



## 1. Mise en situation

La continuité de service et la disponibilité d'une source d'alimentation en énergie électrique ont été la priorité des concepteurs du téléphérique (figure 1). En effet, il faut pouvoir ramener en station tous les usagers en cas de défaillance du système principal motorisé d'entrainement du câble tracteur ou de défaut d'alimentation en énergie électrique principale.



Figure 1 : téléphérique de Toulouse

## 2. Comment déterminer la valeur de la super-capacité de stockage de l'énergie électrique à embarquer dans la cabine ?

Certains matériels embarqués dans la cabine nécessitent un apport en énergie électrique en continu. Lorsque les cabines emmènent les passagers d'une station à une autre, cet apport ne pouvant pas se faire de manière continue, il est nécessaire de prévoir un stock-tampon de l'énergie permettant à ces matériels électriques de rester opérationnels. Le schéma électrique simplifié de l'alimentation d'une cabine lors de son passage en gare est donné dans le DRS2.

- Un redresseur, situé en amont de l'ensemble rails en gare, permet de convertir la tension monophasée 400V<sub>AC</sub> à une tension continue de 69V<sub>DC</sub> sur les collecteurs présents sur les cabines. Cette même tension de 69 V<sub>DC</sub> est donc présente sur la super-capacité. Les rails fixes, les frotteurs et les prises débrochables permettent de récupérer l'énergie à embarquer dans la cabine lors du passage en gare de la cabine.
- Un régulateur de tension continue permet de passer de la tension aux bornes de la super-capacité (69 V<sub>DC</sub> max) à une tension de 27,2 V<sub>DC</sub> nécessaire à la charge de la batterie.
- Un régulateur continu permet d'alimenter en 24 V<sub>DC</sub> les composants électroniques nécessitant un niveau de tension régulé : Composants du Réseau de communication Sol Embarqué (CRSE) et composants du Réseau informatique MultiServices (RMS).

☞ **Compléter** le document réponse DRS1 en indiquant la nature de la tension AC ou DC en entrée et sortie des convertisseurs et régulateurs puis **indiquer** les valeurs de tensions présentes sur ces mêmes entrées-sorties.

La super-capacité assure l'alimentation en énergie électrique de matériels embarqués dans la cabine lors du fonctionnement en mode Normal LO.

Ainsi, le bureau d'études a fixé que la valeur de la super-capacité doit être dimensionnée pour :

- fournir l'énergie E1 en mode Normal sur le temps le plus long entre deux gares, ce qui correspond à un fonctionnement à vitesse d'exploitation de 5 m·s<sup>-1</sup>;
- et
- fournir l'énergie E2 pour le rechargement en continu de la batterie sur le temps le plus long entre deux gares.

☞ A l'aide du document technique DTS1, **relever** le temps le plus long entre deux gares lors d'un fonctionnement à vitesse d'exploitation de 5 m·s<sup>-1</sup>.

On rappelle la relation liant l'énergie E (exprimée en Joule), la tension U (exprimée en Volt) et l'intensité I (exprimée en Ampère) et le temps Δt (exprimé en seconde) :

$$E(J) = U(V) \times I(A) \times \Delta t(s)$$



➤ A l'aide du document technique DTS2, **calculer** l'énergie E1, en kilojoules (kJ), à fournir par la supercapacité en mode Normal lors du temps le plus long entre deux gares pour alimenter l'ensemble des récepteurs.

L'énergie E2 pour le rechargement en continu de la batterie sur le temps le plus long entre deux gares est égale à 6,74 kJ.

➤ **Calculer** l'énergie totale que doit fournir la super-capacité.

La valeur de la capacité totale de deux super-condensateurs se calcule de la manière suivante selon leur disposition (figure 2).

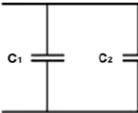
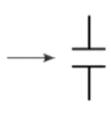
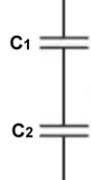
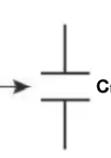
Super-capacités en parallèle		Equivalent à →		$C_{total(F)} = C_{1(F)} + C_{2(F)}$
Super-capacités en série		Equivalent à →		$\frac{1}{C_{total(F)}} = \frac{1}{C_{1(F)}} + \frac{1}{C_{2(F)}}$

Figure 2 : calcul des capacités

La super-capacité placée sur une cabine est constituée de deux supercondensateurs identiques.

➤ A l'aide du document technique DTS3, **relever** la valeur de la capacité d'un supercondensateur et **préciser** la disposition (série ou parallèle).

➤ **Calculer** alors la capacité totale de la super-capacité réellement installée.

Le bureau d'études a évalué la valeur totale de la super-capacité à 206 Farads (F).

La valeur de la capacité en Farad d'un supercondensateur dépend des conditions d'utilisations ; la température par exemple. Le constructeur garantit pendant 10 ans une valeur minimale de capacité égale à 80% de la valeur initiale du supercondensateur.

➤ **Conclure** quant au choix effectué de la super-capacité.



### 3. Comment justifier le choix des batteries embarquées dans la cabine ?

Le parc batteries assure l'alimentation en énergie électrique de matériels embarqués dans la cabine lors du fonctionnement en mode Secours et en cas d'arrêt prolongé d'exploitation. Ainsi, le bureau d'études a fixé que la capacité du parc batteries doit être dimensionnée pour :

- fournir la capacité énergétique Q1 en A·h en mode Secours, mode où les cabines restent en ligne (décharge de la batterie sans possibilité de recharger au passage en gare) pendant un temps correspondant à la durée maximale fixée pour la récupération des passagers de 1h45min ;  
et
- fournir la capacité énergétique Q2 en A·h consommée par le client Wifi et l'automate GTB lors de l'interruption de l'exploitation de 0h30 à 5h15; ceci pour permettre de gérer la mise hors / sous tension de la cabine à distance par télécommande depuis le sol.

☛ A l'aide du document technique DTS2, **calculer** la capacité Q1 en A·h à fournir par le parc batteries en mode Secours pour la durée maximale de récupération des passagers fixée à 1 h 45 min. Arrondir le résultat à l'unité supérieure.

La capacité Q2 est égale à 9 A·h.

☛ **Justifier** par calcul, que la capacité totale du parc batteries doit être de 67 A·h pour satisfaire le besoin en énergie

Le parc batteries est constitué de 2 batteries LIFEPO4 disposées en série.

☛ A l'aide du document technique DTS3, **relever** la valeur de la tension et de la capacité d'une batterie. **Justifier** la disposition des batteries qui sont en série.

☛ **Indiquer** la valeur de la capacité totale du parc batteries

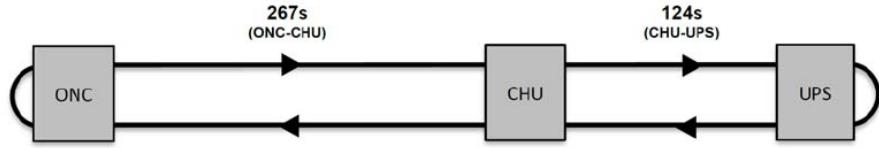
L'énergie stockée dans les batteries jouant un rôle essentiel de sécurité, le dimensionnement de la capacité totale du parc batterie calculée initialement est majorée d'un rapport égal à 50%.

☛ **Conclure** quant au choix effectué du parc batteries.



## Document technique DTS1 : répartition des temps en ligne en exploitation continue (mode Normal)

Répartition des temps en ligne en exploitation à une vitesse max de  $7,5 \text{ m.s}^{-1}$

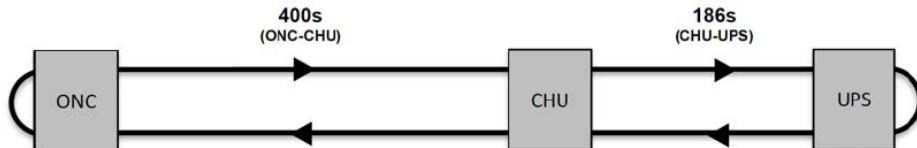


ONCOPOLE :

CHU (par direction) :

UPS :

Répartition des temps en ligne en exploitation à une vitesse de  $5 \text{ m.s}^{-1}$



ONCOPOLE :

CHU (par direction) :

UPS :

## Document technique DTS2 : bilan des consommations énergétiques des composants d'une cabine

Les bilans de consommation énergétique des matériels embarqués dans une cabine qui nécessitent un apport en énergie sont donnés ci-dessous selon les deux cas :

- l'exploitation continue (mode Normal)
- l'arrêt en ligne nécessitant une récupération des passagers dans un temps donné (mode Secours)

Energie embarquée / Bilan de consommation en mode Normal		
Consommateur	Courant moyen $A_{DC}$	Tension moyenne $V_{DC}$
Ventilation	8,75 $A_{DC}$	27,2 $V_{DC}$
Eclairage	1,9 $A_{DC}$	
Autres composants CRSE + RMS	3,8 $A_{DC}$	24 $V_{DC}$
Client Wifi + Automate Cabine	1,9 $A_{DC}$	

Energie embarquée / Bilan de consommation en mode Secours		
Consommateur	Courant moyen $A_{DC}$	Tension moyenne $V_{DC}$
Ventilation	25,8 $A_{DC}$	24 $V_{DC}$
Eclairage	1,2 $A_{DC}$	
Autres composants CRSE + RMS	3,8 $A_{DC}$	24 $V_{DC}$
Client Wifi + Automate Cabine	1,9 $A_{DC}$	

CRSE : Composants du Réseau de communication Sol Embarqué

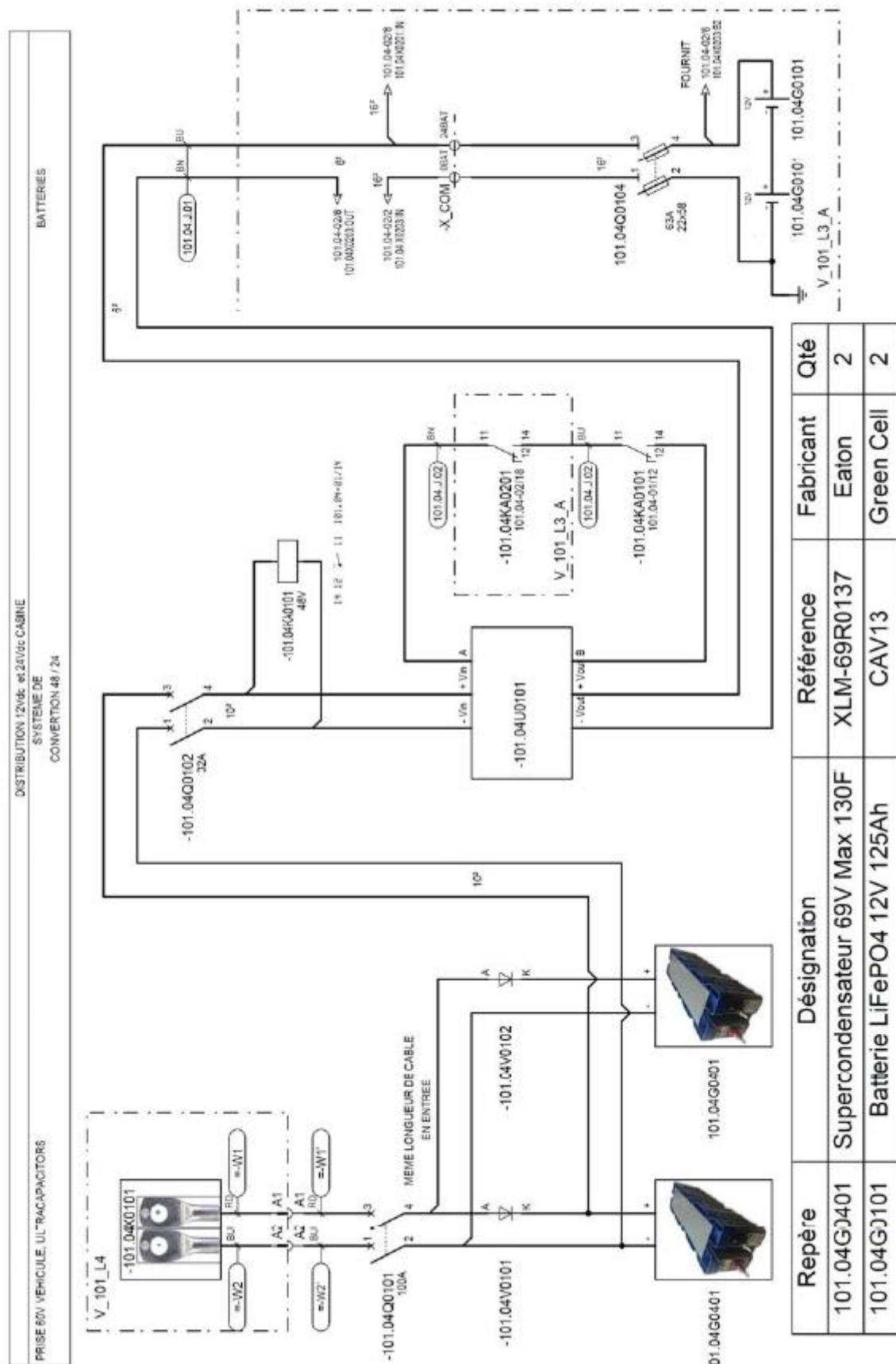
RMS : Réseau informatique MultiServices

# Stockage d'énergie embarqué dans le téléphérique de Toulouse



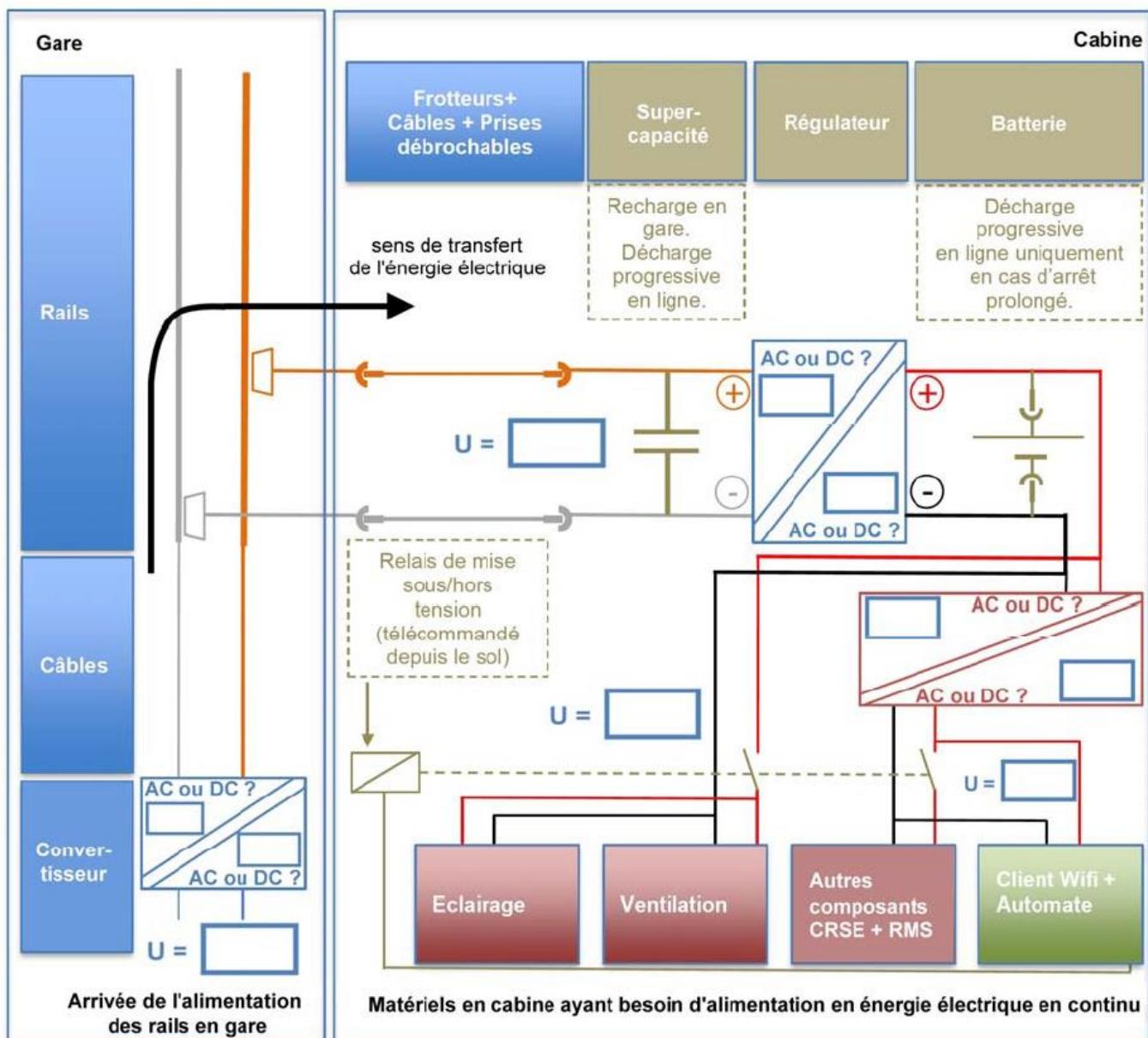
Énergies et Environnement

## Document technique DTS3 : extrait des schémas électriques d'une cabine





## Document réponses DRS1 : schéma électrique simplifié



RCSE : Composants du Réseau de Communication Sol Embarqué  
 RMS : Réseau informatique MultiServices