au pylône, fin de montée de la seconde cabine et temps final (arrivée des deux cabines aux stations).

**Question 19.** Préciser en justifiant la phase de fonctionnement la plus défavorable pour le dimensionnement du moteur (positions et sens des cabines). Déterminer la puissance galiléenne, notée  $P_p$ , des actions de pesanteur sur l'installation en fonction de  $V_s$  et des données dans la situation la plus défavorable définie dans la question.

Le théorème d'énergie cinétique s'écrit :

$$\frac{dE_c(S/R_g)}{dt} = P_{int} + P(\text{ext} \rightarrow S / R_g)$$

où  $E_c(S/R_g)$  est l'énergie cinétique d'un système  $S$  en mouvement par rapport au référentiel galiléen  $R_g$ ,  $P_{int}$  les puissances intérieures et  $P(\text{ext} \rightarrow S / R_g)$  les puissances des actions mécaniques extérieures appliquées à  $S$ .

**Question 20.** En déduire une estimation de la puissance galiléenne maximale nécessaire, notée  $P_T$  pour l'entraînement de la ligne entre les gares dans la situation étudiée, en fonction de  $V_s$  et de l'accélération  $\dot{V}_s$ . En déduire l'expression du couple maximal sur la poulie  $C_r$  sur la poulie motrice dans ces conditions.





## 2.7. Exploitation pédagogique

*Dans cette partie, il est question de réinvestir l'étude du chapitre 2.5 pour créer une activité à destination d'élèves de première STI2D en enseignement de spécialité I2D. Cette activité devra permettre de cibler la compétence CO6.2 du document pédagogique DP1 « Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multi physique ».*

- Question 23.** À partir de l'étude traitée dans la partie 2.5, **proposer** une activité pratique destinée à des élèves de STI2D permettant d'aborder la compétence CO6.2 et le chapitre 3.1 des connaissances associées.
- Question 24.** Afin de mettre en place une évaluation formative pendant l'activité, **identifier** trois indicateurs de performance permettant de savoir si un élève a acquis ou non la compétence ciblée.
- Question 25.** **Proposer** une stratégie de remédiation pour les élèves n'ayant pas acquis la compétence.

## Partie 3. Optimisation énergétique

---

*Objectif : diminuer le coût énergétique du système. Dans un premier temps, il s'agira de déterminer la quantité d'énergie nécessaire pour le bon fonctionnement du système, puis la quantité pouvant être récupérée. Enfin il sera demandé de proposer une solution pour diminuer la facture énergétique.*

---

### 3.1. Bilan énergétique d'un trajet

*On souhaite dans un premier temps quantifier le besoin énergétique lors d'un cycle de déplacement.*

**Question 26.** Une simulation **DR3**, permet d'afficher les puissances le long d'un cycle pour une loi d'accélération donnée. **Justifier** sur le **DR3** les allures des courbes obtenues.

**Question 27.** **Préciser** s'il est possible de récupérer de l'énergie pour la restituer et **justifier** la nécessité de recourir à une source extérieure.

### 3.2. Analyse structurelle du système de pilotage des moteurs et du système de récupération d'énergie.

*On souhaite à présent déterminer la quantité d'énergie récupérable lors du fonctionnement du système.*

Les moteurs sont pilotés par une électronique de puissance, dite en configuration « maître/esclave ». Le premier variateur de fréquence (couramment appelé onduleur) pilotant le premier moteur, est maître de la vitesse qu'il impose à l'arbre d'entraînement. Pour assurer cette vitesse, il doit donc donner sur son rotor un couple donné. Il demande donc au second variateur de fréquence de réaliser la moitié de ce couple, et réalise lui-même la moitié également.

Ces deux variateurs prennent (ou restituent) leur énergie non pas directement sur le réseau d'alimentation en aval du transformateur principal, mais sur une source de tension continue, générée par une première électronique de puissance, convertissant la tension alternative de 400 V 50 Hz du secondaire du transformateur en une tension continue sur un BUS. Cette technologie assure une consommation ainsi qu'une restitution de l'énergie sur le réseau électrique répondant à la réglementation en vigueur en termes de pollution harmonique des réseaux électriques.

Pour des raisons de disponibilité, cette électronique de puissance (redresseur) assurant le lien entre réseau et bus continu a été redondée. Toutefois un seul redresseur ne sera actif à la fois.

Un synoptique de la commande des moteurs est donné figure 13 :

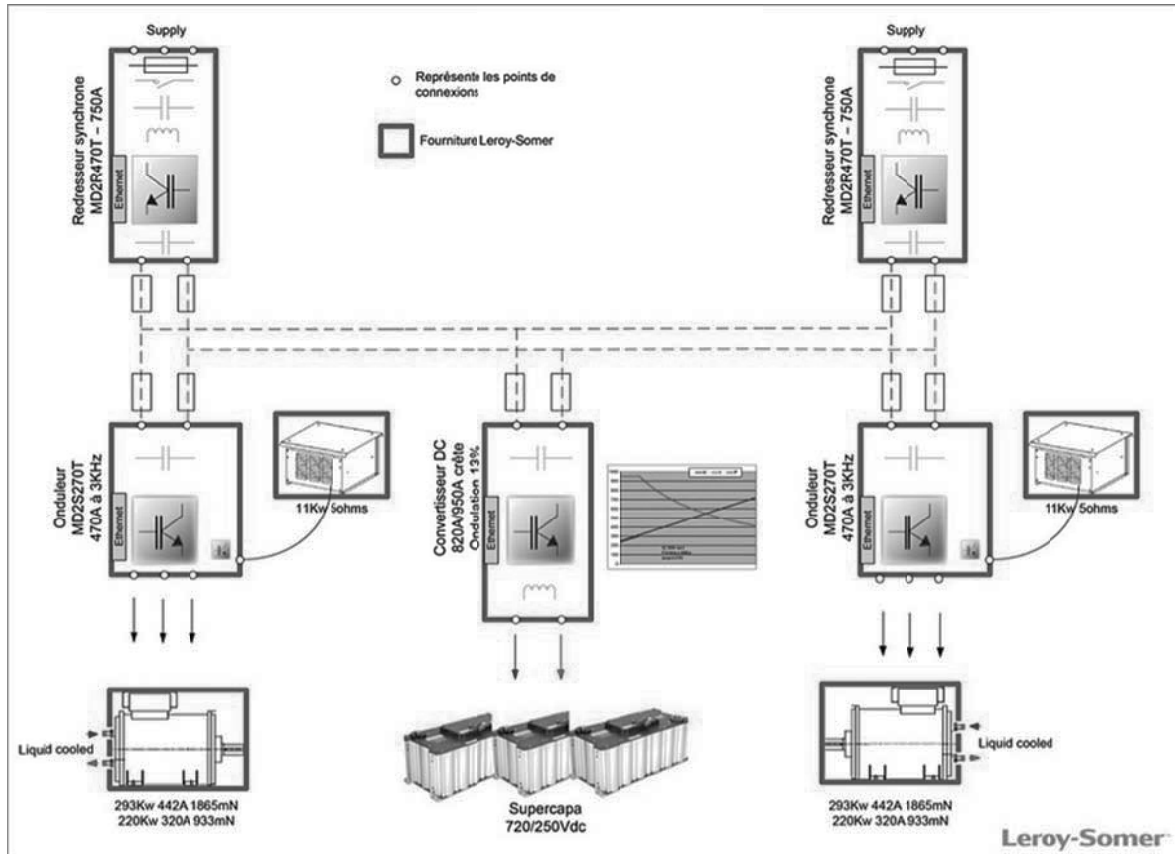


Figure 13 : synoptique des composants utilisés

On s'intéresse à l'intégration sur le bus continu d'un système innovant de récupération d'énergie.

**Question 28.** En utilisant le document technique **DT7** « comparatif des solutions de stockage de l'énergie électrique », **rédigier** une synthèse explicitant les cas dans lesquels l'utilisation de super-condensateurs est appropriée ; **argumenter** ce choix dans le cadre du système étudié.

On suppose que l'on récupère l'énergie uniquement lorsque les deux cabines descendent.

**Question 29.** À l'aide du document **DR3**, **quantifier** l'énergie récupérable sur un cycle de déplacement (pour une charge de 100% correspondant à une cabine pleine).

Les redresseurs sont du type AFE (Composante d'Active Front End) alimentés par le réseau triphasé 400 V 50 Hz. Par conséquent la tension sur le bus continu est de 720 V.

Dans un pré dimensionnement, on suppose que l'énergie stockée par la capacité est :

$$w = \frac{1}{2} cv^2 \text{ , où c est la capacité et v la tension}$$

**Question 30.** **Déterminer** la capacité c nécessaire pour stocker l'énergie dans ces conditions.

Les caractéristiques des capacités sont données dans le document technique **DT8**.

Quel que soit le résultat obtenu précédemment, on supposera c = 34,1 farads.

**Question 31.** **Déterminer** le nombre de modules ainsi que leur couplage ou association.

Les capacités sont connectées au bus continu à travers un convertisseur DC/DC qui permet de limiter les tensions maximales aux bornes de l'ensemble des capacités de 250 V à 720 V. La valeur mini de 250 V permet de ne pas décharger trop les condensateurs.

Comme les super-condensateurs ne sont pas parfaits, leur capacité évolue en fonction de la tension à leurs bornes. On peut approximer l'évolution à une droite affine du type  $c(v) = a.v + c_1$ . Des études montrent qu'à 100 % de  $v$ , on a 130 % de la capacité (égale donc à 34,1 F) et à 0 % de  $v$  on obtient 80 % de  $c$ .

**Question 32. Déterminer** la valeur des paramètres  $a$  et  $c_1$ .

Sachant que pour un condensateur on a :

$$i(t) = c \frac{dv(t)}{dt}$$

$$w_c(t) = \int_0^t p(t)dt, \text{ avec } p(t) = v(t).i(t)$$

où  $i(t)$  est l'intensité,  $v(t)$  la tension aux bornes,  $p(t)$  la puissance électrique et  $w_c(t)$  l'énergie emmagasinée.

**Question 33. Démontrer** l'équation suivante :

$$w_c = \frac{1}{2} c_1 (V_{\max}^2 - V_{\min}^2) + \frac{1}{3} a (V_{\max}^3 - V_{\min}^3)$$

avec  $V_{\max}$  la tension en fin de charge et  $V_{\min}$  la tension en début de charge.

**Question 34. Calculer** l'énergie (en kWh) stockée lors d'une charge. **Conclure** sur l'efficacité du dispositif de stockage d'énergie.

### 3.3. Optimisation de la consommation électrique

*On souhaite trouver un moyen d'optimiser la consommation d'énergie électrique afin de diminuer la facture énergétique.*

Le téléphérique est alimenté en énergie électrique par le fournisseur d'électricité. Le contrat de tarification est le tarif jaune calibré à une puissance de 240 kVA (on pourra confondre les kVA avec des kW pour l'étude).

Ce tarif comprend les éléments principaux de facturations suivants :

- une prime fixe annuelle qui est de 42,48 euros du kVA (puissance apparente) souscrit,
- la consommation qui est de 0,15 euros du kWh (tarif variant suivant les options et périodes),
- le dépassement de puissance souscrite qui est de 14,31 euros de l'heure de dépassement.

**Question 35.** À l'aide du document DR3, **déterminer** la quantité d'énergie extérieure pour un cycle. **Proposer** une stratégie de gestion d'énergie entre l'énergie stockée et l'énergie du fournisseur d'électricité qui permettra d'éviter les dépassements de puissance.

**Question 36.** **Déterminer** le coût énergétique journalier (le téléphérique fonctionne 12 heures par jour et il effectue en moyenne 8 cycles par heure).

## Partie 4. Stratégie pédagogique

*On souhaite exploiter le funitel de Brest dans le cadre d'une séquence d'enseignement de la spécialité 212D en classe de terminale STI2D.*

Le contexte pédagogique est le suivant :

- la classe est constituée de 32 élèves de terminale STI2D ;
- les élèves se répartissent équitablement sur deux enseignements spécifiques, l'un du domaine de la matière (AC ou ITEC), l'autre du domaine de l'énergie et information (EE ou SIN) ;
- on se place au second trimestre de l'année de terminale ;
- la séquence à construire doit permettre de viser les compétences C06.2 et CO6.5.

**Question 37. Proposer** la définition d'une séquence pédagogique.

**Rédiger** la réponse sous forme d'une fiche de séquence (le format est laissé libre) en veillant à préciser :

- le choix du contexte pédagogique retenu pour les enseignements spécifiques représentés dans la classe de terminale STI2D (AC ou ITEC, EE ou SIN) ;
- le rappel des compétences visées ;
- les connaissances associées aux compétences ;
- la démarche pédagogique retenue en veillant à **justifier son choix** ;
- les activités proposées et leur enchaînement au fil de la séquence ;
- une estimation de la durée de chaque étape de la séquence ;
- les modalités d'évaluation envisagées ;
- le contexte matériel, notamment les supports autres que le funitel de Brest mobilisés dans la séquence.

On pourra réinvestir les réponses aux questions d'ordre pédagogique des parties 1 à 3.

## DOCUMENTS TECHNIQUES

<b>DT1</b>	Les transports aériens par câbles en milieu urbain	4 pages
<b>DT2</b>	Description du funitel de Brest	3 page
<b>DT3</b>	Schémas du système d'entraînement des câbles tracteurs	1 page
<b>DT4</b>	Document technique Tirant Permanent / Freyssinet	2 pages
<b>DT5</b>	Extraits de l'étude géotechnique d'avant-projet	1 page
<b>DT6</b>	Motorisation	1 page
<b>DT7</b>	Solutions de stockage de l'énergie	1 page
<b>DT8</b>	Module de supercondensateur M65V375F	1 page

## DOCUMENTS PÉDAGOGIQUES

<b>DP1</b>	Programme du baccalauréat STI2D (extraits)	5 pages
------------	--	---------

## DT1 1/4 – Les transports aériens par câbles en milieu urbain

La première loi issue du Grenelle Environnement de 2009 identifie clairement les transports par câble parmi les alternatives pouvant offrir des réponses performantes dans une politique de réduction des nuisances et des émissions de pollutions et de gaz à effet de serre adaptées au milieu urbain. Les modes de transport participent à l'identité de la ville par une intégration et une acceptation réussie, comme le tramway historique de Lisbonne. Le transport par câble aérien a potentiellement des atouts similaires en donnant accès à de nouveaux paysages, en apportant une nouvelle dimension, non seulement au déplacement quotidien, mais également à l'espace urbain, faisant ainsi du transport par câble une solution qui ne se réduit pas à une utilisation réservée aux stations de sports d'hiver.

### Typologie des systèmes de transport par câbles

L'expression « transport par câble » désigne tout système de transport dans lequel des véhicules sont mus par l'intermédiaire d'un câble d'acier. Le transport par câble comprend différentes catégories de systèmes (funiculaires, téléphériques, télécabines, funitels ...). On s'intéresse ici plus particulièrement aux systèmes de transport par câble adaptés au milieu urbain.

Suivant le nombre et la fonction des câbles employés, on distinguera plusieurs technologies d'installations aériennes de transport par câble :

- système monocâble : système de transport par câble aérien disposant d'un seul câble à la fois porteur et tracteur ;
- système bicâble: système de transport par câble aérien disposant d'un câble porteur et d'un câble tracteur ;
- système tricâble : système de transport par câble aérien disposant de deux câbles porteurs et d'un câble tracteur.

### TÉLÉPHERIQUE

#### Principe

Un téléphérique fonctionne à l'aide d'un ou plusieurs câbles fixes dits « porteurs » qui supportent le poids des véhicules par l'intermédiaire d'un chariot équipé de galets de roulement, tandis qu'un, ou plusieurs câbles en mouvement dits « tracteurs », sont fixés à ce chariot et assurent le déplacement des véhicules.

Le téléphérique est généralement à *va-et-vient*, à savoir avec deux cabines fonctionnant chacune en mouvement alterné, mais on trouve également des *téléphériques monovoie*, utilisant une seule cabine.



### TÉLÉCABINE

#### Principe

La télécabine utilise plusieurs petites cabines disposées sur un câble unique à la fois porteur et tracteur.

On trouve généralement des *télécabines débrayables*, à savoir, à mouvement unidirectionnel et équipées de véhicules à attache débrayable qui sont désaccouplés du câble dans les gares pour une circulation à quai à vitesse réduite, sans ralentissement de l'ensemble de l'appareil.



### FUNITEL

#### Principe

Le funitel est un système de remontée mécanique à voie large : les véhicules, généralement équipés d'attaches débrayables comme sur les télécabines, sont suspendus à deux câbles porteurs-tracteurs formant une voie d'environ 3,20 m. Les véhicules transportent en règle générale une trentaine de passagers. Les câbles constituant la voie peuvent être composés de deux boucles distinctes ou d'une double boucle d'un seul câble. Ce principe présente une meilleure résistance au vent, mais sa complexité implique un coût supérieur aux autres solutions.



### Fonctions des câbles

Les câbles des installations de transport par câble aérien peuvent assurer différentes fonctions :

- câble porteur : câble dormant disposé de façon à n'assurer que la sustentation de véhicules comprenant un chariot roulant sur ce câble. Les câbles porteurs ont une fonction comparable à celle assurée par des rails ;
- câble tracteur : câble mobile disposé de façon à transmettre son mouvement aux véhicules qui lui sont attachés, sans assurer leur sustentation ;
- câble porteur-tracteur : câble mobile disposé de façon à transmettre son mouvement aux véhicules qui lui sont attachés, tout en assurant leur sustentation.



### Tenue au vent

Les systèmes de transport par câbles sont confrontés à la présence de vent pouvant nuire au confort des personnes transportées, voire compromettre le fonctionnement du système. Cette contrainte est particulièrement sensible en milieu montagneux, mais est également présente en milieu urbain en fonction de l'environnement.

Les systèmes monocâbles peuvent supporter des vents jusqu'à  $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , et les systèmes bicâbles jusqu'à  $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Les funitels, de par leur voie large, sont particulièrement résistants au vent et peuvent supporter des vitesses de vent de plus de  $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

### Pincement des voies

Les systèmes de transports par câble reposent généralement sur la juxtaposition de deux voies (correspondant aux deux sens de déplacement opposés) qui induisent un encombrement important au niveau des stations de départ et d'arrivée. Pour y remédier, on peut recourir au principe de « pincement des voies » qui consiste à rapprocher – voire superposer – les voies au niveau des stations et à les écarter au cours du trajet afin de permettre le croisement des cabines.

#### Principe de « saut de mouton »

Le pincement des voies dans le plan horizontal est répandu (notamment pour les solutions de type funiculaires), mais peu adapté au système funitel. La société BMF a développé une solution innovante de pincement des voies pour funitel, en concevant un système permettant aux voies de s'écarter dans un plan vertical, réduisant ainsi l'emprise au sol du système. Le décalage des voies dans le plan vertical permettant à une cabine de passer au-dessus de l'autre lors du croisement est ainsi appelé « saut de mouton ».



## DT1 4/4– Les transports aériens par câbles en milieu urbain

**Données technico-économiques des différents systèmes de transport par câble :**

Type de système	Capacité (voy/h/sens)	Vitesse commerciale	Durée de vie des matériels	Portée maximale	
Télécabine monocâble	3200	18 à 22 km·h <sup>-1</sup>	25 à 30 ans	150 à 300 m	
Télécabine bi ou tricâble	4000/4500	21 à 24 km·h <sup>-1</sup>	25 à 30 ans	1,5 à 3 km	
Téléphérique	2000	18 à 35 km·h <sup>-1</sup>	30 à 40 ans	3 km	
Type de système	Coûts d'investissement (hors matériel roulant)	Coût d'un véhicule	Consommation énergétique	Coût d'exploitation par véh.km	
Télécabine monocâble	De l'ordre de 5 à 10 M€/km*	30 k€ (8 places)	Données non consolidées		
Télécabine bi ou tricâble	De l'ordre de 8 à 15 M€/km*	0,3 M€ (35 places)	Données non consolidées		
Téléphérique	Entre 8 et 20M€/km*	0,3 à 1 M€ (40 à 200 places)	Données non consolidées		
Type de système	Emprise en alignement droit	Emprise en courbe	Rayon minimal acceptable	Emprise au sol des stations	Pente maximale admissible
Télécabine monocâble	23 à 24 m (y compris distances latérales de sécurité)**	Tracé rectiligne	Tracé rectiligne	25 x10 m (station d'extrémité) 50 x10 m (station intermédiaire)	60% en général > à 100% avec dispositions constructives
Télécabine bi ou tricâble	24 à 30 m (y compris distances latérales de sécurité)**	Tracé rectiligne	Tracé rectiligne	25 x10 m (station d'extrémité) 50 x10 m (station intermédiaire)	60% en général > à 100% avec dispositions constructives
Téléphérique	24 à 30 m (y compris distances latérales de sécurité)**	Tracé rectiligne	Tracé rectiligne	25 x10 m (station d'extrémité)	60% en général > à 100% avec dispositions constructives

Comparaisons des principales caractéristiques des différents systèmes de transport par câble. Source CETE de Lyon

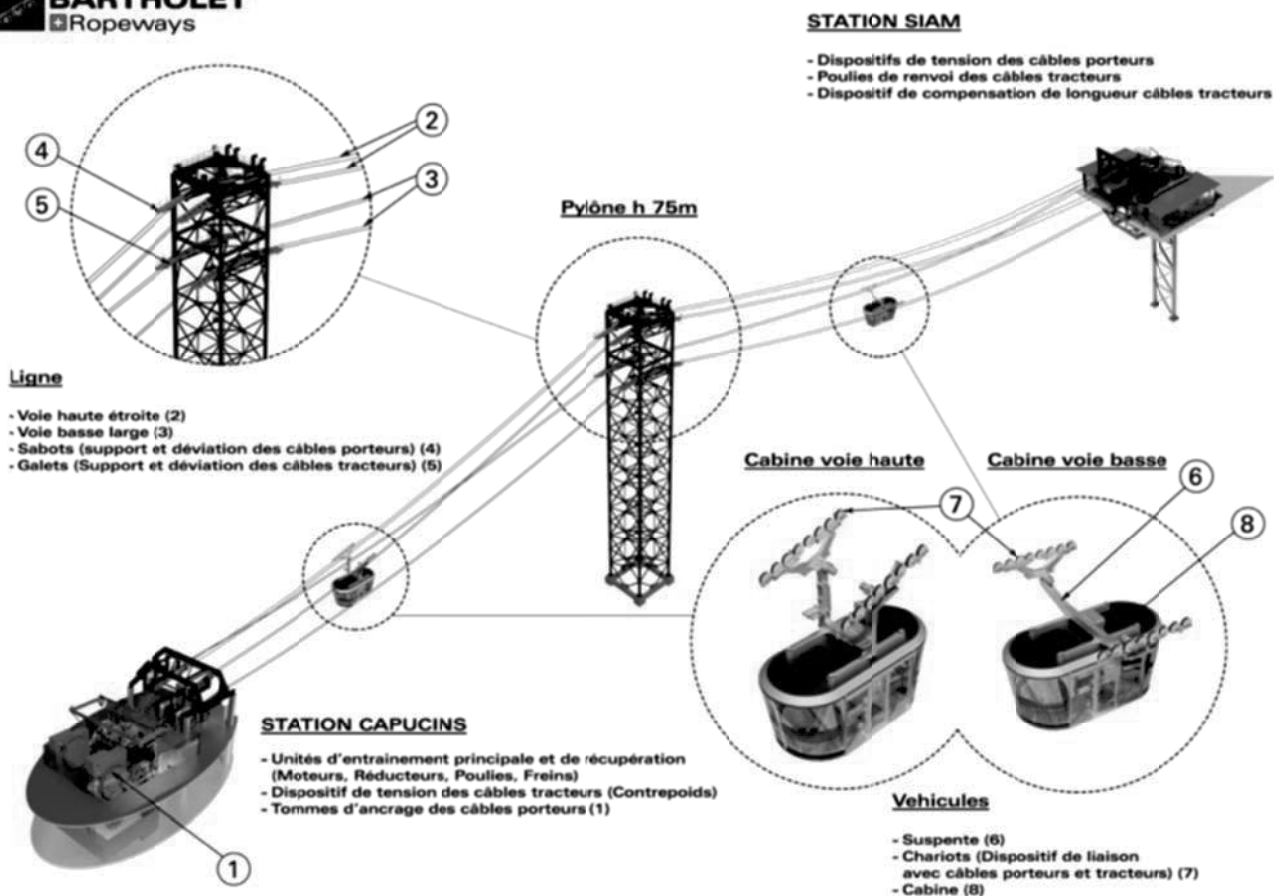
\*Données non consolidées. Les coûts sont en € HT (valeurs de 2010)

\*\*Les valeurs indiquées correspondent à l'espace qui doit être dépourvu d'obstacles à hauteur de passage des cabines.

## DT2 1/3 – Description du funitel de Brest

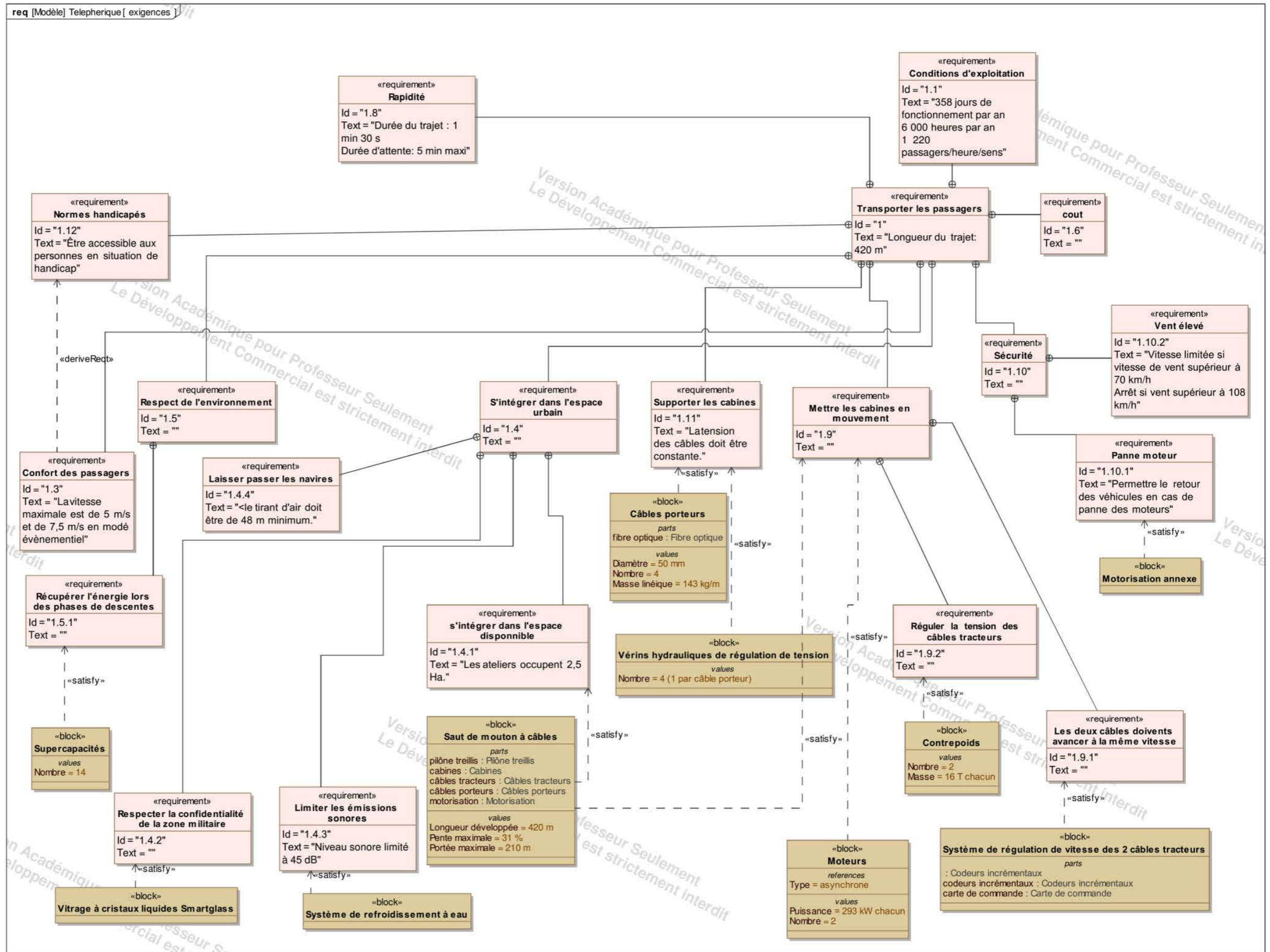
Le funitel de Brest est une liaison par câble reliant la station des Capucins à la station Siam située sur l'autre rive de la Penfeld. La spécificité du funitel de Brest réside dans le pincement des voies qui se fait dans un plan vertical (dispositif dit « saut de mouton », voir DT1), et permet ainsi une bonne intégration dans l'environnement urbain. La ville de Brest a en effet souhaité préserver l'enveloppe du bâtiment qui accueille la station des capucins. Cela implique que les cabines puissent passer sous une même arche en façade du bâtiment. Pour ce faire, les deux voies du funitel sont superposées, et le franchissement de la Penfeld se fait grâce à un pylône central qui permet le croisement de la voie haute (voie étroite) et de la voie basse (voie large) :

**BARTHOLET**  
Ropeways



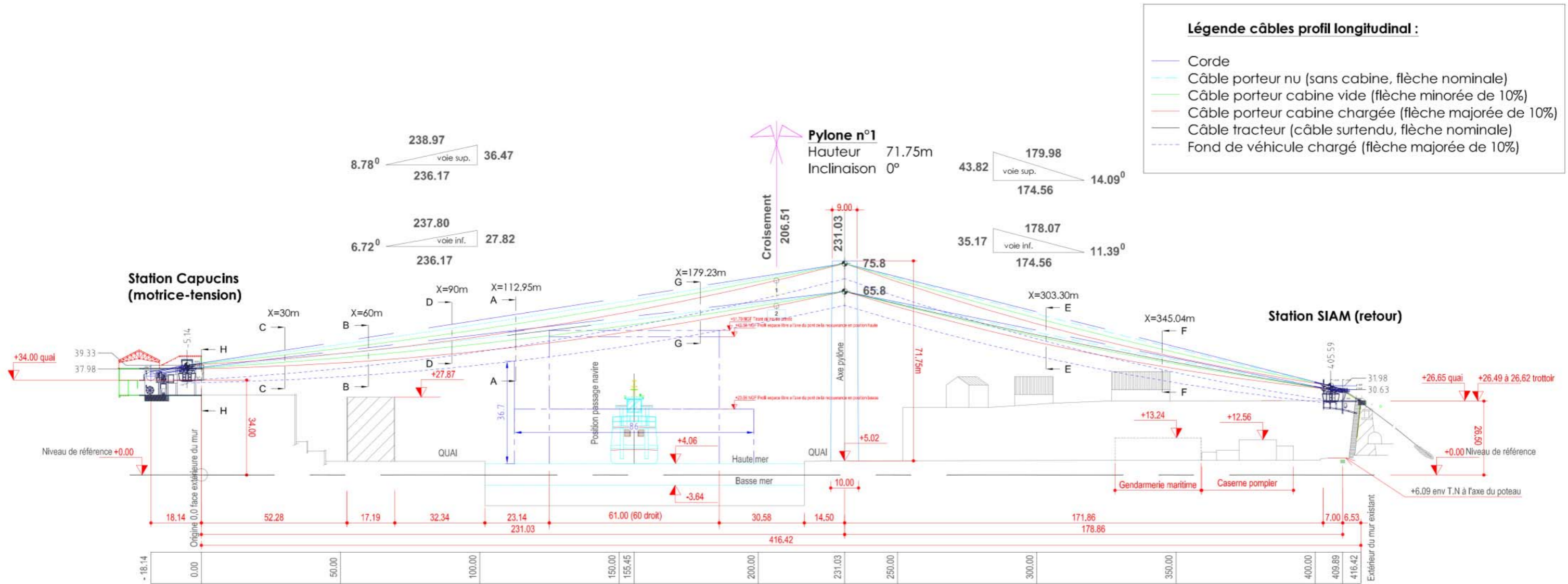
# DT2 2/3 – Description du funitel de Brest

## Diagramme des exigences du système

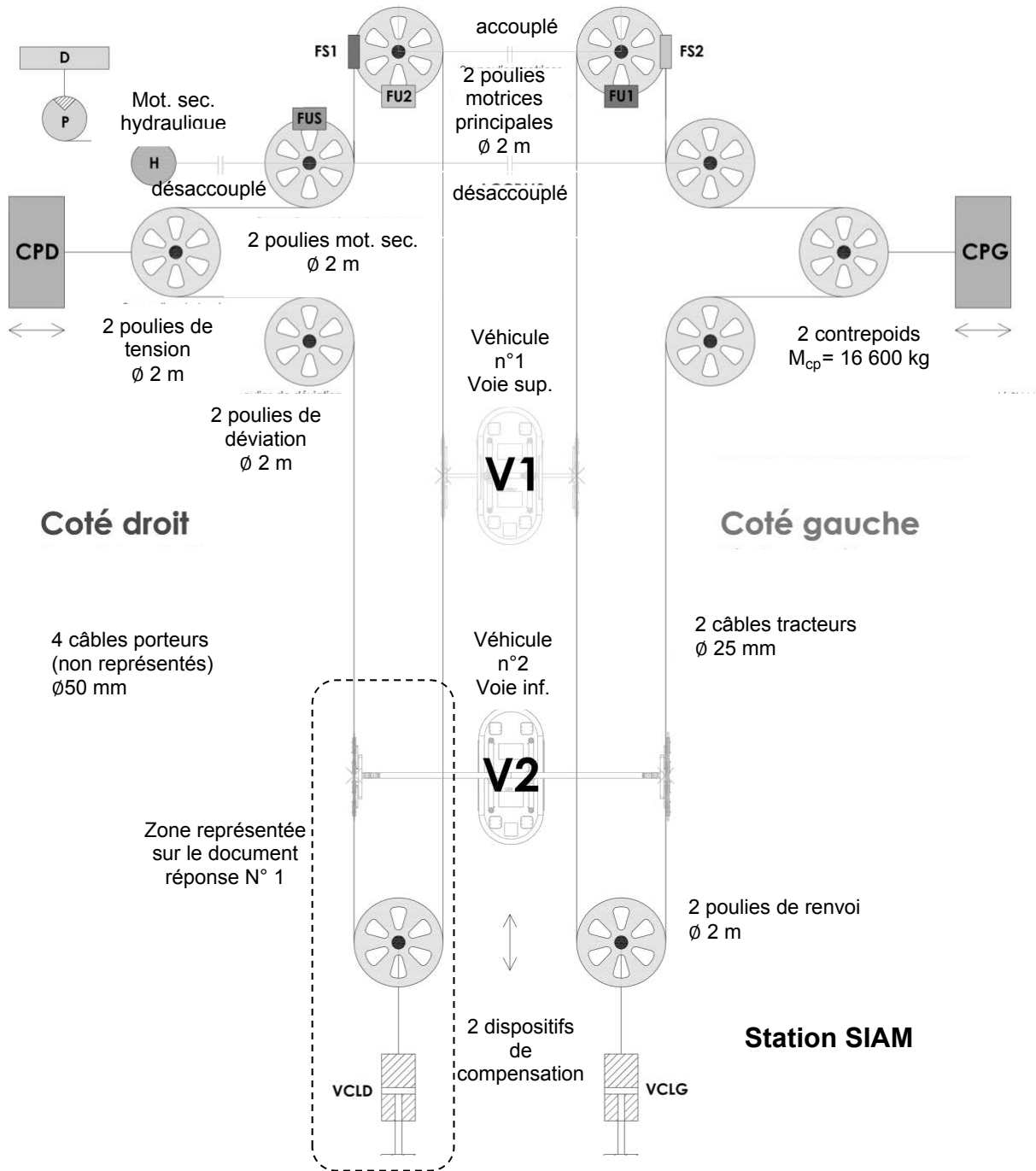




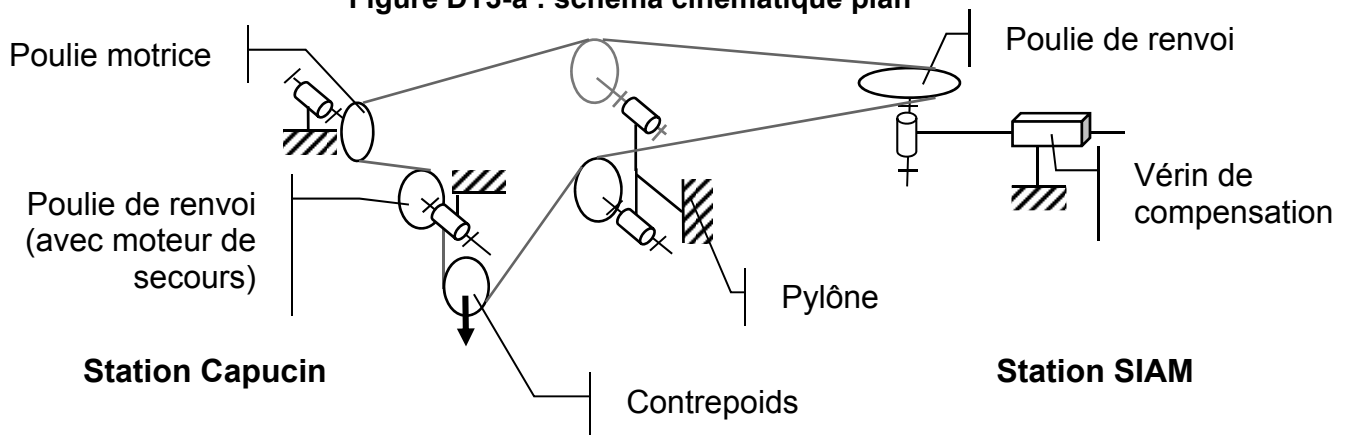
Plan d'implantation du funitel



# DT3 1/1 – Schémas du système d'entraînement des câbles tracteurs



**Figure DT3-a : schéma cinématique plan**



**Figure DT3-b : schéma cinématique spatial d'une motorisation (droite ou gauche)**

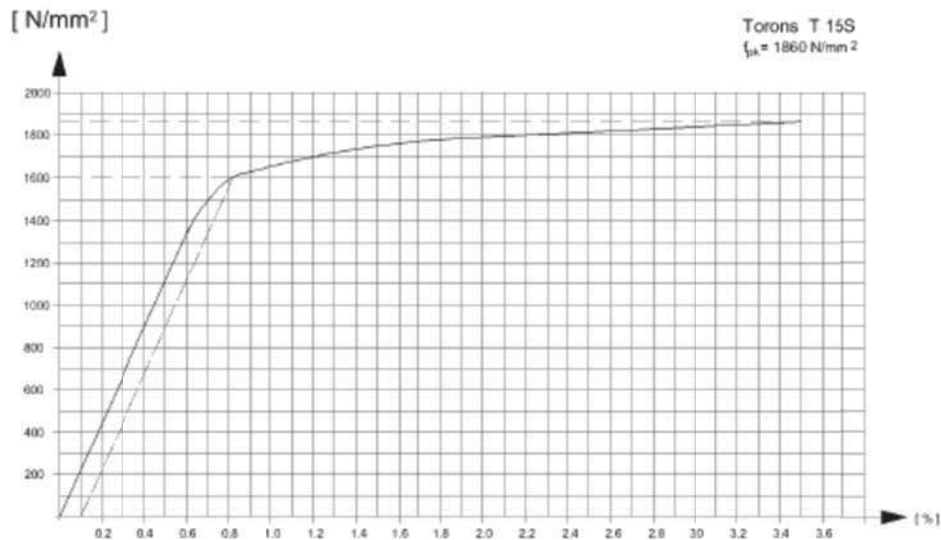
## DT4 1/2 – Tirant Permanent / Freyssinet (extraits)

### 2.2.2 Caractéristiques des torons

#### 2.2.2.1 Torons T15S / $A_p = 150 \text{ mm}^2$ / $f_{pk} = 1860 \text{ N/mm}^2$ (Y1860S7-15,7)

Les torons utilisés correspondent en tout point aux exigences de la norme SIA 262 (2003).  
Les principales caractéristiques en sont rappelées ci-dessous.

Type de torons		T15S
Diamètre	[mm]	15,7
Section $A_p$	[mm <sup>2</sup> ]	150
Résistance à la traction $f_{pk}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	1860
Limite d'écoulement $f_{p0,1k}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	1600
Allongement sous charge maximale $\epsilon_{pk}$	[%]	$\geq 3,5$
Striction	[%]	$\geq 30$
Module d'élasticité $E_p$	[kN/mm <sup>2</sup> ]	195
Ténacité	Essai de pliage (fil central)	$n \geq 4$
	Essai de traction déviée	$k_1 \geq 0,72$
Résistance à la fatigue	$\sigma_s = 0,7 f_{pk}$ $\Delta\sigma_{s,perm} = 200 \text{ N/mm}^2$	$2 \cdot 10^6$ alternances
Relaxation	à 1 000 heures, 20 °C, $0,7 f_{pk}$	$\leq 2,5 \%$



### 2.2.1 Dénomination des tirants et des têtes d'ancrage

#### Dénomination des tirants

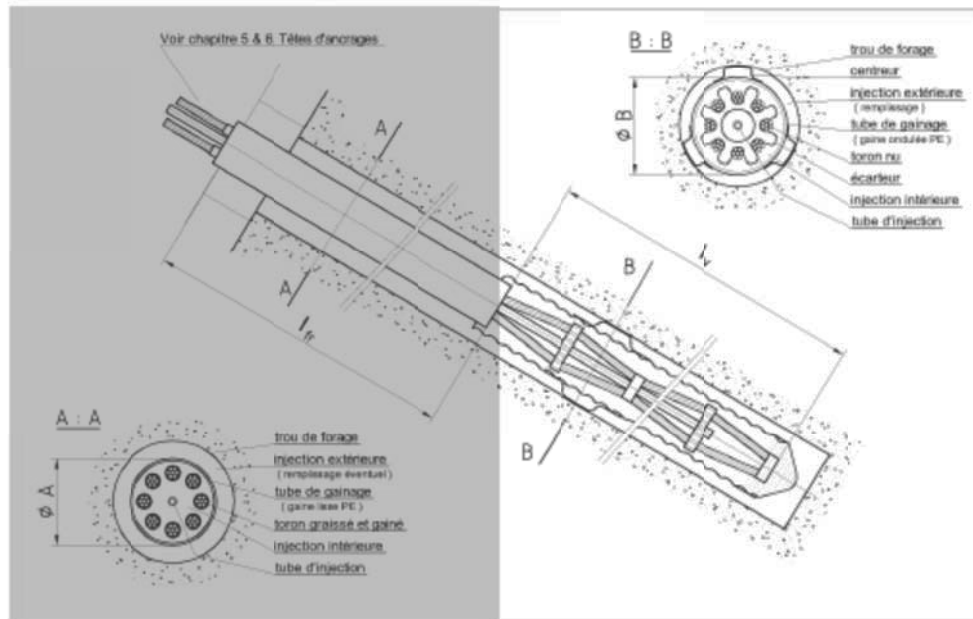
Les tirants précontraints Freyssinet sont définis comme suit :

1. un chiffre qui indique le nombre de brins (torons) qui constituent le tirant,
2. la lettre T signifiant qu'il s'agit d'un tirant à torons,
3. un deuxième chiffre définissant le type de torons :  
T15S désigne un toron de diamètre 15,7 mm et de section 150 mm<sup>2</sup>.

Exemple : 4T15S désigne un tirant de 4 torons de  $\phi$  15,7 mm,

## DT4 2/2 – Tirant Permanent / Freyssinet (extraits)

### 2.5.1 Tirants permanents Type P à torons T15S, $f_{pk} = 1860 \text{ N/mm}^2$



Tirant type	Ø A (mm)	Ø B (mm)	$A_p$ (mm <sup>2</sup> )	$P_{pk}$ (kN)	$P_p$ max (kN) $0,75 f_{pk}$	$P_s$ max (kN) $0,60 f_{pk}$	$P_s$ min (kN) $0,30 f_{pk}$	$P_{pr}$ max (kN) $0,82 f_{pk}$
2T15S	75	105	300	558	419	335	167	458
3T15S	75	105	450	837	628	502	251	686
• 4T15S	75	105	600	1116	837	670	335	915
5T15S	75	105	750	1395	1046	837	419	1144
6T15S	75	105	900	1674	1256	1004	502	1373
• 7T15S	75	105	1050	1953	1465	1172	586	1601
8T15S	100	130	1200	2232	1674	1339	670	1830
9T15S	100	130	1350	2511	1883	1507	753	2059
10T15S	100	130	1500	2790	2093	1674	837	2288
11T15S	100	130	1650	3069	2302	1841	921	2517
12T15S	100	130	1800	3348	2511	2009	1004	2745
• 13T15S	100	130	1950	3627	2720	2176	1088	2974
14T15S	125	155	2100	3906	2930	2344	1172	3203
15T15S	125	155	2250	4185	3139	2511	1256	3432
16T15S	125	155	2400	4464	3348	2678	1339	3660
17T15S	125	155	2550	4743	3557	2846	1423	3889
18T15S	125	155	2700	5022	3767	3013	1507	4118
• 19T15S	125	155	2850	5301	3976	3181	1590	4347

• Têtes d'ancrage pleinement utilisées  
 Ø A = diamètre extérieur théorique de la gaine PEHD, Ø B = diamètre extérieur maximal du tirant (y compris centreurs)



## DT5 1/1 – Extraits de l'étude géotechnique d'avant-projet

**Géologie prévisionnelle :** D'après l'expérience locale et la carte géologique de BREST, le site est constitué des formations suivantes de haut en bas :

- des remblais d'aménagement généraux sur de fortes épaisseurs,
- un substratum gneissique, plus ou moins altéré en tête.

Contexte géotechnique :

Sous 3,7 m à 19,1 m de remblais, présence de gneiss altéré à compact avec de très bonnes caractéristiques mécaniques. Le fond de fouille prévisible sera hétérogène : remblais majoritairement et gneiss rocheux latéralement.

Type 1 : Remblais sablo-graveleux à limon-graveleux marron beige, avec localement présence de briques, d'ardoises, de béton et de maçonneries

Profondeur de la base : de 3,7 m à 19,1 m,

Caractéristiques géotechniques :

- Pression limite ( $p_l^*$ ) : 0,03 à 1,4 MPa
- Module pressiométrique (EM) : 0,3 à 13,8 MPa

Commentaire Type 1 :

- cette formation présente des caractéristiques mécaniques très hétérogènes.

Type 2 : Gneiss altéré à compact, fracturé par endroits

Profondeur de la base : au-delà de 19,1 m,

Caractéristiques géotechniques :

- pression limite ( $p_l^*$ ) : 2,6 à 5,05 MPa => valeur retenue : 4 MPa
- module pressiométrique (EM) : 17,1 à 1028 MPa => valeur retenue : 100 MPa
- frottement latéral unitaire «  $q_s$  » : 267 kPa

Commentaires Type 2 :

- horizon aux caractéristiques mécaniques bonnes à très bonnes.
- frange d'altération se développant sur quelques décimètres.

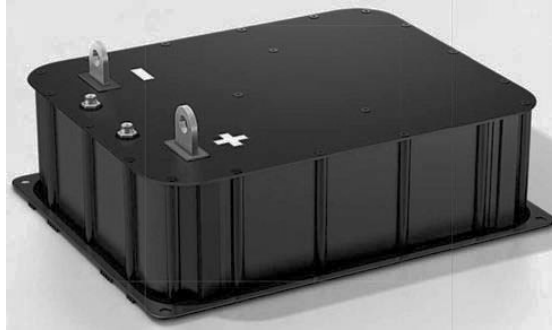
Formation	Nature de l'horizon	$P_l^*$ (MPa)	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion $C'$ (kPa)	Angle de frottement $\varphi'$ (°)
n°1	Remblais	0.1	18	0	25
n°2	Gneiss altéré à compact	4.0	20	20	30



## DT7 1/1 – Solutions de stockage de l'énergie

Technologie	Inductif supra conducteur	Super condensateur	Electro chimique	Volant d'inertie	Air comprimé en bouteille	Hydrogène PAC réversible
<b>Forme d'énergie</b>	magnétique	électrostatique	chimique	mécanique	Air comprimé	carburant
<b>Densité d'énergie</b>	1 à 5 Wh·kg <sup>-1</sup>	10 Wh·kg <sup>-1</sup> à 60 Wh·kg <sup>-1</sup>	20 à 120 Wh·kg <sup>-1</sup>	1 à 5 Wh·kg <sup>-1</sup>	8 Wh·kg <sup>-1</sup> (200 bars)	300 à 600 Wh·kg <sup>-1</sup> Hors PAC
<b>Capacité réalisable ou réalisée</b>	qq kWh	qq kWh	qq Wh à qq MWh	qq kWh à qq 10 kWh	qq kWh à qq 10 kWh	NA
<b>Constante de temps</b>	qq s à 1 min	qq s à qq min	qq 10 min (NiCd) à qq 10 heures (Pb)	qq min à 1 h	1 h à qq jours (peu d'auto décharge)	1 h à qq jours (peu d'auto décharge)
<b>Cyclabilité</b>	qq 10 000 à qq 100 000 fatigue mécanique	qq 10 000 à qq 100 000	qq 100 à qq 1000 dégradations chimiques	qq 10 000 à qq 100 000 fatigue mécanique	qq 1000 à qq 10 000 fatigue mécanique	??
<b>Rendement électrique</b>	>0,9	0,8 à >0,9 selon régime	0,7 à 0,8 selon technologie et régime	0,8 à >0,9 selon régime	0,3 à 0,5 selon régime	0,3 à 0,5
<b>Connaissance de l'état de charge</b>	Aisée (courant)	Aisée (tension)	Difficile Paramètres variables	Aisée (vitesse)	Aisée (pression)	Aisée (remplissage H2)
<b>Coût en €/kWh</b>	1 M (1 kWh) à 300 (1000 MWh)	50 000 à 150 000 (dimensionnement en puissance)	Pb-acide : 50 à 200 Lithium : 700 à 1000	150 à 2000 (selon techno et performance)	?	500 à 1000
<b>Remarques</b>	Cryogénie	Grande cyclabilité	Technologies matures	Coût global compétitif sur la durée de vie	Rendement faible	Intéressant si contexte de réseau d'hydrogène

## DT8 1/1 – Module de super condensateur M65V375F



<b>Electrical characteristics</b>	
Capacitance (F) <sup>(1)</sup>	375
Voltage (V)	65
Power (10s) (kw) <sup>(2)</sup>	60
Energy (wh) <sup>(3)</sup>	220
Series resistance ESR (mΩ)	2,6
Time constant (s)	1
<b>Mechanical characteristics</b>	
Length (mm)	630
Width (mm)	403
Height (mm)	205
Volume (without terminals) (l : liter)	52
Weight (kg)	50
<b>Operating conditions</b>	
Operating temperature	-35°C to +65°C
Storage temperature <sup>(4)</sup>	-35°C to +70°C

- (1) : Constant current discharge, 25°C  
(2) : Ragone plot power,  $V_{cutoff}$  32.5V, 25°C  
(3) : Total energy stored,  $V_{cutoff}$  0V, 25°C  
(4) : At  $V = 0V$

## DP1 1/5 – Programme du baccalauréat STI2D (extraits)

Objectifs de formation		Compétences développées	IT	I2D	2I2D	Connaissances
Dimension socio-culturelle	<b>O1 - Caractériser des produits ou des constituants privilégiant un usage raisonné du point de vue développement durable.</b>	<b>C01.1.</b> Justifier les choix des structures matérielles et/ou logicielles d'un produit, identifier les flux mis en œuvre dans une approche de développement durable.	X	XX	XX	1-3 / 1-4 / 1-5 / 2-1 / 4-2
		<b>C01.2.</b> Justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et de design.	X	XX	XX	1-1 / 1-3 / 1-5 / 2-1
		<b>C01.3.</b> Justifier les solutions constructives d'un produit au regard des performances environnementales et estimer leur impact sur l'efficacité globale.		XX	XX	1-5 / 3-1 / 3-3 / 4-1 / 4-3 / 5
Dimension scientifique et technique	<b>O2 - Identifier les éléments influents du développement d'un produit.</b>	<b>C02.1.</b> Décoder le cahier des charges d'un produit, participer, si besoin, à sa modification.	XX		XX	1-1 / 1-2
		<b>C02.2.</b> Évaluer la compétitivité d'un produit d'un point de vue technique et économique.	XX		XX	1-1 / 1-3 / 1-4 / 1-5
	<b>O3 - Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle d'un produit.</b>	<b>C03.1.</b> Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un produit ainsi que ses entrées/sorties		XX	XX	1-2 / 2 / 4-1 / 4-3 / 5
		<b>C03.2.</b> Identifier et caractériser l'agencement matériel et/ou logiciel d'un produit.		XX	XX	1-2 / 2 / 4-1 / 4-3 / 5
	<b>C03.3.</b> Identifier et caractériser le fonctionnement temporel d'un produit ou d'un processus.	X	XX	XX	1-2 / 2-3 / 2-4 / 3-4 / 4-3 / 6-3	
	<b>C03.4.</b> Identifier et caractériser des solutions techniques.	X	XX	XX	1-2 / 2 / 4-3 / 5 / 6-2	
Communication	<b>O4 - Communiquer une idée, un principe ou une solution technique, un projet, y compris en langue étrangère.</b>	<b>C04.1.</b> Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés.	XX	X	XX	1-1 / 1-2 / 2 / 4-1
		<b>C04.2.</b> Décrire le fonctionnement et/ou l'exploitation d'un produit en utilisant l'outil de description le plus pertinent.	X	XX	XX	1-1 / 1-2 / 2 / 4-1
		<b>C04.3.</b> Présenter de manière argumentée des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère.	X	XX	XX	1-1 / 1-2 / 4-1 / 4-2 / 6-2

Dimension ingénierie design	<b>O5 – Imaginer une solution, répondre à un besoin.</b>	<b>CO5.1.</b> S'impliquer dans une démarche de projet menée en groupe.	XX		XX	1-1
		<b>CO5.2.</b> Identifier et justifier un problème technique à partir de l'analyse globale d'un produit (approche matière – énergie – information).	XX	X	XX	1 / 2-1 / 4-3
		<b>CO5.3.</b> Mettre en évidence les constituants d'un produit à partir des diagrammes pertinents.	X	XX	XX	1-1 / 1-2 / 2 / 5
		<b>CO5.4.</b> Planifier un projet (diagramme de Gantt, chemin critique) en utilisant les outils adaptés et en prenant en compte les données technico-économiques.	XX		XX	1-1
		<b>CO5.5.</b> Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue.	XX	X	XX	1-1 / 1-3 / 1-4 / 4-2 / 4-3 / 5 / 6-2
		<b>CO5.6.</b> Participer à une étude de design d'un produit dans une démarche de développement durable.	XX	X	XX	1-1 / 1-3 / 1-4 / 1-5 / 4
		<b>CO5.7.</b> Définir la structure matérielle, la constitution d'un produit en fonction des caractéristiques technico-économiques et environnementales attendues.	XX	X	XX	1 / 2-3 / 2-4 / 4 / 5
		<b>CO5.8. Concevoir</b>			XX	
		Proposer et choisir des solutions constructives répondant aux contraintes et attentes d'une construction.			AC1	1-1 / 1-5 / 3-2 / 4 / 5-1 / 6-2
		Proposer et choisir des procédés de mise en œuvre d'un projet de construction et organiser les modalités de sa réalisation.			AC2	1-1 / 5-1 / 6-2
		Définir (ou modifier) la structure, les choix de constituants, les paramètres de fonctionnement d'une chaîne d'énergie afin de répondre à un cahier des charges ou à son évolution.			EE1	1-5 / 3-3 / 4 / 5-1 / 5-2 / 6-2
		Définir (ou modifier), paramétrer et programmer le système de gestion d'une chaîne d'énergie afin de répondre à un cahier des charges et d'améliorer la performance énergétique.			EE2	3-4 / 4 / 5-3 / 6-2
		Définir à l'aide d'un modèleur numérique, les formes et dimensions d'une pièce d'un produit à partir des contraintes fonctionnelles, de son procédé de réalisation et de son matériau.			ITEC1	3-2 / 4 / 5-2 / 6-1 / 6-2
Définir, à l'aide d'un modèleur numérique, les modifications d'un sous-ensemble mécanique à partir des contraintes fonctionnelles.			ITEC2	1-5 / 3-2 / 4 / 5-2		
Proposer/choisir l'architecture d'une solution logicielle et matérielle au regard de la définition d'un produit.			SIN1	1-5 / 3-4 / 4 / 5-3 / 6-2		
Rechercher et écrire l'algorithme de fonctionnement puis programmer la réponse logicielle relative au traitement d'une problématique posée.			SIN2	1-2 / 4 / 5-3 / 6-1 / 6-2		

## DP1 2/5 – Programme du baccalauréat STI2D (extraits)

Objectifs de formation		Compétences développées	IT	I2D	2I2D	Connaissances
Dimension scientifique et technique	O6 – Préparer une simulation et exploiter les résultats pour prédire un fonctionnement, valider une performance ou une solution.	CO6.1. Expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un produit.		XX	XX	1-2 / 2-3 / 2-4 / 3 / 5-2 / 5-3
		CO6.2. Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multiphysique.		XX	XX	3
		CO6.3. Évaluer un écart entre le comportement du réel et les résultats fournis par le modèle en fonction des paramètres proposés, conclure sur la validité du modèle.	X	XX	XX	3 / 6-3
		CO6.4. Choisir pour une fonction donnée, un modèle de comportement à partir d'observations ou de mesures faites sur le produit.	X	XX	XX	3 / 6-3
		CO6.5. Interpréter les résultats d'une simulation et conclure sur la performance de la solution.			XX	
		Simulation d'un usage ou d'un comportement structurel, thermique, acoustique, etc. de tout ou partie d'une construction.			AC1	3-1 / 3-2 / 4-1 / 5-1
		Simulation de procédés pour valider un moyen de réalisation.			AC2	3-1 / 3-2
		Simulation énergétique (électrique, mécanique, thermique, lumineuse, etc.) de tout ou partie d'un produit connaissant les caractéristiques utiles et les paramètres externes et internes.			EE1	3-1 / 3-2 / 3-3 / 5-2
		Simulation de la gestion de la chaîne de puissance.			EE2	3-1 / 3-3 / 3-4 / 5-3
		Simulation mécanique pour obtenir les caractéristiques d'une loi d'entrée/sortie d'un sous-ensemble mécanique ou observer le comportement sous charges d'un assemblage.			ITEC1	3-1 / 3-2 / 3-3 / 4-1 / 5-1
Simulation de procédés pour valider les formes et dimensions d'une pièce.			ITEC2	3-1 / 3-2 / 4-1 / 4-3		
Simulation d'un comportement informationnel faisant intervenir un ou plusieurs constituants matériels et/ou traitements logiciels simples d'une chaîne d'information.			SIN1	3-1 / 3-4 / 5-3		

Objectifs de formation		Compétences développées	IT	I2D	2I2D	Connaissances
Dimension d'ingénierie design	O7 – Expérimenter et réaliser des prototypes ou des maquettes.	CO7.4. Réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenus en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial.	XX		XX	1-2 / 6
		CO7.5. Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit.	X	XX	XX	1-2 / 2-1 / 6-2 / 6-3
		CO7.6. Expérimenter			XX	
		Sur des ouvrages ou des maquettes physiques simplifiées et instrumentées pour étudier l'usage ou le comportement d'un ouvrage réel ou celui d'éléments constitutifs et valider des choix techniques.			AC1	3-2 / 5-1 / 6-2 / 6-3
		Des procédés de stockage, de production, de transformation, de récupération d'énergie pour aider à la conception d'une chaîne de puissance.			EE1	2-1 / 3-3 / 5-2 / 6-2 / 6-3
		Tout ou partie d'une chaîne de puissance associée à son système de gestion dans l'objectif d'en relever les performances énergétiques et d'en optimiser le fonctionnement.			EE2	2-1 / 2-3 / 3-3 / 5-2 / 5-3 / 6-2 / 6-3
		Des procédés de réalisation pour caractériser les paramètres de transformation de la matière et leurs conséquences sur la définition et l'obtention de pièces.			ITEC1	6-1 / 6-2
		Mesurer des performances d'un constituant ou d'un sous-ensemble d'un produit.			ITEC2	3-2 / 3-3 / 6-2 / 6-3
		Des moyens matériels d'acquisition, de traitement, de stockage et de restitution de l'information pour aider à la conception d'une chaîne d'information.			SIN1	3-4 / 5-3 / 6-1 / 6-2
		Des architectures matérielles et logicielles en réponse à une problématique posée.			SIN2	3-4 / 6



## DP1 3/5 – Programme du baccalauréat STI2D (extraits)

### 3. Approche comportementale des produits

3.1. Modélisations et simulations								
3.1.1. Progiciels de simulation	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Typologie des progiciels.</li> <li>▪ Critères de choix.</li> </ul>			2			3		<p>Les principaux outils de modélisation simulables sont abordés, en définissant précisément le domaine d'application :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- modèle volumique ;</li> <li>- modèle multiphysique ;</li> <li>- modèle fonctionnel (de type schéma-bloc) ;</li> <li>- modèle comportemental (de type diagramme d'états/activités) ;</li> <li>- modèle de régression (de type tableur).</li> </ul>
3.1.2. Paramétrage d'un modèle	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Variables internes, variables externes.</li> </ul>			2			3		<p>Sous l'expression « variable interne » sont considérés les paramètres d'un modèle de type « boîte noire », paramètres de constituants physiques.</p> <p>Sous l'expression « variables externes » est entendu le signal temporel, pour les liens hors modèle multi-physique (de type schéma-bloc).</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Notion de grandeur flux, grandeur effort.</li> </ul>			2			3		<p>Différencier un flux MEI d'une « grandeur flux » d'un modèle multiphysique.</p> <p>Identifier les principales grandeurs flux et grandeur effort pour différentes technologies :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mécanique (force ou couple/vitesse ou vitesse angulaire) ;</li> <li>- électrique (tension/courant) ;</li> <li>- hydraulique (Pression/débit volumique).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entrées, sources de simulation.</li> </ul>			2			3		L'accent est mis sur les principales sources utilisées en simulation et leur paramétrage.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sorties, rendus des résultats.</li> </ul>			2			3		Se limiter aux blocs de rendu graphique et à leur paramétrage.
3.1.3. Paramétrage d'une simulation	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Typologie des solveurs, pas d'intégration.</li> </ul>			2					<p>Se limiter aux notions de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pas d'intégration : mettre en évidence la discrétisation des calculs numériques à des temps précis, et l'interpolation linéaire effectuée entre deux temps successifs ;</li> <li>- solveur à pas variable : les temps de calculs sont calculés « à la volée » pour s'adapter au mieux aux variations des résultats ;</li> <li>- solveur à pas fixe.</li> </ul> <p>Mettre en exergue les avantages et inconvénients des 2 types de solveurs (adaptation aux variations de signal, temps de calcul), et évoquer les solveurs de type « stiff » pour la prise en compte de non-linéarités éventuelles.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Compromis précision/temps de simulation.</li> </ul>			2					
3.1.4. Post-traitement et analyse des résultats	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Principaux traitements de données postérieurs aux résultats issus de simulation.</li> <li>▪ Interprétation des résultats d'une simulation : courbe, tableau, graphe, unités associées.</li> </ul>	Mathématiques enseignement commun : analyse, statistiques et probabilités.		2			3		Exploiter ou affiner des résultats issus d'une simulation par traitement postérieur des données.

## DP1 4/5 – Programme du baccalauréat STI2D (extraits)

3.2. Comportement mécanique des produits								
3.2.1. Concept de mouvement	Liens sciences	IT	I2D	AC	TEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Degré de mobilité d'une structure matérielle :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- structure matérielle mobile (mécanisme) ;</li> <li>- structure matérielle immobile (structure fixe).</li> </ul> </li> </ul>			<b>2</b>					Identifier le type de structure matérielle en fonction de son degré de mobilité, en vue de différencier principalement les structures à objectif d'immobilisme (ossatures, châssis) et les structures matérielles devant permettre ou effectuer des mouvements (mécanismes). Pas de calcul du degré de mobilité.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mouvements des mécanismes (en lien avec la modélisation des liaisons) :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- rotation autour d'un axe fixe et translation rectiligne et mouvements plans ;</li> <li>- les trajectoires ;</li> <li>- les vitesses et accélérations ;</li> <li>- analyse/recherche de lois d'entrée-sortie de systèmes mécaniques plans issus d'objets techniques observables.</li> </ul> </li> </ul>	PC : énergie mécanique. Mathématiques : analyse (dérivées et primitives).		<b>2</b>		<b>3</b>			Il s'agit de mettre en relief les paramètres influents pour valider et/ou optimiser les performances observées vis à vis de celles attendues. L'utilisation du modèle de présentation « torseur cinématique » est limitée au mode descriptif uniquement dans la perspective de renseigner les caractéristiques dans un logiciel de simulation ou pour analyser un dispositif expérimental didactisé ou non. Des progiciels intégrant un module de traitement du comportement dynamique des produits sont utilisés avec assistance.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comportement des liaisons élémentaires en relation avec les mouvements et les efforts.</li> </ul>			<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>			L'utilisation de suites logicielles adaptées à l'enseignement pré-bac doit permettre de relier les performances cinématiques aux conditions de chargement qui les génèrent.
3.2.2. Concept d'équilibre	Liens sciences	IT	I2D	AC	TEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Équilibre des solides :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- principe fondamental de la statique ;</li> <li>- modélisation des actions mécaniques ;</li> <li>- modélisation des liaisons: liaison complète, pivot, glissière, pivot glissant, rotule, ponctuelle et appui plan ;</li> <li>- résolution d'un problème de statique par progiciel.</li> </ul> </li> </ul>	PC : énergie mécanique. Mathématiques : produit scalaire.		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>			Il s'agit de mettre en relief les paramètres influents pour valider et/ou optimiser les performances observées vis à vis de celles attendues. L'utilisation du modèle de présentation « torseur des actions mécaniques » est limitée au mode descriptif uniquement dans la perspective de renseigner les caractéristiques dans un logiciel de simulation ou pour analyser un dispositif expérimental didactisé ou non. L'utilisation de progiciels volumiques intégrant un module de traitement du comportement statique des produits est réalisée avec assistance.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Concept de stabilité et d'instabilité d'un composant ou d'une structure mécanique :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- équilibre stable et instable ;</li> <li>- phénomène de flambement ;</li> <li>- stabilité d'une structure dans l'espace ;</li> <li>- comportement vibratoire.</li> </ul> </li> </ul>				<b>3</b>	<b>2</b>			Il s'agit de sensibiliser de manière qualitative aux comportements amenant aux principaux risques d'instabilité d'un ensemble matériel : <ul style="list-style-type: none"> <li>- présentation du risque et phénomène de flambement d'une pièce comprimée ;</li> <li>- présentation du risque et phénomène d'instabilités d'une structure nécessitant des contreventements dans les trois directions de l'espace.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transmission des efforts.</li> </ul>			<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>		En AC, il s'agit de décrire le cheminement des charges dans une ossature par un schéma. Le calcul de la descente de charges se fait à l'aide d'un logiciel de simulation.



## DP1 5/5 – Programme du baccalauréat STI2D (extraits)

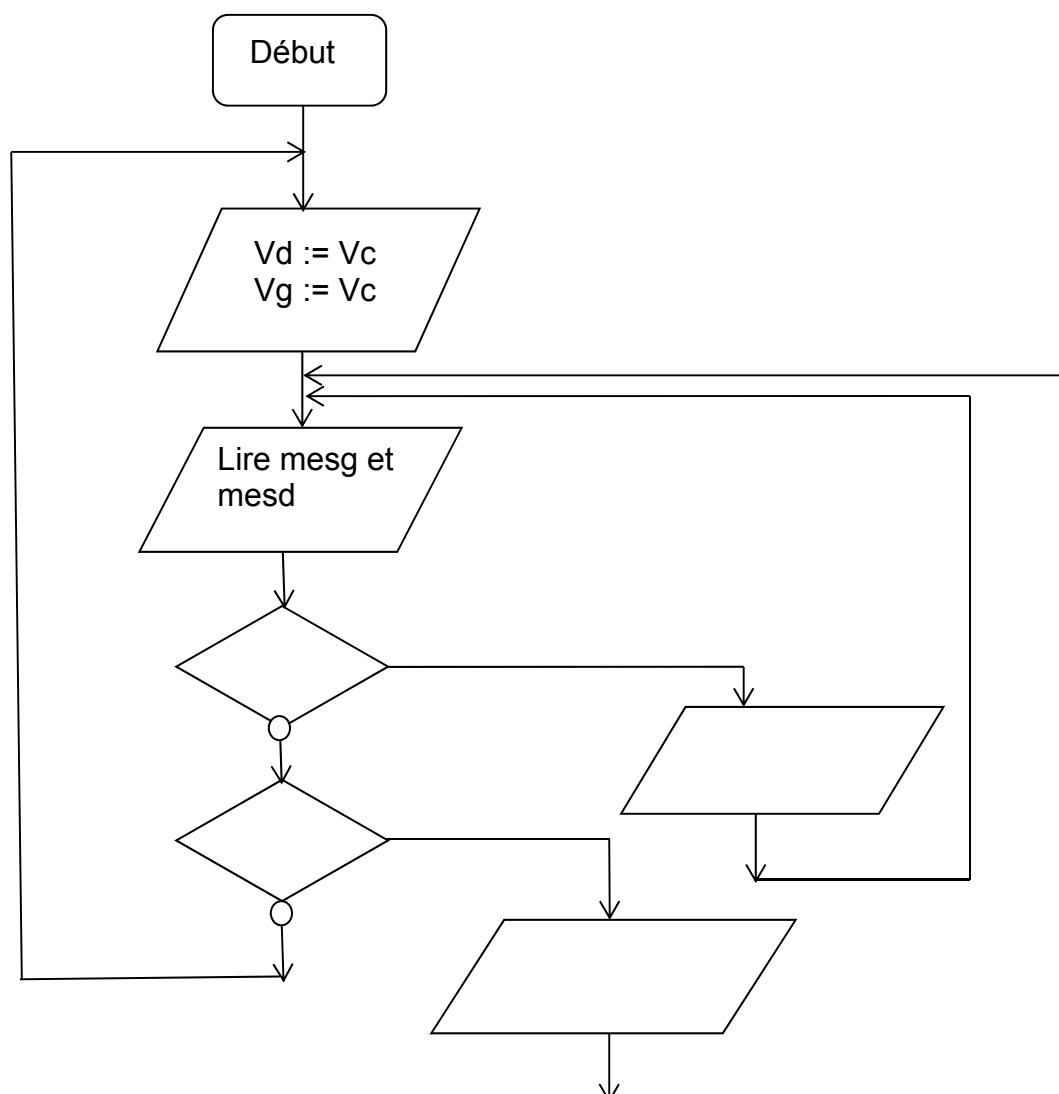
3.2.3. Concept de résistance	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Résistance à la rupture, résistance à la déformation.</li> <li>▪ Résistance des matériaux :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- hypothèses et modèle poutre ;</li> <li>- notion de contrainte normale ;</li> <li>- pour une sollicitation de traction simple, notion de déformation et loi de Hooke ;</li> <li>- module d'Young ;</li> <li>- limite élastique ;</li> <li>- sollicitation simple de type traction, compression, flexion simple.</li> </ul> </li> <li>▪ Simulations par éléments finis.</li> </ul>			2	3	3			L'utilisation de progiciels intégrant un module de calcul par éléments finis ou dédié est privilégiée. Lien indispensable avec les essais des matériaux du chapitre 6.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Déformation et contraintes normales dans une structure isostatique :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- en flexion simple (poutre isostatique) ;</li> <li>- en traction et en compression simple.</li> </ul> </li> </ul>				3	3			Analyse de structures simples en traction/compression simple ou flexion simple, analyse des contraintes normales et tangentielles, des déformations et déplacements.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Scénario de simulation pour comparer et valider une solution, modifier une pièce ou un sous-ensemble.</li> </ul>				3	3			Il s'agit, par études de cas successives, d'appréhender différentes natures de simulation ou différents paramétrages au sein d'une même simulation.

3.3. Comportement énergétique des produits								
	Liens sciences	IT	I2D	AC	ITEC	EE	SIN	Commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Principe de conservation d'énergie, pertes et rendements, principe de réversibilité.</li> </ul>	PC : l'énergie et ses enjeux PC : énergie interne		2			3		Il s'agit d'insister sur la conservation d'énergie et sur la notion de systèmes isolés ou d'échanges avec l'extérieur.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Natures et caractéristiques des sources d'énergie et des charges.</li> </ul>			2			3		Il s'agit d'étudier les paramètres influents du fonctionnement de différentes chaînes d'énergie entre une source et une charge. L'analyse de systèmes simples doit permettre de montrer l'analogie entre les éléments mécaniques, électriques, hydrauliques, pneumatiques, thermiques. Il est nécessaire d'insister sur les notions de point de fonctionnement en régime établi et de mettre en évidence le régime transitoire.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Optimisation des échanges d'énergie entre source et charge, amélioration de l'efficacité.</li> </ul>						3		L'accent est mis sur la limitation des pertes (pertes par effet joules, pertes de charges, etc.), l'optimisation des points de fonctionnement de tout ou partie de la chaîne d'énergie voire de l'amélioration des caractéristiques de la source et/ou de la charge.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comportement temporel des constituants d'une chaîne d'énergie.</li> <li>▪ Représentation des phases de transferts et de stockages.</li> </ul>	Mathématiques : analyse (dérivées et primitives).					3		Il s'agit d'étudier l'évolution de l'état énergétique (transfert W et/ou Q ou stockage E) des constituants à travers la visualisation de variables représentatives.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bilan énergétique d'un produit, rendement, performance énergétique.</li> </ul>			3					À faire sur des mesures. Insister sur le rendement instantané (rendement en puissance) et le rendement énergétique (sur cycle).

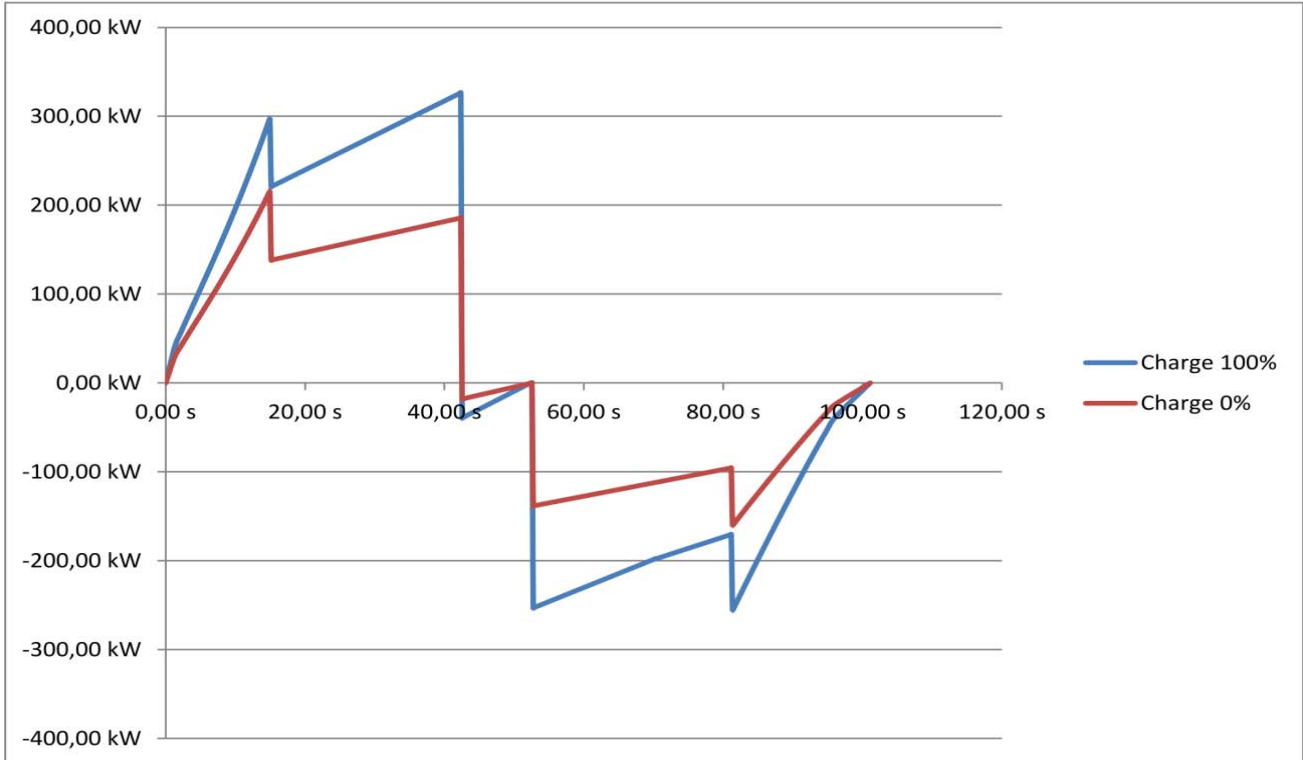




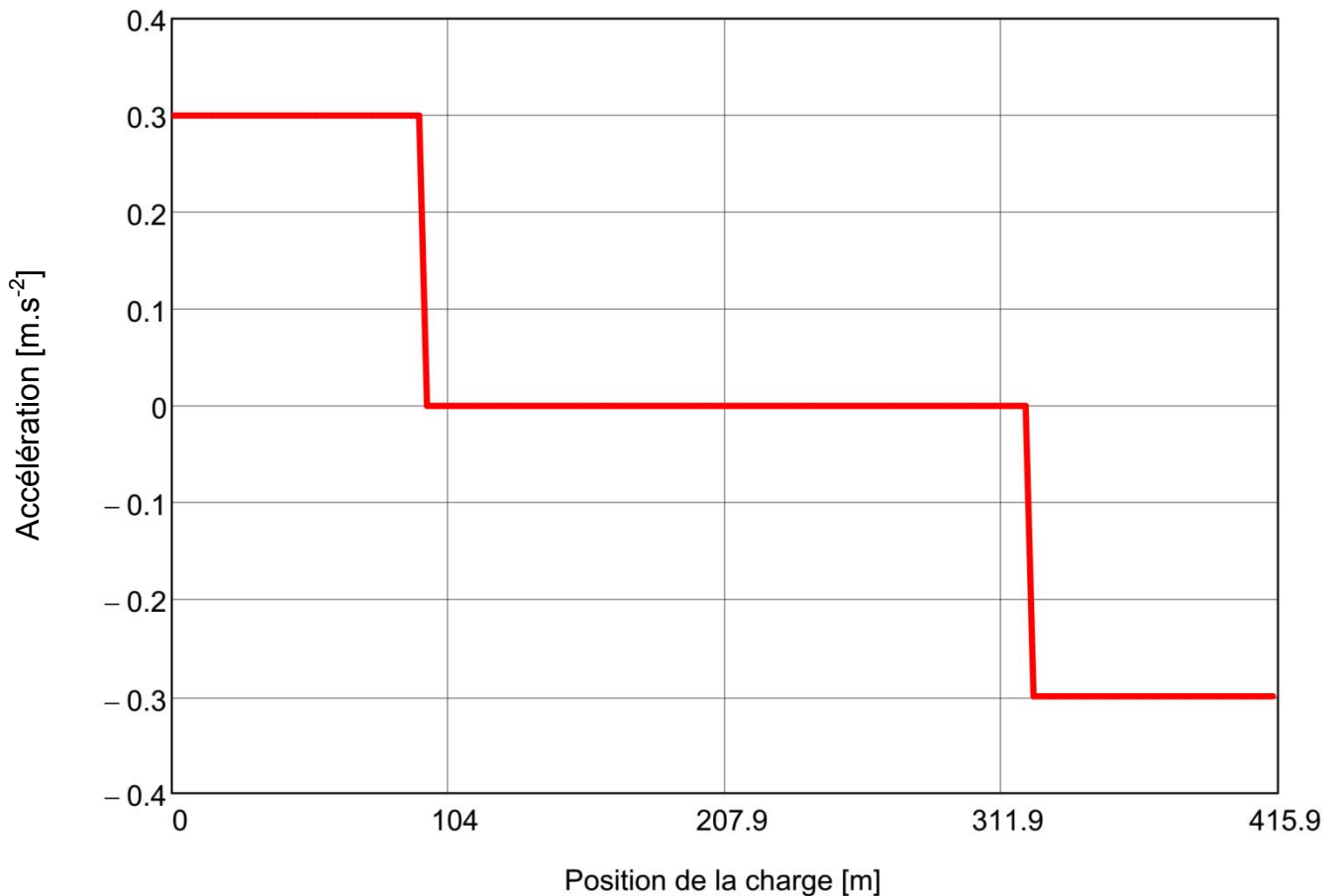
## DR2 – algorithme de synchronisation



## DR3 – Étude énergétique



Puissance d'un moteur en fonction du temps  
(cabines pleines et vides pour une vitesse de  $5 \text{ m.s}^{-1}$ )



Loi d'accélération de la cabine supérieure (en fonction de sa position)