

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE
Sciences et Technologies de l'Industrie et du
Développement Durable

ENSEIGNEMENTS TECHNOLOGIQUES TRANSVERSAUX

Coefficient 8 – Durée 4 heures

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée

**Ce sujet sera traité par les candidats se présentant pour la première fois
aux épreuves terminales du baccalauréat**

Le tramway aérien de Rio de Janeiro

- **sujet**
 - **partie 1 (3 heures)** pages 2 à 8
 - **partie 2 (1 heure)** pages 9 à 10
- **documents techniques** pages 11 à 20
- **documents réponses** pages 21 à 24

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

**Les documents réponses DR1 à DR4 (pages 21 à 24) seront
à rendre agrafés aux copies.**

Le tramway aérien de Rio de Janeiro



Présentation

Rio de Janeiro est une mégapole brésilienne de plus de 6 millions d'habitants admirée pour sa beauté, ses plages et connue pour son carnaval. Son implantation géographique est telle que la majeure partie de la ville est située sur une multitude de collines et de dépressions formant un paysage escarpé où la circulation urbaine est rapidement devenue un problème.

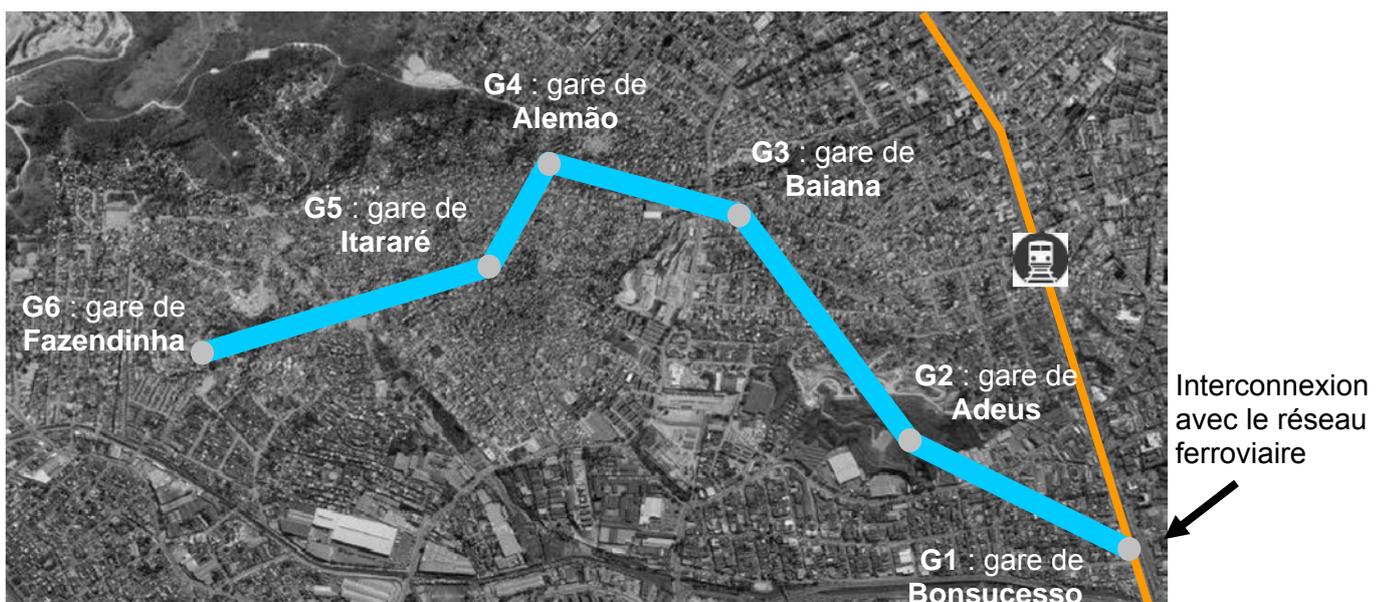
Plus de 20% de la population habite dans les favelas. Ces habitations constituées d'un amalgame de matériaux de récupération sont concentrées sur les pentes escarpées des collines.

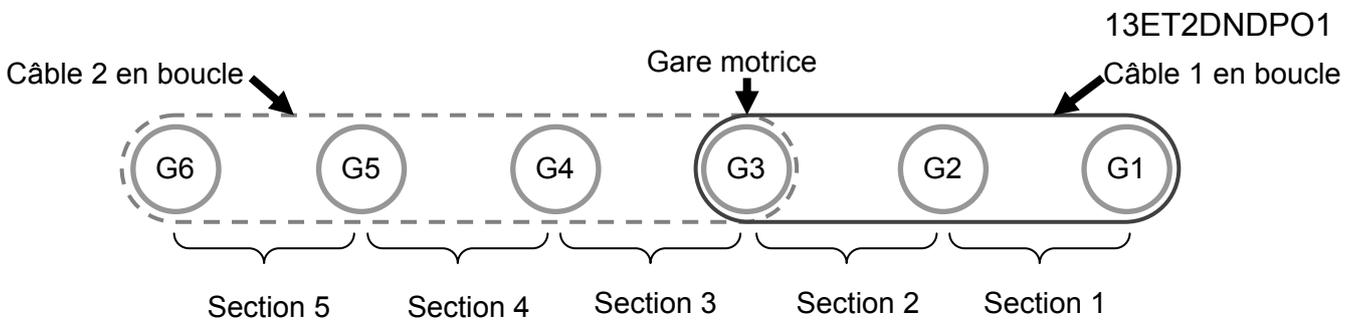
Le déplacement dans ces quartiers ne peut se faire qu'à pied, par cyclomoteur ou par mini van et aucun vrai réseau de transport urbain n'a pu voir le jour du fait de la configuration du terrain.

C'est dans cet environnement que l'état de Rio a confié au groupe français Poma la réalisation d'un tramway aérien dans le quartier d'Alemão au nord de la ville.

Implantation des gares

Ce tramway aérien est composé de télécabines circulant sur deux câbles reliant six gares entre elles. La gare G3 (Baiana) est la gare motrice. Elle entraîne deux boucles de câbles de part et d'autre, une boucle pour les gares G1 à G3 et une boucle pour les gares G3 à G6 (voir schéma page suivante).





Description générale :

- 5 sections interconnectées desservant 6 gares
- Longueur : 3456 m
- Dénivelé : 121 m
- Vitesse nominale : $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Durée du parcours total (de G1 à G6) : environ 17 min
- Capacité par cabine : 10 passagers
- Nombre total de cabines : 152
- Nombre de cabines en mouvement : 117
- Débit maxi : 3000 passagers/heure dans chaque sens



Baiana : gare motrice G3

PARTIE 1

Problématique 1

L'évolution environnementale actuelle impose un choix raisonné pour les déplacements citadins. Le coût de l'énergie, l'impact environnemental et le service rendu sont trois critères essentiels pour le choix d'un mode de transport. On se propose de vérifier que le choix du tramway aérien réponde à ces critères.

Le transport à visage durable

L'entreprise Poma implantée à Voreppe près de Grenoble est un des leaders mondiaux du transport par câble. Son expérience de plus de 60 ans dans les remontées mécaniques en station de sports d'hiver lui a permis de se lancer depuis quelques années dans le transport urbain. Cette réalisation de tramway aérien à Rio de Janeiro fait suite à plusieurs installations déjà en fonctionnement à Medellin (Colombie), Taipei (Taiwan), Tianmenshan (Chine) et le célèbre Roosevelt Island au cœur de Manhattan à New York.

Question 1.1 A l'aide de l'extrait du dossier de presse, **citer** et **classer** dans le tableau du document réponse DR1, les arguments qui montrent que ce tramway aérien de Rio s'inscrit dans une démarche de développement durable.

Voir DT 1

Les cabines en service à Rio sont du type « Diamond TC10 ». Le constructeur n'a pas développé un nouveau type de cabine mais a utilisé un modèle déjà en service sur de nombreux sites à travers le monde entier.

Question 1.2 **Justifier** et **argumenter** ce choix du constructeur du point de vue de la compétitivité.

Bilan environnemental des matériaux de la cabine

Les trois principaux matériaux utilisés pour la structure de la cabine sont l'acier, l'aluminium et le polycarbonate. Lors de la conception de la cabine le constructeur a comparé l'impact sur l'environnement de différents matériaux pour réaliser les vitrages.

L'unité fonctionnelle définie est la suivante : assurer 1 m² de cloison transparente résistant en tout point à un effort normal maximum de 1200 N.

Le document DT3 donne le résultat de l'impact environnemental sur deux critères ainsi que les caractéristiques des matériaux.

Question 1.3 Analyser les résultats et **expliquer** pourquoi le constructeur a choisi un vitrage en polycarbonate pour les cabines.
Voir DT 3

Calcul du débit maximum de passagers

L'objectif de cette partie est de vérifier le nombre maximum de passagers transportés en une heure.

La poulie motrice 3 est située dans la gare G3, elle entraîne deux boucles de câbles de part et d'autre de la gare (voir schéma page 3). En fonctionnement normal, les cabines acheminent les passagers à une vitesse linéaire de 5 m·s⁻¹.

La poulie motrice doit donc entraîner les câbles à cette même vitesse ($V_{c/sol} = 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Le système de gestion de la gare motrice assure un débit régulier de cabines. Il impose la distance entre deux cabines : $D_c = 59 \text{ m}$.

Rappel : Nombre maximum de personnes par cabine : $K_p = 10$
Longueur de la ligne du tramway aérien (entre G1 et G6) : $L = 3456 \text{ m}$.

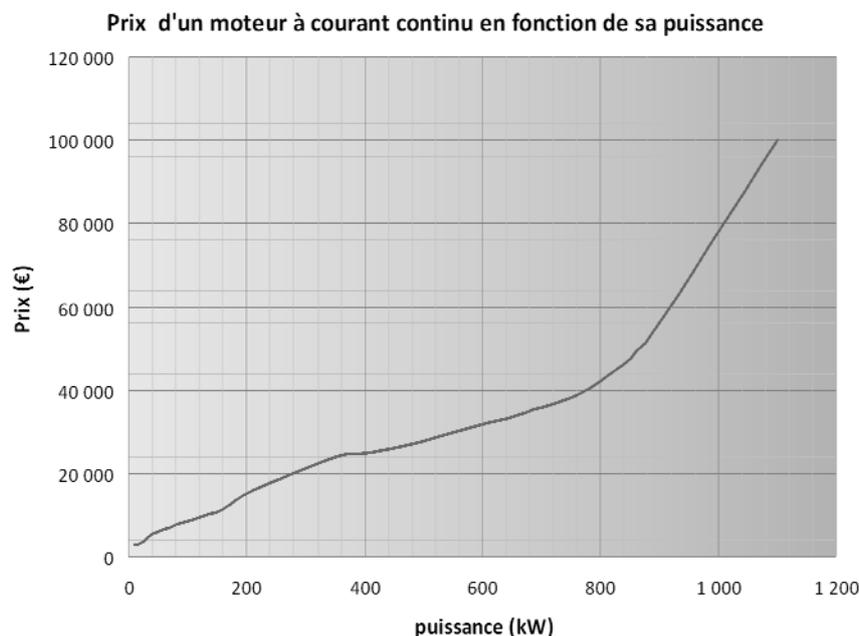
Question 1.4 Calculer le débit de passagers Q_p (nombre de passagers arrivant dans une gare pendant une heure). **Comparer** votre résultat à la valeur annoncée par le constructeur et **conclure**.

Dimensionnement des moteurs

L'objectif de cette partie est de dimensionner les moteurs et leur chaîne d'énergie.

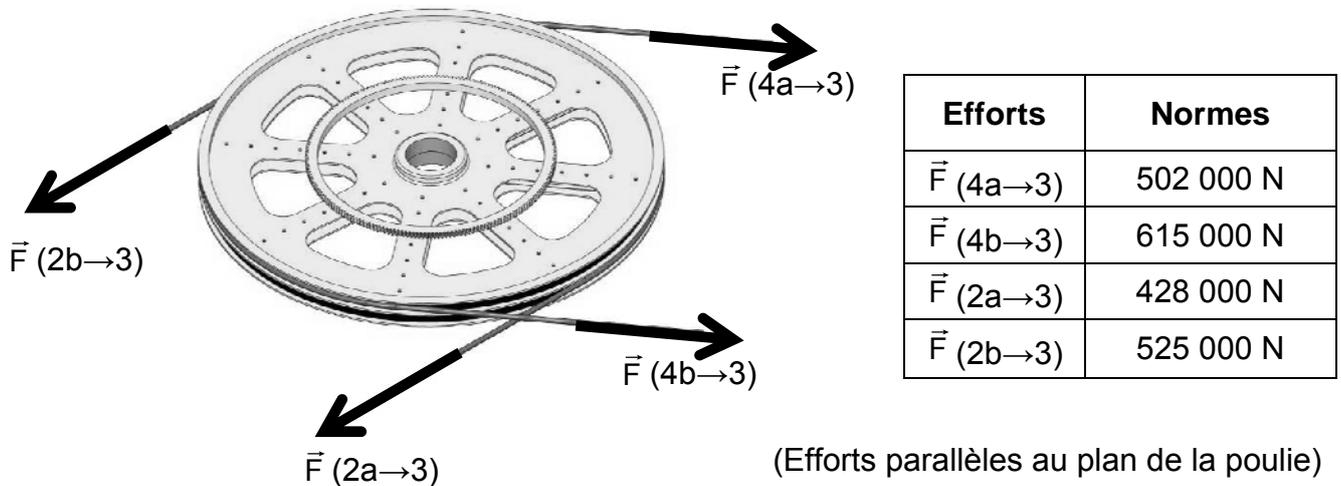
Question 1.5 D'après le schéma de la chaîne de transmission et le diagramme de blocs internes (ibd) de la chaîne d'énergie en fonctionnement normal, **expliquer** la particularité de la motorisation choisie.
Voir DT 5 et DT 6

Question 1.6 D'après la courbe donnée ci-après, **justifier** le choix de la motorisation si la puissance motrice nécessaire est supérieure à 800 kW.



Données

Une première étude a permis de déterminer la tension dans les câbles pendant le fonctionnement normal de l'installation. Les valeurs des efforts exercés par les câbles sur la poulie (3) sont données ci-dessous.



Diamètre d'enroulement du câble sur la poulie motrice : $D_p = 4,4 \text{ m}$

Rendement du système poulie-câble : $\eta_p = 0,98$

Rendement du réducteur de vitesse : $\eta_r = 0,965$

Pour assurer le débit de passagers, la poulie motrice doit avoir une vitesse de rotation $\omega_{p/sol}$ de $2,27 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

- Question 1.7** **Établir** l'expression littérale du couple au niveau de la poulie motrice C_p en fonction des forces exercées sur les câbles pour les entraîner. **Effectuer** l'application numérique.
- Question 1.8** **Établir** l'expression littérale de la puissance nécessaire au niveau de la poulie motrice P_p en fonction de la vitesse de rotation de la poulie motrice $\omega_{p/sol}$ et du couple au niveau de la poulie motrice C_p . **Effectuer** l'application numérique.
- Question 1.9** **Établir** l'expression littérale de la puissance délivrée par l'ensemble des moteurs P_m en fonction de la puissance nécessaire au niveau de la poulie motrice P_p . **Effectuer** l'application numérique. En **déduire** la puissance P_{1m} que doit délivrer un seul moteur sachant que les moteurs sont identiques.

Voir DT 6

Calcul de l'énergie absorbée en une année par le téléphérique

L'objectif de cette partie est de déterminer l'énergie consommée par ce tramway aérien sur une année afin de la comparer avec l'énergie qu'utiliserait un autre mode de transport de personnes.

Question 1.10 En fonction de l'histogramme donné, **compléter** la colonne du *temps de fonctionnement sur l'année* dans le tableau du document réponse DR1 (seulement pour les taux du débit de passagers de 100% et 30%, les autres ne sont pas étudiés).
Voir DR 1 et DT7

Question 1.11 **Calculer** le nombre de passagers transportés pendant l'année. Pour ce calcul on considérera que le débit maximum (montée+descente) de passagers est de 6000 passagers par heure. **Compléter** la colonne du *nombre de passagers transportés en un an* dans le tableau du document réponse DR1 (seulement pour les taux du débit de passagers de 100% et 30%).
Voir DR 1

Question 1.12 **Calculer** la puissance absorbée selon les taux de débit de passagers. Pour ce calcul on considérera que la puissance absorbée par l'ensemble de l'installation est de 1300 kW pour le débit maximum de passagers. **Compléter** la colonne de la *puissance absorbée* dans le tableau du document réponse DR1 (seulement pour le taux du débit de passagers de 30%).
Voir DR 1

Question 1.13 **Calculer** l'énergie absorbée pendant l'année en prenant en compte les taux de débit de passagers. **Compléter** la colonne de l'*énergie* dans le tableau du document réponse DR1 (seulement pour les taux du débit de passagers de 30% et 100%).
Voir DR 1

Comparatif avec des mini vans

Le moyen de transport initialement utilisé dans les quartiers desservis par le tramway aérien est le mini van. L'énergie totale consommée sur une année par ce mode de transport et pour un même nombre de passagers est de 5100 GW·h.

Question 1.14 **Comparer** ces deux modes de transports.

Question 1.15 En vous servant de vos réponses précédentes, **rédigé** une conclusion argumentée (5 à 10 lignes) sur le respect ou non de la problématique 1.

Problématique 2

Le transport de personnes impose des normes de sécurité rigoureuses. On se propose de vérifier que le tramway aérien de Rio répond aux exigences de sécurité réglementaires au niveau de la suspenste de cabine et du fonctionnement limité par grand vent.

Validation de la suspenste de cabine

L'objectif de cette partie est de vérifier que la suspenste de cabine permet d'assurer la sécurité des passagers en résistant à la charge totale suspendue.

Analyse du modèle

- Données :
- Problème dans le plan XY
 - Masse de la cabine : 720 kg (DT2). L'ensemble cabine est composé de la cabine, de la suspenste et de la pince.
 - Masse de référence d'un passager : 80 kg
 - Nombre maximum de passagers : 10
 - Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Question 1.16 A partir des données ci-dessus et du bilan des actions mécaniques extérieures à la suspenste de cabine, **justifier** les valeurs des composantes des torseurs d'actions mécaniques $\{T_{\text{pince} \rightarrow \text{suspenste}}\}$ et $\{T_{\text{cabine} \rightarrow \text{suspenste}}\}$.
Voir DT 4

Analyse des résultats obtenus par simulation

Question 1.17 **Indiquer** la valeur de la contrainte maximale relevée dans la pièce en mégapascal (MPa) ainsi que la flèche maximale en mm.
Voir DT 4 et DT 5

Question 1.18 Sur le document réponse (DR2), **entourer** les zones où la contrainte est maximale.
Voir DT 4

Question 1.19 **Citer** la limite élastique du matériau utilisé et **calculer** le coefficient de sécurité.
Voir DT 4

Coefficients de sécurité typiques				
Coefficient de sécurité : s	Charges exercées sur la structure	Contraintes dans la structure	Comportement du matériau	Observations
$1 \leq s < 2$	régulières et connues	connues	testé et connu	fonctionnement constant sans à-coups
$2 \leq s < 3$	régulières et assez bien connues	assez bien connues	testé et connu moyennement	fonctionnement usuel avec légers chocs et surcharges modérées
$3 \leq s < 4$	moyennement connues	moyennement connues	non testé	
	mal connues ou incertaines	mal connues ou incertaines	connu	

Question 1.20 En utilisant le tableau précédent et en comparant avec la valeur calculée, **justifier** la valeur du coefficient de sécurité recommandée.

Fonctionnement par grand vent

Le téléphérique ne doit pas fonctionner par grand vent. Des anémomètres sont installés en haut de chacune des gares. La technologie de l'anémomètre est décrite dans le document DR3. L'information de la vitesse du vent doit être codée pour être transmise au système de gestion de la ligne afin d'être traitée.

Anémomètre Alizia 178	
Vitesse du vent	Utilisation
Etendue de mesure : 0 – 60 m·s ⁻¹	Sortie : 4 - 20 mA pour 0 - 60 m·s ⁻¹
Seuil de démarrage : 0,5 m·s ⁻¹	Alimentation : 6 à 24 Vcc
Précision : 0,5 m·s ⁻¹	Boucle de courant : 2 fils
	Domaine d'utilisation : -20 à +70 °C

Question 1.21 **Identifier**, sur le document réponse (DR3), la nature et le type des informations transmises.
Voir DR 3

Question 1.22 Les données de variation du vent sont analogiques et doivent être transformées en informations numériques pour être traitées par l'automate.

Calculer le nombre de bits nécessaires au codage de l'information relative à la vitesse du vent (120 valeurs à coder).

Question 1.23 **Déterminer** la valeur binaire correspondante à une vitesse de vent de 27 m·s⁻¹.

Question 1.24 **Expliquer** en quelques phrases le traitement d'information qui est effectué à partir du diagramme d'état.
Voir DT 7

Question 1.25 En vous servant de vos réponses précédentes, **rédigier** une conclusion argumentée (10 lignes maximum) sur le respect ou non de la problématique 2.

PARTIE 2

Problématique 3

La salle des machines comporte un local réservé aux armoires d'alimentation électrique des moteurs. Afin d'assurer le bon fonctionnement, la température de cette salle ne doit pas dépasser **30°C**.

Les pertes par effet joule représentent 0,9% de la puissance consommée par les moteurs.

Une première étude prévoit l'utilisation d'une climatisation propre au local.

Une deuxième étude prévoit l'utilisation de l'air climatisé de la gare en amenant cet air à l'aide d'un ventilateur.

Le but de l'étude est de dimensionner le ventilateur et de choisir l'isolation des murs du local afin de valider la deuxième étude et de la comparer à la première.

Question 2.1 **Positionner** les différents flux thermiques relatifs au local.

Voir DR 4

Question 2.2 **Expliquer** les différentes entrées du modèle en précisant :

Voir DT 8

- la variation de la température extérieure en fonction du temps^① ;
- la variation de la température du hall de gare en fonction du temps^② ;
- la variation de la puissance thermique dissipée par les armoires électriques en fonction du temps^③.

Question 2.3 **Expliquer** en quoi le modèle de la variation de la puissance thermique dissipée par les armoires électriques en fonction du temps^③ diffère de la réalité.

Voir DT 7 et DT8

Question 2.4 A partir des résultats donnés par la simulation, **déterminer** et **justifier** la puissance du ventilateur qui devra être employée.

Voir DT 9

Question 2.5 **Choisir** un matériau permettant d'assurer l'isolation correspondant au modèle en s'appuyant sur le tableau comparatif des différents matériaux ci-dessous.

Voir DT 8

On ne prendra en compte que les critères suivants :

- comportement incendie ;
- perméabilité à la vapeur d'eau ;
- prix.

Calculer l'épaisseur du matériau nécessaire pour garantir une résistance thermique $R = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

On rappelle que $R = \frac{e}{\lambda}$ avec

- e : épaisseur du matériau en m
- λ : conductivité thermique en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

		Critères de choix							
		λ : conductivité thermique en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	valeur isolante	durabilité	comportement incendie	toxicité en œuvre	perméabilité à la vapeur d'eau	capacité absorption d'eau	prix
panneaux rigides	liège expansé	0,042	5	5	2	3	4	4	1
	laine de bois	0,045	5	4	2	3	5	5	2
	laine de cellulose	0,041	5	4	2	3	5	5	2
	laine minérale	0,039	5	4	3	2	1	1	5
rouleaux	laine de cellulose	0,039	5	4	2	3	5	5	3
	laine de chanvre	0,04	5	4	2	3	5	4	2
	laine de coton	0,04	5	4	2	3	5	4	1
	laine de mouton	0,039	5	4	2	3	4	5	2
	laine de coco	0,048	4	4	2	3	4	4	2
	laine minérale	0,039	5	2	3	2	1	1	5

Légende : 5 : très performant
1 : très peu performant

Question 2.6
Voir DT 8 et DT 10

Une climatisation consomme environ 40 W par m^3 . Le volume de la pièce est de $150 m^3$.

La deuxième solution est-elle justifiée ?

Document technique DT1 :

Extrait du dossier de presse ayant servi à la présentation du projet lors de son lancement:

Une première mondiale pour POMA à Rio de Janeiro

Rio de Janeiro est la ville du Carnaval et de la diversité culturelle. C'est dans cette mégapole de 6 millions d'habitants que le groupe POMA, leader des transports par câble, a imaginé et construit un équipement unique au monde par sa complexité et son excellence technique. Au-delà des innovations mises en œuvre, c'est aussi la plus longue télécabine urbaine (3,4 km), reliant Alemão (quartiers nord de Rio) au centre de la ville. Après Medellin, Taipei et New York, c'est à Rio de Janeiro que POMA a réalisé une solution de transport à très faible émission de CO2, rapide, efficace et fiable.

Le tramway aérien de Rio s'inscrit dans la réflexion sur le développement durable dans les transports urbains. Le choix de la technologie de tramway aérien POMA est idéal car c'est le mode de transport le moins impactant écologiquement. Le ratio émissions polluantes / nombre de passagers transportés est le meilleur qui soit. Avec le transport aérien par câble, Rio de Janeiro a fait le pari d'une solution d'avenir.

Avant, les 300 000 habitants des quartiers du Complexo do Alemão étaient quasi enclavés en raison d'un relief en collines et d'une densité tels qu'un vrai réseau de déplacement terrestre n'a jamais pu s'y développer. La solution des airs proposée par le tramway aérien de POMA offre ainsi la réponse la plus adaptée à cette problématique.

Caractéristiques techniques

Le tramway aérien de Rio se caractérise par un tracé audacieux et technique présentant des angles jusqu'à 80° dans chaque gare pour desservir au plus près les foyers d'habitation tout en ayant un trajet direct de gare en gare. C'est aussi un impact réduit au sol qui se limite aux gares et pylônes. Il n'y a pas de tranchée ni de séparation comme le nécessiterait la route ou le rail. Le transport par câble possède un niveau de fiabilité et de disponibilité maximum, proche de 100 %.

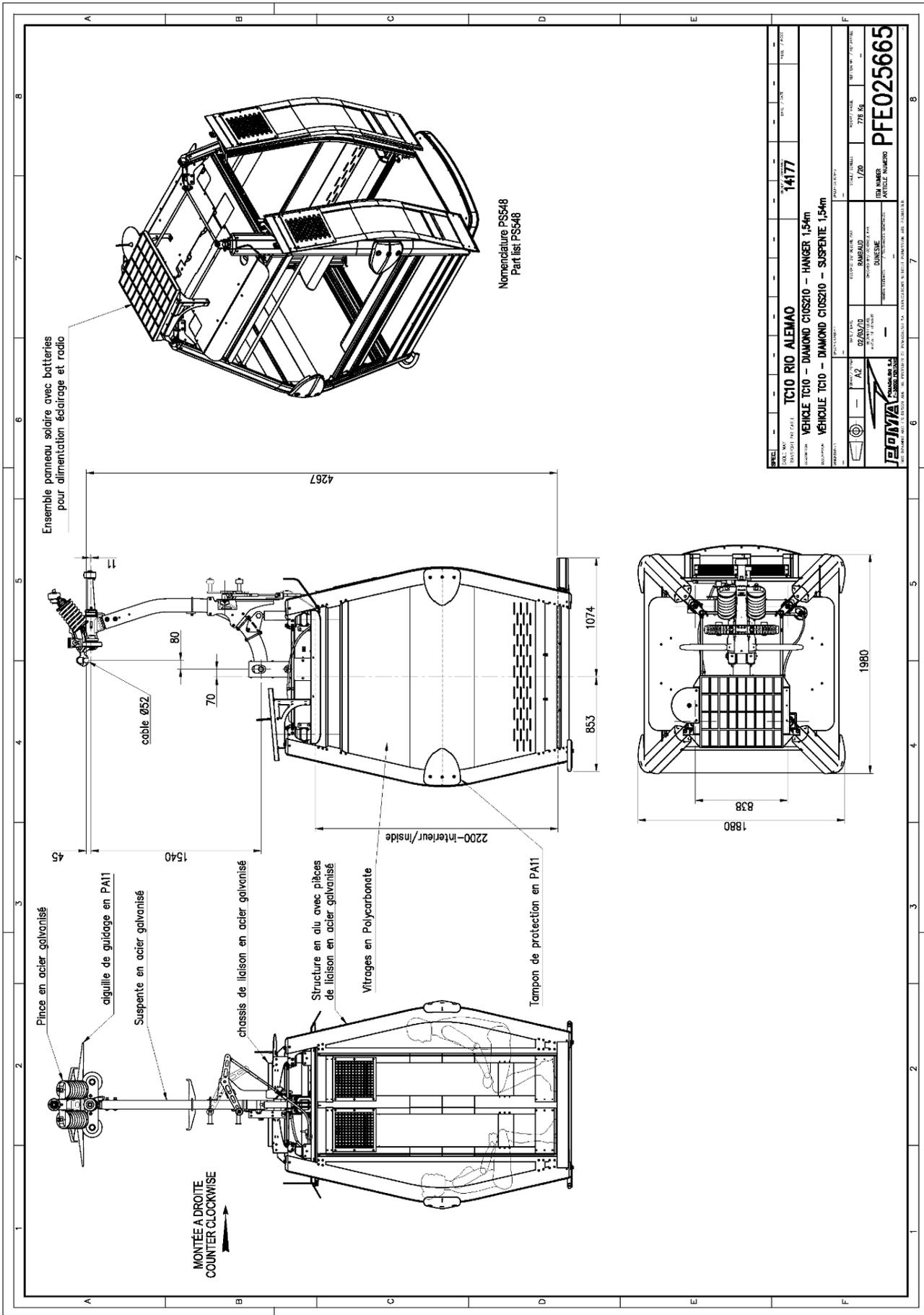
Localisation et contexte socio-économique du Complexo do Alemão

Le Complexo do Alemão est un ensemble de quartiers implantés sur les collines du nord de Rio de Janeiro. Ce site urbain, très dense, présente un relief accidenté pour lequel le transport par câble s'impose tout naturellement comme la meilleure solution en termes de mobilité urbaine.

La connexion au réseau ferroviaire périurbain s'avérait difficile, un vrai problème pour les habitants d'une mégapole comme Rio de Janeiro. Désormais il est possible de traverser les quartiers d'Alemão pour se rendre à la gare intermodale Bonsucesso en seulement 17 minutes, contre plus d'une à deux heures auparavant. Face à ces enjeux de mobilité, la réponse de POMA est d'apporter une solution technologique innovante et efficace pour désenclaver cette partie nord de la ville. Ce tramway aérien est la pierre angulaire d'un développement urbain et social, avec des gares abritant des espaces de service public (bureau des activités culturelles, bibliothèque, services administratifs des cartes grises et permis de conduire, services bancaires, bureau d'assistance sociale et juridique). La décoration de ces bâtiments a été réalisée par des artistes brésiliens comme Romero Britto, Eduardo Kobra, Edmar Moreira...

Solution déjà éprouvée avec succès dans d'autres grandes villes, le transport aérien par câble fait vivre une véritable révolution à Rio de Janeiro, une ville résolument tournée vers l'avenir.

Document technique DT2 :



Document technique DT3 :

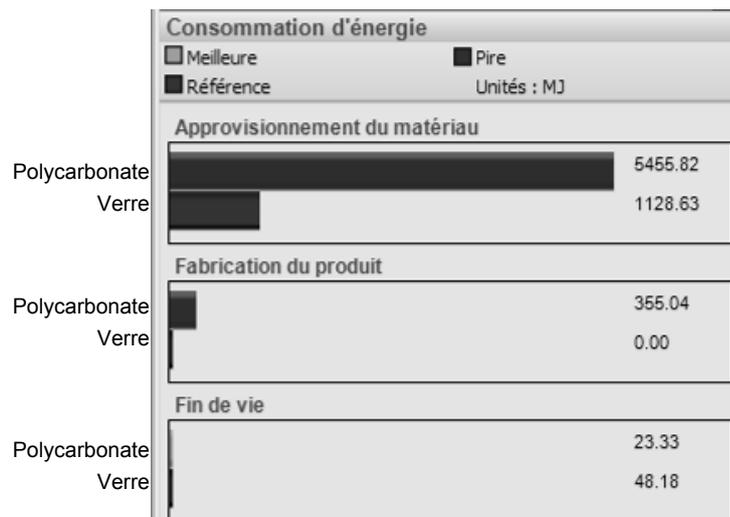
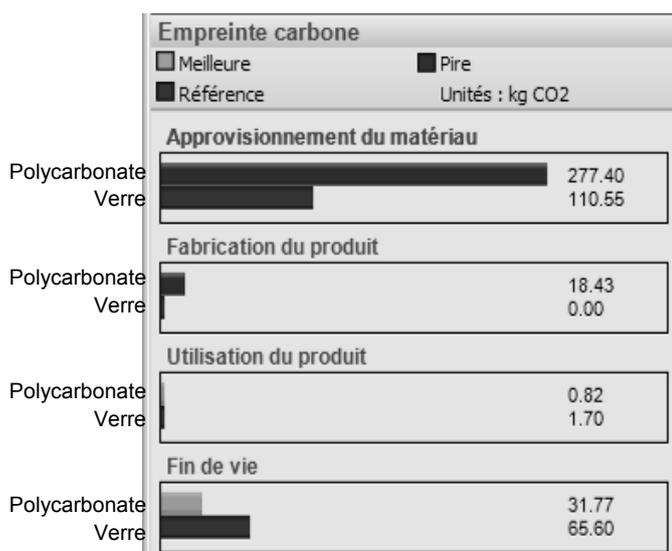
Comparatif entre deux matériaux pour le vitrage : - le verre (la référence) épaisseur 6 mm
- le polycarbonate (l'actuel) épaisseur 4 mm

Ces matériaux réalisent la même unité fonctionnelle : Assurer 1 m² de cloison transparente résistant en tout point à un effort normal maximum de 1200 N.

Caractéristiques :

	Verre	Polycarbonate
Masse volumique	2,46 kg·dm ⁻³	1,2 kg·dm ⁻³
Limite élastique	32 MPa	65 MPa
Conductivité thermique	0,75 W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹	0,2 W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹
Transparence	Excellente	Très bonne
Surface vitrée	6,7 m ²	

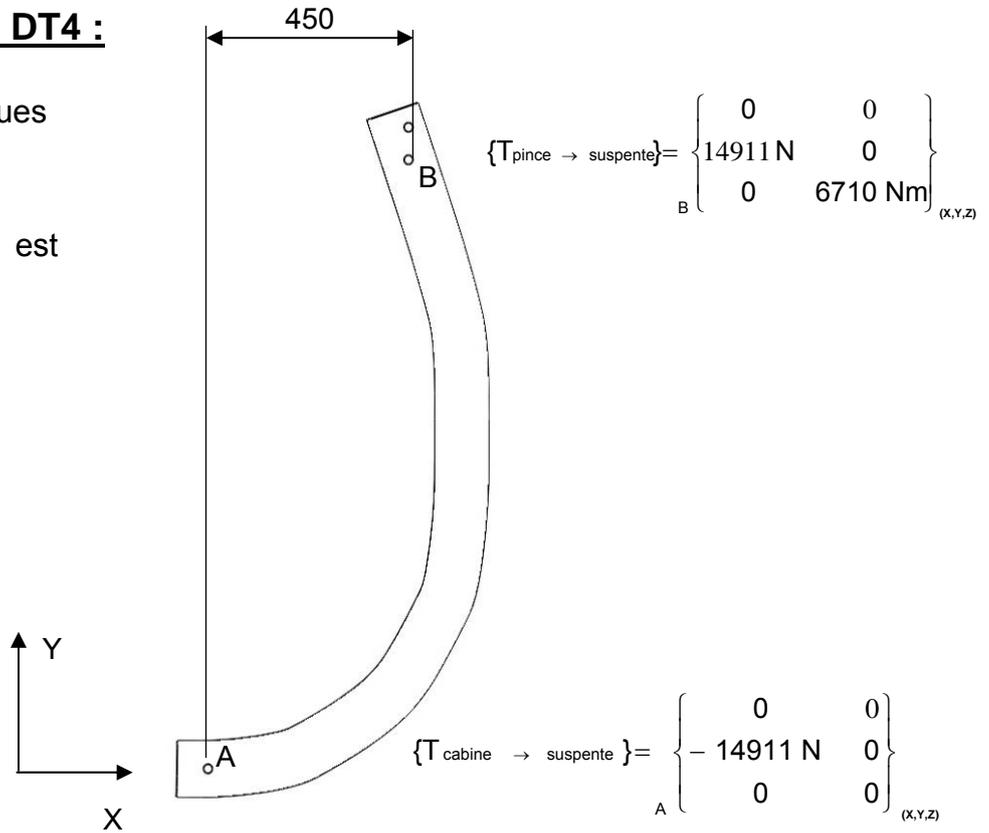
Actuel : polycarbonate
Référence : verre



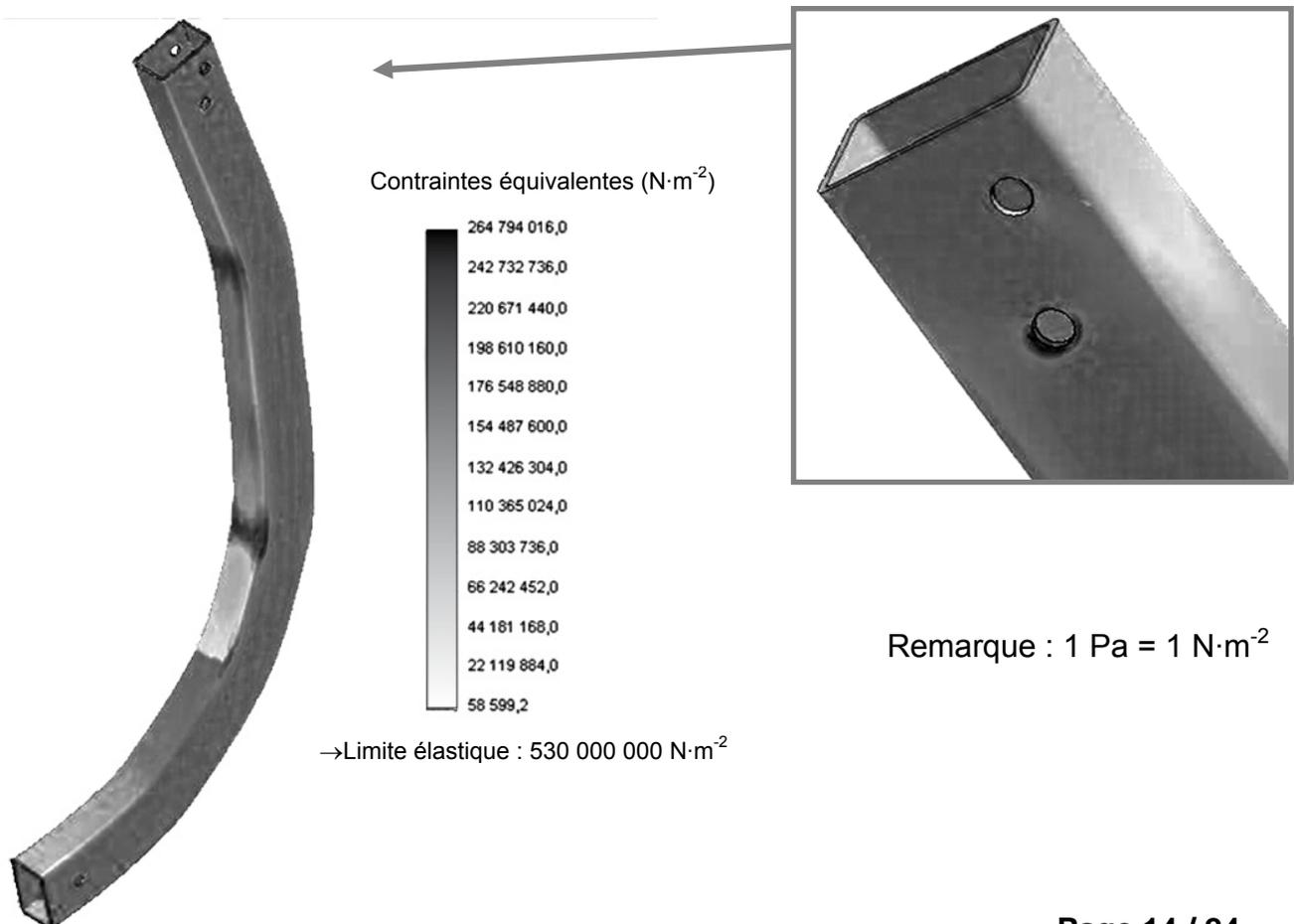
Document technique DT4 :

Bilan des actions mécaniques extérieures à la suspente :

Le poids de la suspente est négligé.

**Simulation de la suspente en résistances des matériaux**

Représentation des contraintes internes

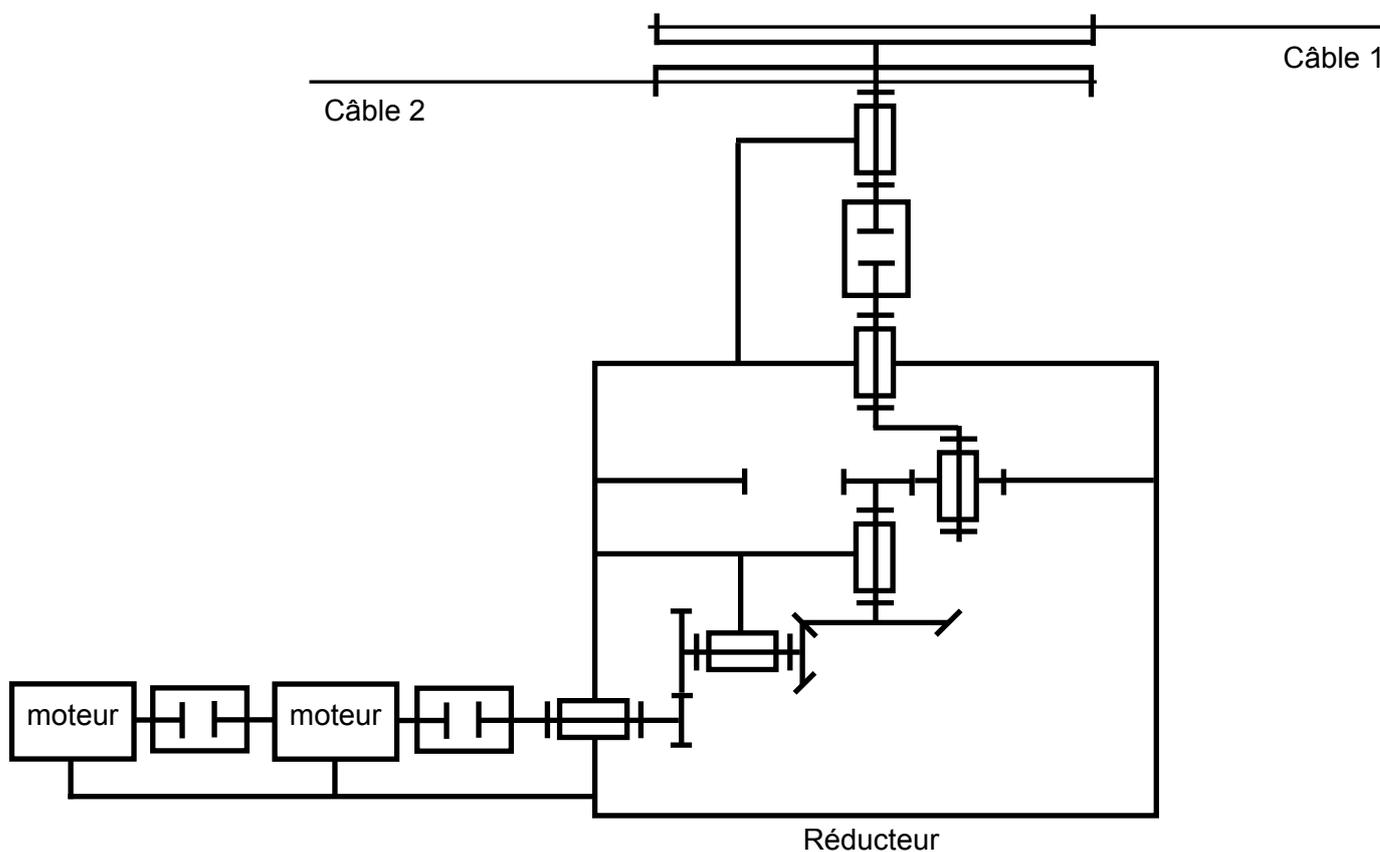


Document technique DT5 :

Représentation des déplacements sous efforts

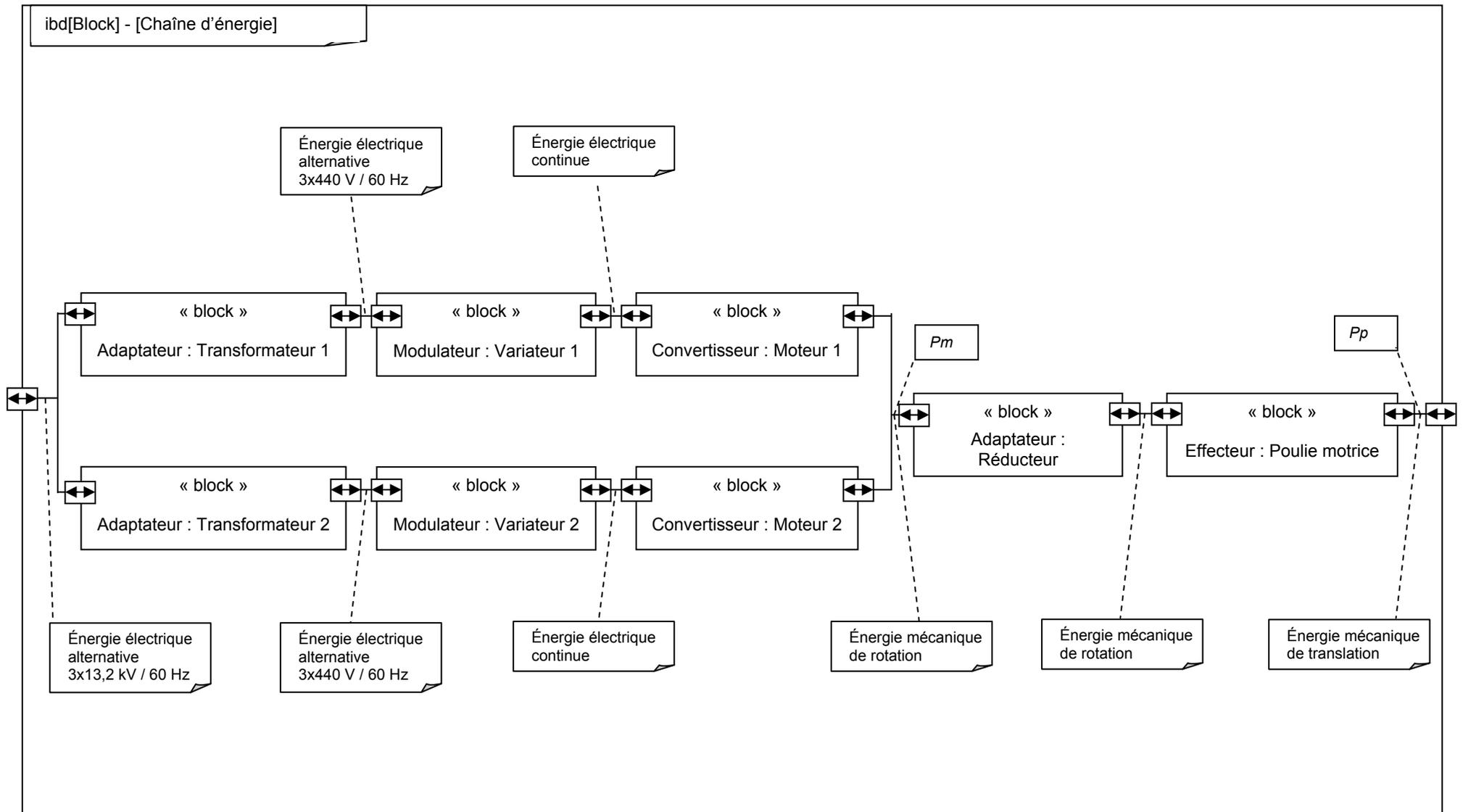


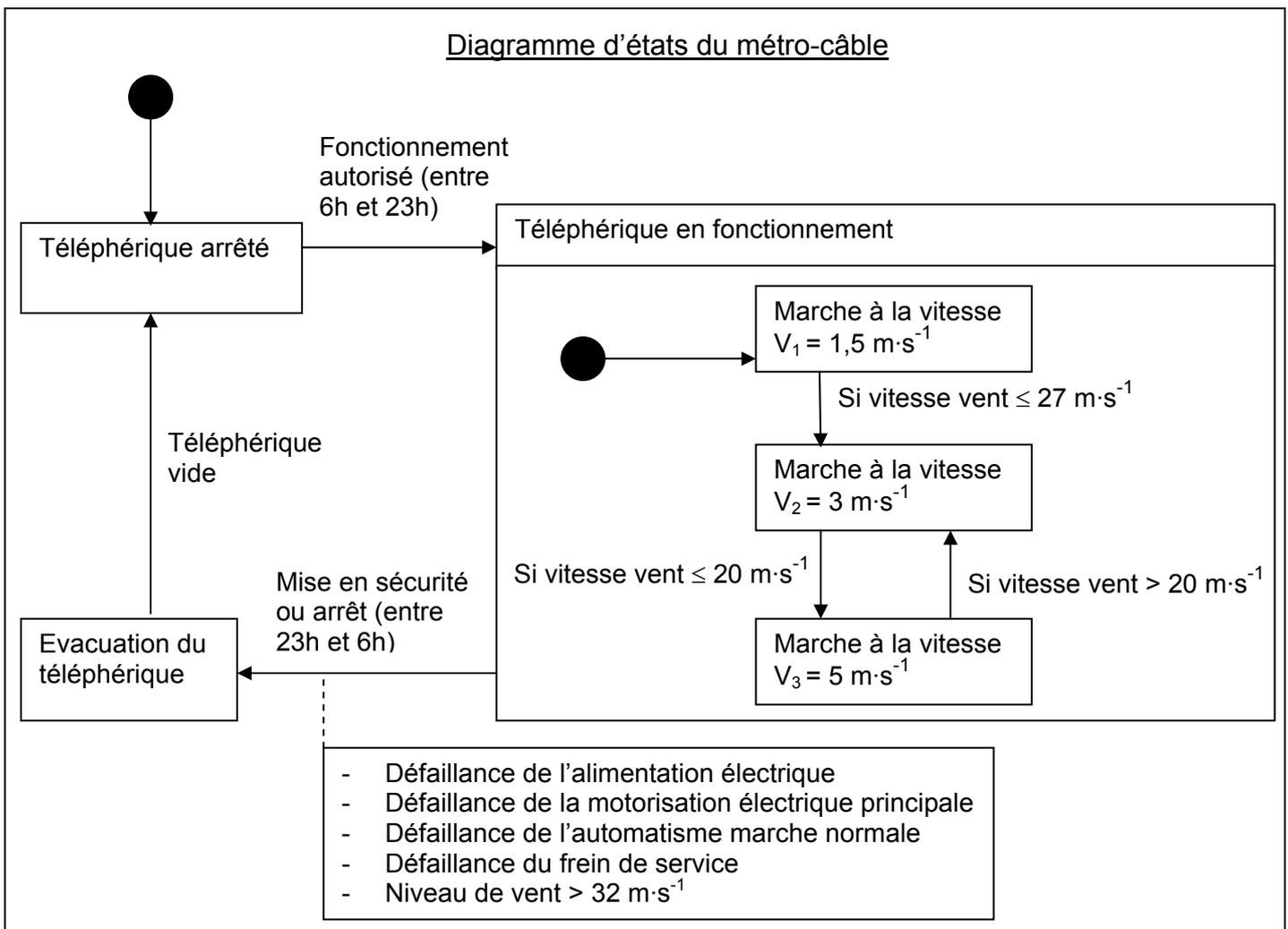
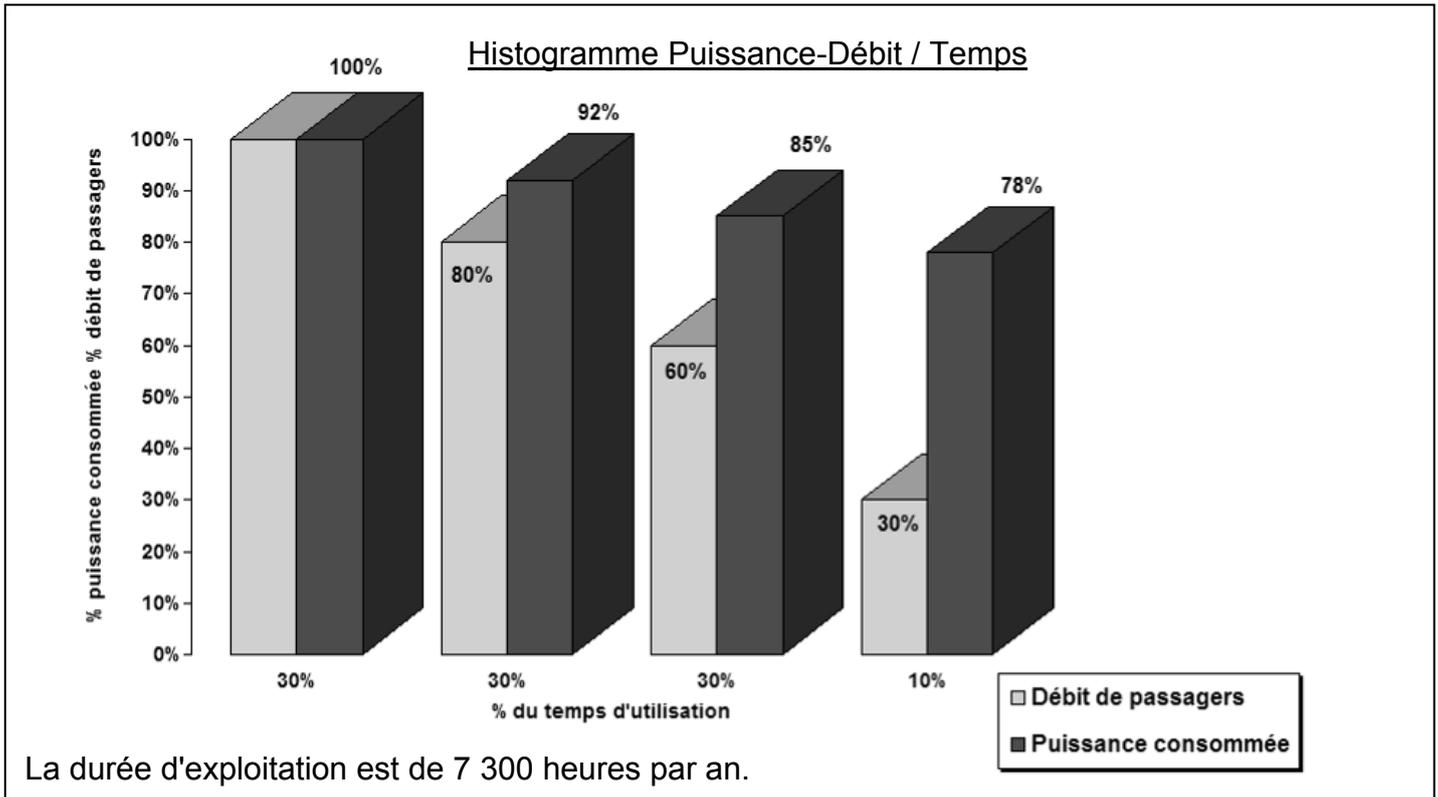
Chaîne de transmission de la gare motrice

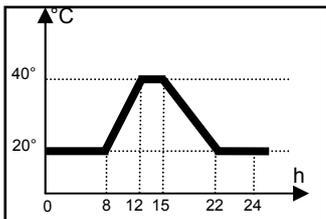
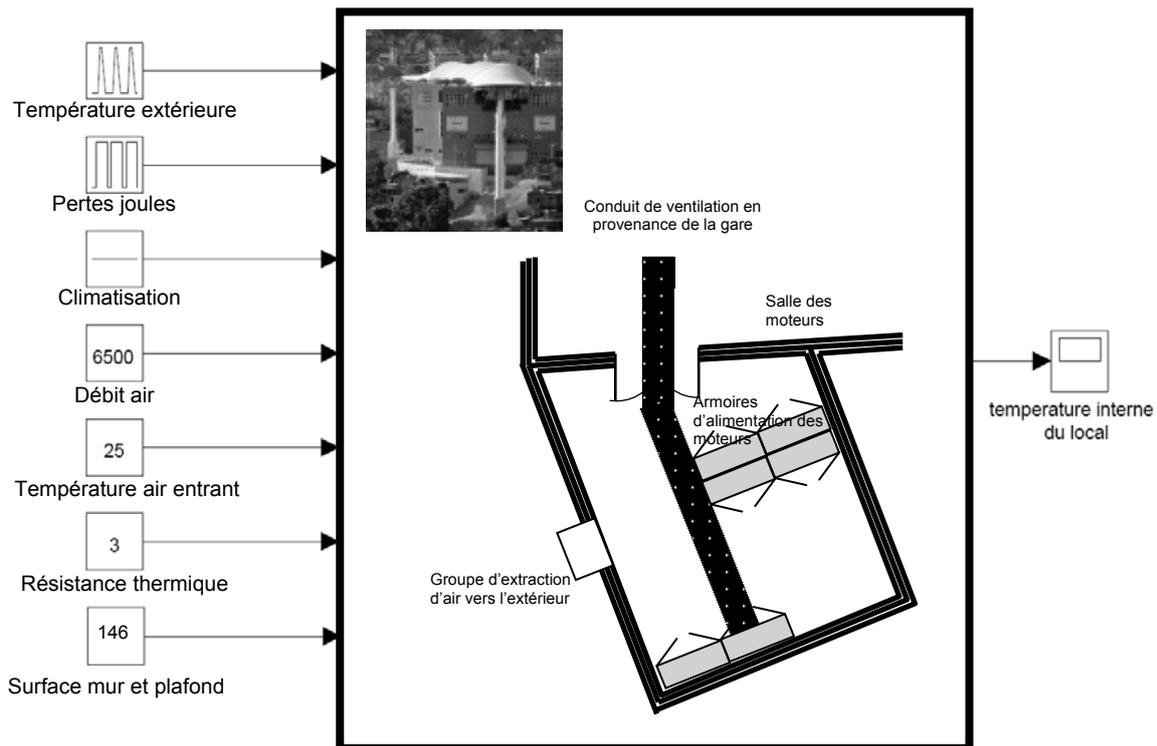


Document technique DT6 :

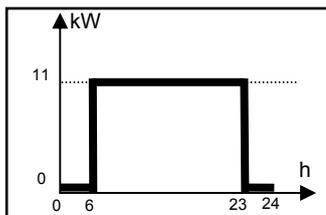
Diagramme de blocs internes « chaîne d'énergie en fonctionnement normal ».



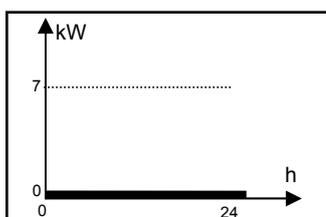
Document technique DT7 :

Document technique DT8 :

Température extérieure ①
Courbe d'évolution de la température extérieure sur une journée.



Pertes par effet joule ③
Evolution des pertes par effet joule au niveau des armoires lors du fonctionnement du métro-câble sur une journée.



Puissance climatisation
Valeur de la puissance de refroidissement de la climatisation prévue initialement dans le local.

Débit d'air
6500 Débit en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ donné par le ventilateur du groupe d'extraction.

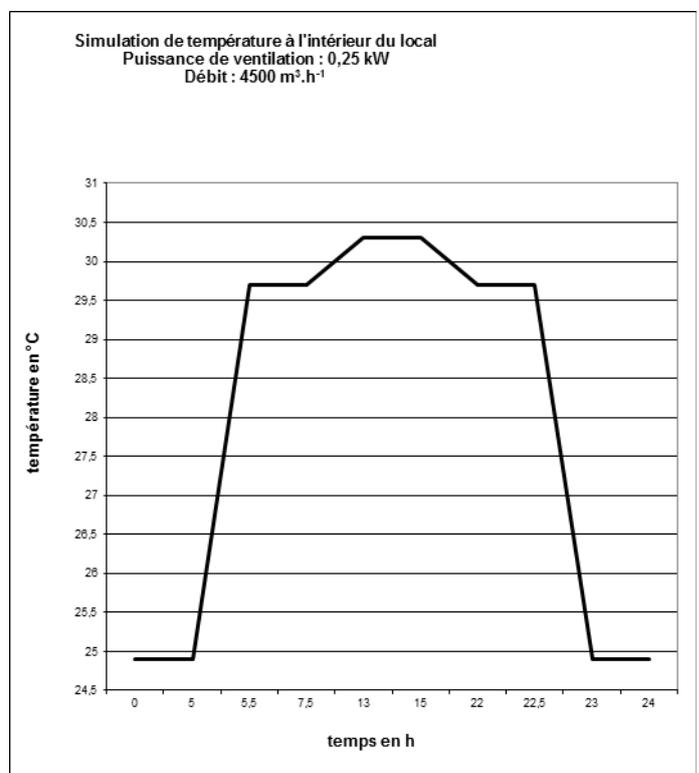
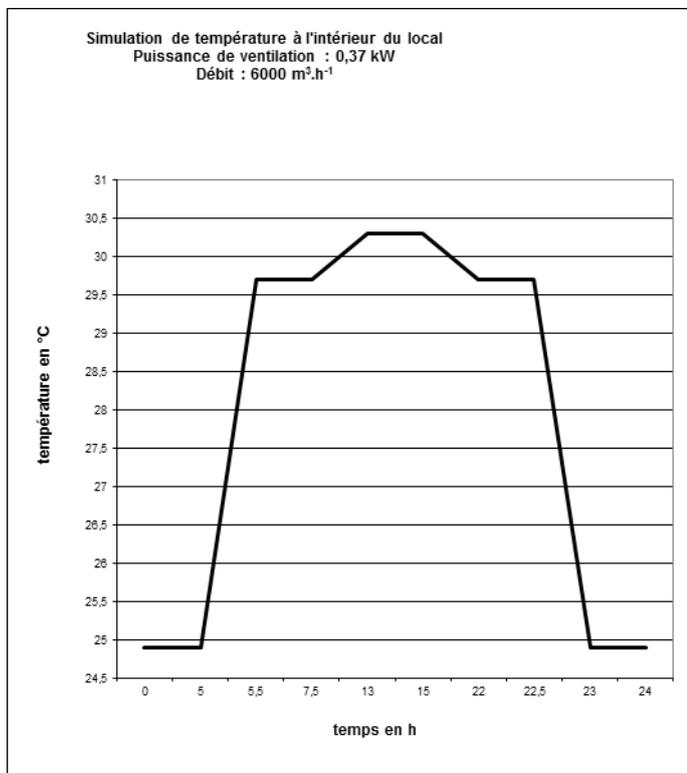
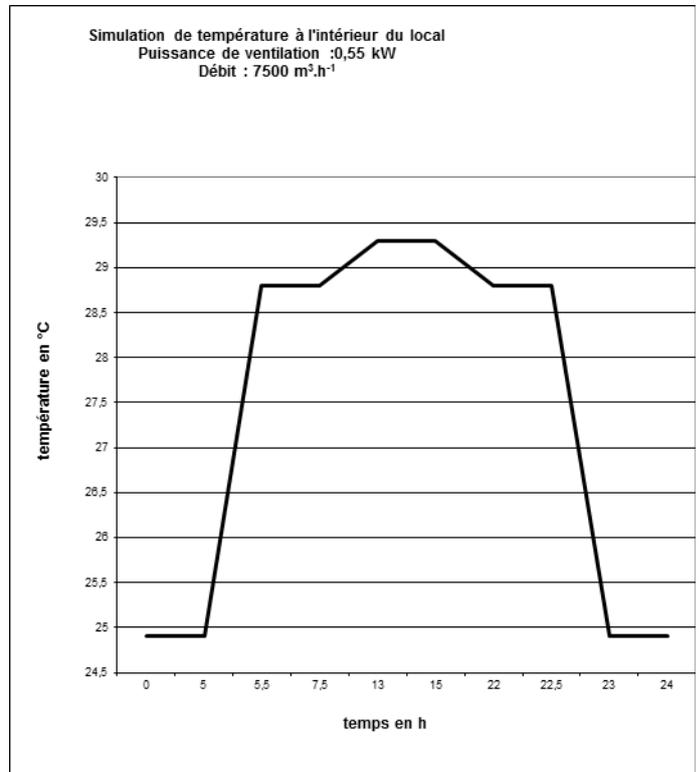
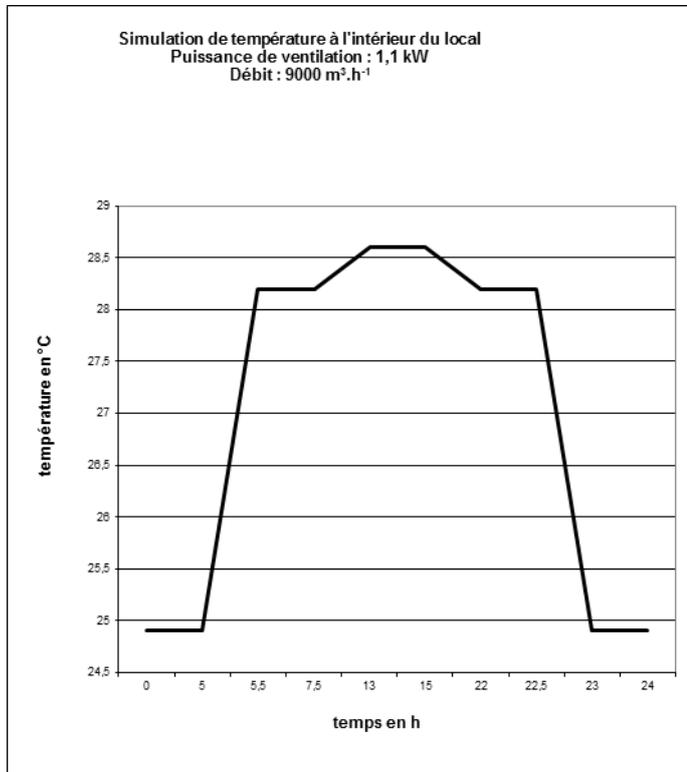
Température air entrant ②
25 Température en °C de l'air entrant par le conduit d'aération en provenance de la gare.

Résistance thermique
3 Valeur de la résistance thermique en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ des murs et du plafond en fonction de leur isolation.

Surface mur et plafond
146 Surface en m^2 des murs et du plafond en contact avec l'air extérieur.

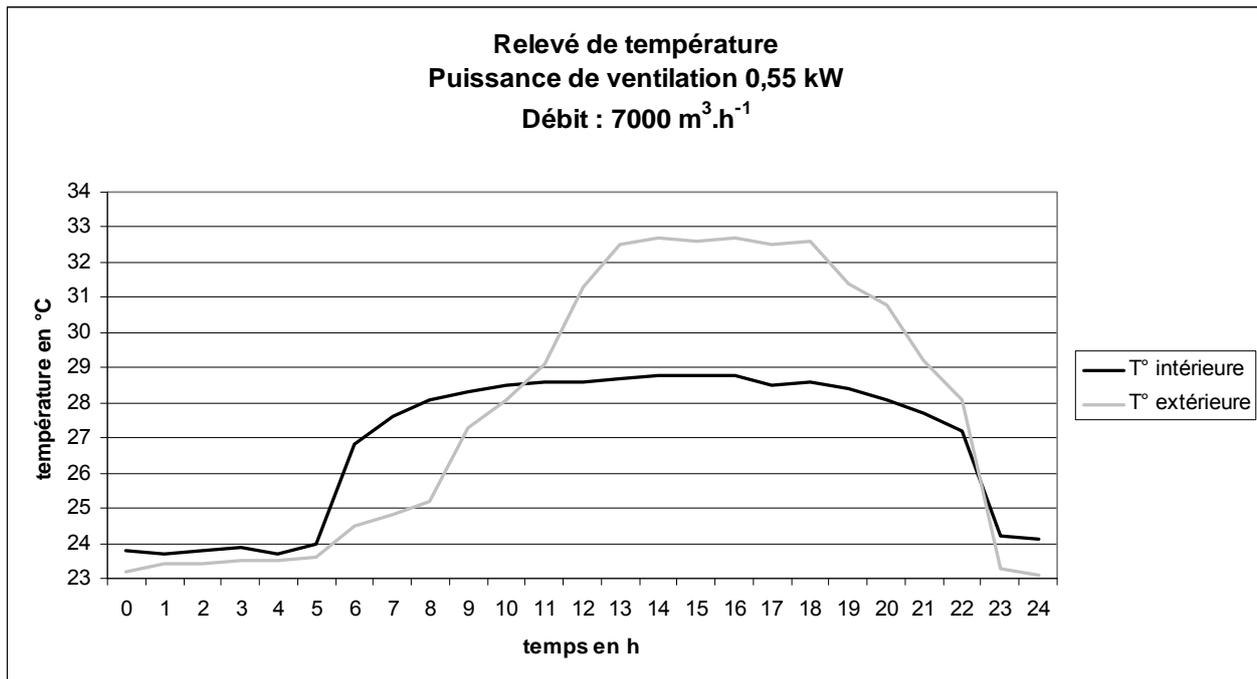
Document technique DT9 :

Résultats de la simulation du comportement de la température intérieure du local en fonction de la puissance de ventilation.



Document technique DT10 :

Relevé des températures moyennes à l'intérieur et à l'extérieur du local, rapportées sur une journée :



Relevé météorologique de Rio de Janeiro													
Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai	jui.	jui.	aoû.	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	24	25	24	21	18	16	14	17	19	21	22	23	21,5
Température moyenne (°C)	28,5	29,5	28,5	26,5	25	24	23	24	25	26	26,5	27,5	26,5
Température maximale moyenne (°C)	33	30	28	25	23	21	20	22	24	26	28	31	32
Précipitations (mm)	130	120	130	100	70	50	40	40	60	80	90	130	1090
Record de froid (°C)	15	16	14	13	12	9	8	10	11	13	14	14	8
Record de chaleur (°C)	43	44	43	42	40	39	40	41	42	43	43	42	44

Source : INMET

Document réponse DR1 :

Question 1.1 :

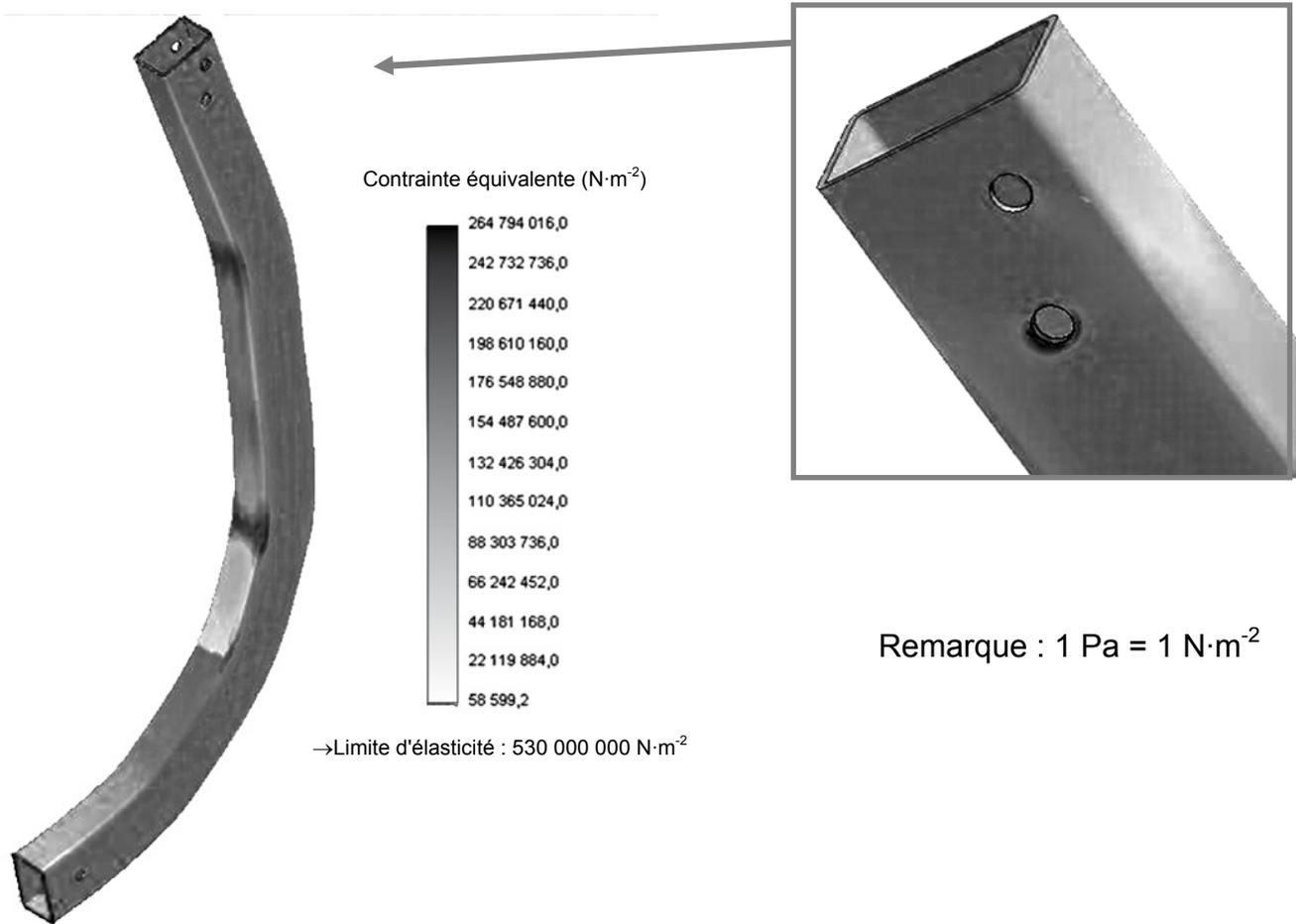
Piliers du développement durable	Arguments du dossier de presse
Ecologique	
Social	
Economique	

Questions 1.10 à 1.13 : **Compléter le tableau suivant :**

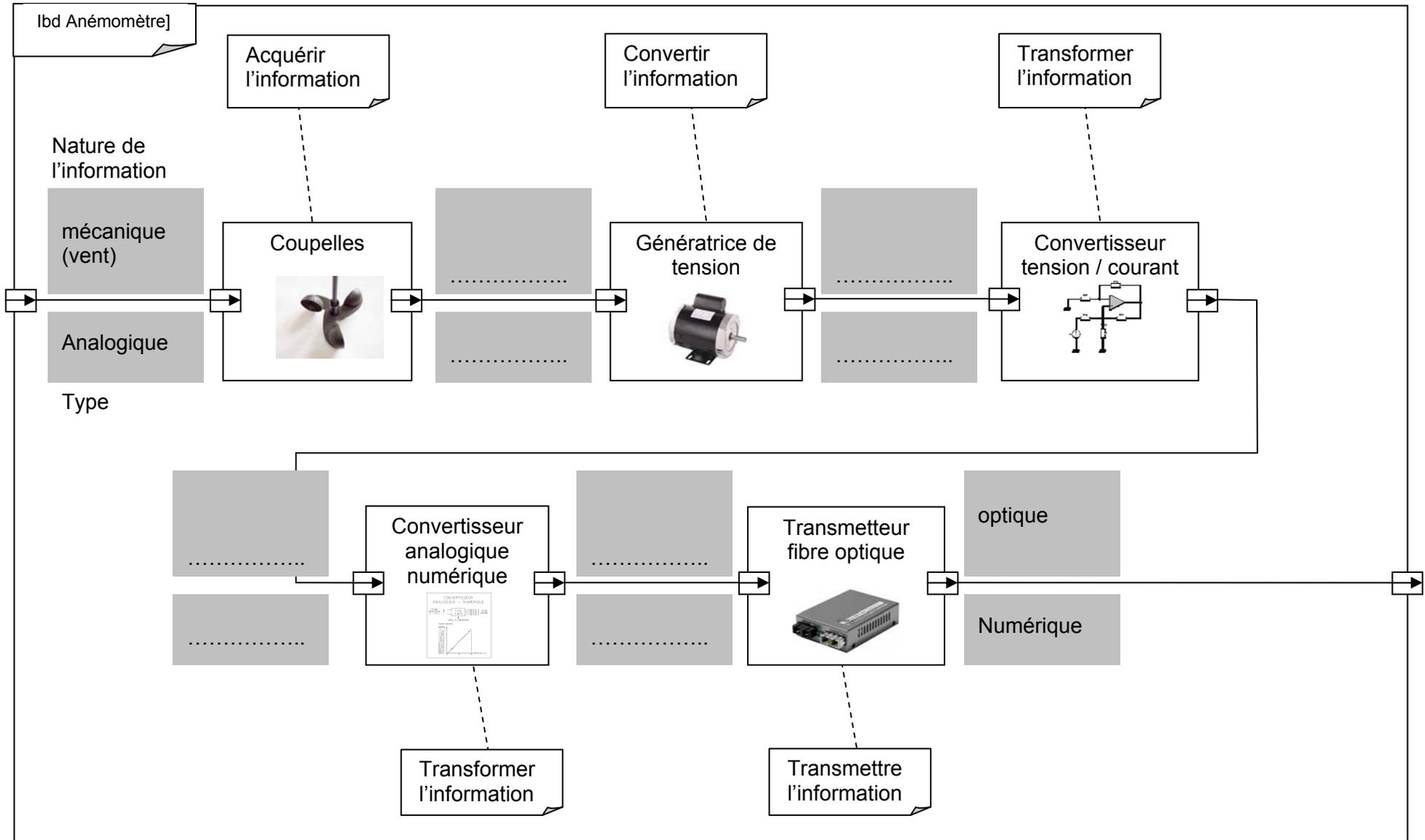
		Question 1.10	Question 1.11	Question 1.12	Question 1.13
	Taux du débit de passagers en %	Temps de fonctionnement sur l'année en heure	Nombre de passagers transportés en un an	Puissance consommée en kW	Energie en MW·h
	100			1300	
	80	Partie non étudiée			
	60				
	30				
Total	 	7300	32 850 000	 	8626

Document réponse DR2 :

Représentation des contraintes mécaniques

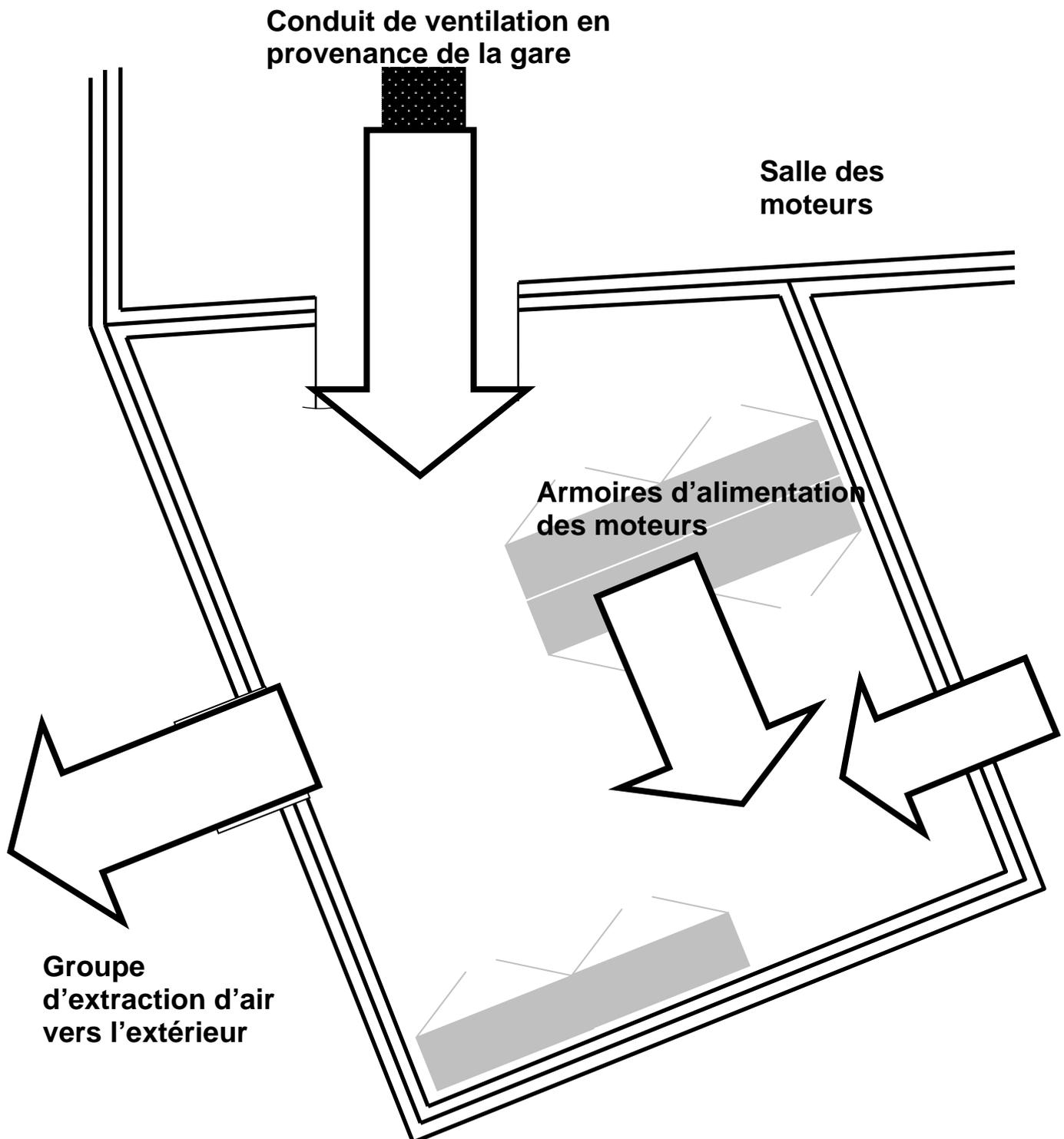


Document réponse DR3 :



Document réponse DR4 :

Plan du local technique



Détail des différents flux à reporter sur le schéma :

A : Flux de chaleur expulsée

C : Flux d'air frais

B : Flux de la source de chaleur

D : Flux de chaleur par conduction