

# FCITY

Comment optimiser l'alimentation d'un véhicule électrique de centre-ville ?

La gare de Belfort-Montbéliard-TGV se trouve sur la commune de Meroux à 8 km de Belfort et 17 km de Montbéliard. Afin de satisfaire une demande de ses usagers, la SNCF propose un service de location de véhicules électriques permettant de réaliser des trajets de courte distance.

La conception de ces véhicules doit pouvoir répondre complètement aux impératifs d'un concept de type « Autolib », à savoir :

- une location facile et rapide de l'utilisateur,
- des performances suffisantes pour s'insérer facilement dans la circulation,
- une autonomie de 100 km,
- un système de gestion permettant de signaler le taux de charge des batteries du véhicule,
- un confort satisfaisant des usagers pour des trajets urbains.

## PRESENTATION DU VEHICULE.

Fabriquée par la société FAM Automobiles, entreprise basée à Etupes dans le nord Franche-Comté, la F-City est une petite voiture électrique qui peut être utilisée en libre accès et réservée d'un simple appel téléphonique.

Description générale.

Nombre de places : 2.

Moteur asynchrone électrique triphasé 48 V ~, 8 kW,  $T_{max}$  de 45 Nm. Groupe motopropulseur en position arrière.

Suspensions : 4 roues indépendantes, à l'arrière bras tirés, à l'avant triangles superposés.

Systèmes batteries : rack amovible type Ni-Mh avec 12 modules indépendants 6V/200Ah, énergie embarquée 14,4 kWh, puissance maximale 24 kW, refroidissement par eau en circuit fermé. Le rack amovible d'une masse de 273 kg est fixé en 4 points à la structure et participe à la rigidité du véhicule

Système électrique : rack de batteries de la chaîne de propulsion 72V/200Ah, équipements de bord 12V/350W, batterie de servitude 12 V/40Ah.

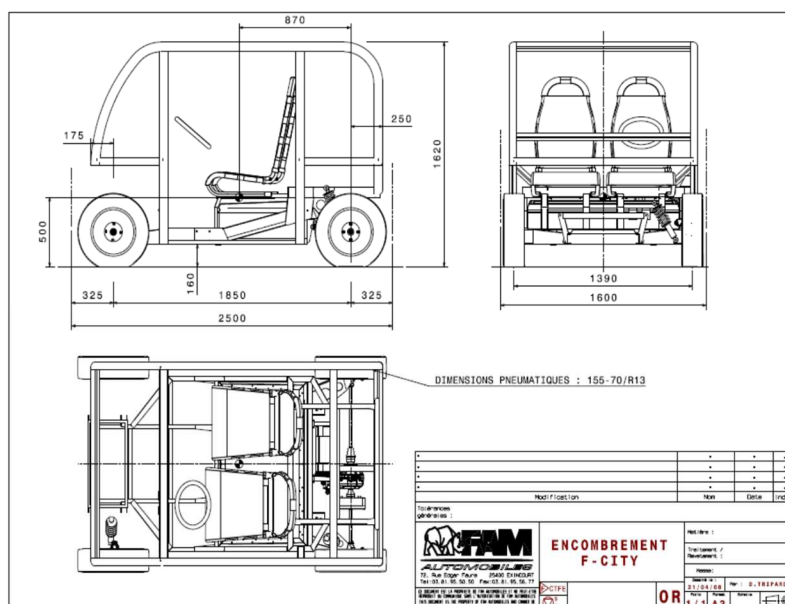
Masse : totale en ordre de marche 840 kg, charge utile (coffre) 150 kg, total autorisée en charge 1140 kg.

Vitesse maximale : 65 km/h.

Accélération : de 0 à 30 km/h en 5,5 secondes.

Décollage en pente maximale de 16 %.

Autonomie : de 80 à 100 km selon le profil d'utilisation.



# FCITY

## Comment proposer le véhicule en libre-service ?

L'objectif de cette partie est d'analyser la solution retenue par le constructeur permettant de proposer le véhicule en libre-service.

Question 1 **Énoncer** le besoin principal qui a motivé la création du véhicule F-City.

Parallèlement au véhicule F-City, la société FAM a développé le système Vu-Log qui permet de localiser en permanence le véhicule ; « F-City » peut ainsi être utilisé en libre accès et réservé d'un simple coup de téléphone.

Question 2 Les diagrammes d'interactions du système Vu-Log (documents DT2 et DT3) permettent de décrire les interactions entre composants et dans un ordre chronologique. **Préciser** dans quel sens se déroule le temps sur ces deux diagrammes. **Préciser** si l'on respecte une échelle temporelle.

Voir DT1, DT2, DT3

Question 3 Dans les diagrammes d'interactions du système Vu-Log (documents DT2 et DT3), les interactions entre composants sont appelés « messages » et sont représentées par des flèches. Il existe trois types de messages. Les messages asynchrones pour lesquels l'expéditeur n'attend pas de réponse, les messages synchrones pour lesquels l'expéditeur attend une réponse et les réponses aux messages synchrones. **Préciser** la symbolique de chaque type de message.

Voir DT2, DT3

Question 4 À l'aide du diagramme des cas d'utilisation et des diagrammes d'interactions du système Vu-Log (documents DT1 à DT3), **préciser** les étapes successives nécessaires à la réservation d'un véhicule, de la demande de location à la prise en charge, du point de vue de l'utilisateur.

Voir DT1, DT2, DT3

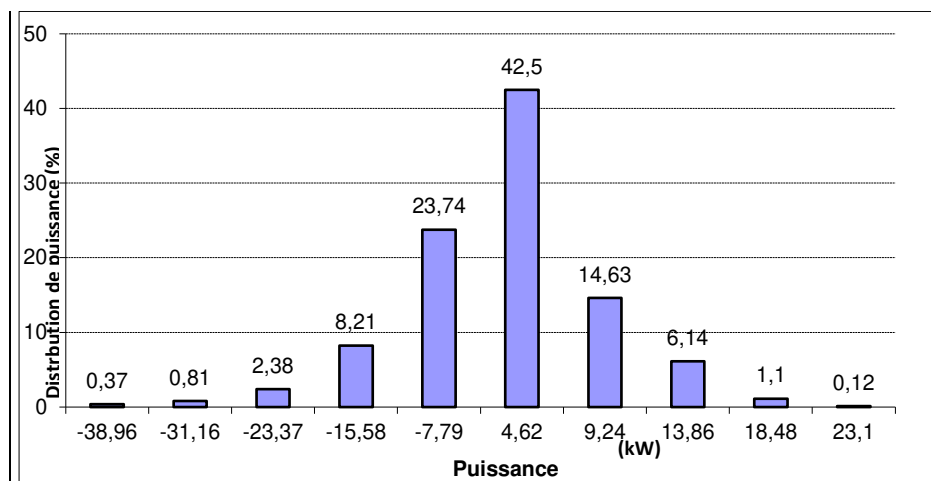
## Autonomie du véhicule.

L'objectif de cette partie est de vérifier une autonomie du véhicule de 100 km pour des déplacements dans le pays de Montbéliard dont le parcours type est de 10,6 km réalisé en 23 minutes.

Question 5 La chaîne d'énergie de propulsion du véhicule est proposée en document DT5. Sur ce document, **surligner** en rouge les flux d'énergie électrique et **surligner** en bleu les flux d'énergie mécanique. **Préciser** si ces flux sont réversibles ou non.

Voir DT4, DT5

La distribution de puissance relevée au niveau de l'essieu lors du parcours est donnée ci-contre. Cet histogramme représente le pourcentage du temps de parcours en fonction de différentes valeurs de la puissance transmise. Ainsi on peut dire que la puissance sur l'essieu a été de 4,62 kW pendant 42,5 % du temps du parcours.



Question 6 Cet histogramme a été relevé en convention moteur. **Interpréter** le signe des puissances relevées.

Le **rendement** de la chaîne d'énergie de propulsion (DT4 et DT5) est identique et égal à  $\eta_t = 75 \%$  quel que soit le mode de transfert de l'énergie. On suppose pour les questions 7 à 12 que seule la batterie est connectée (absence du module de supercondensateurs).

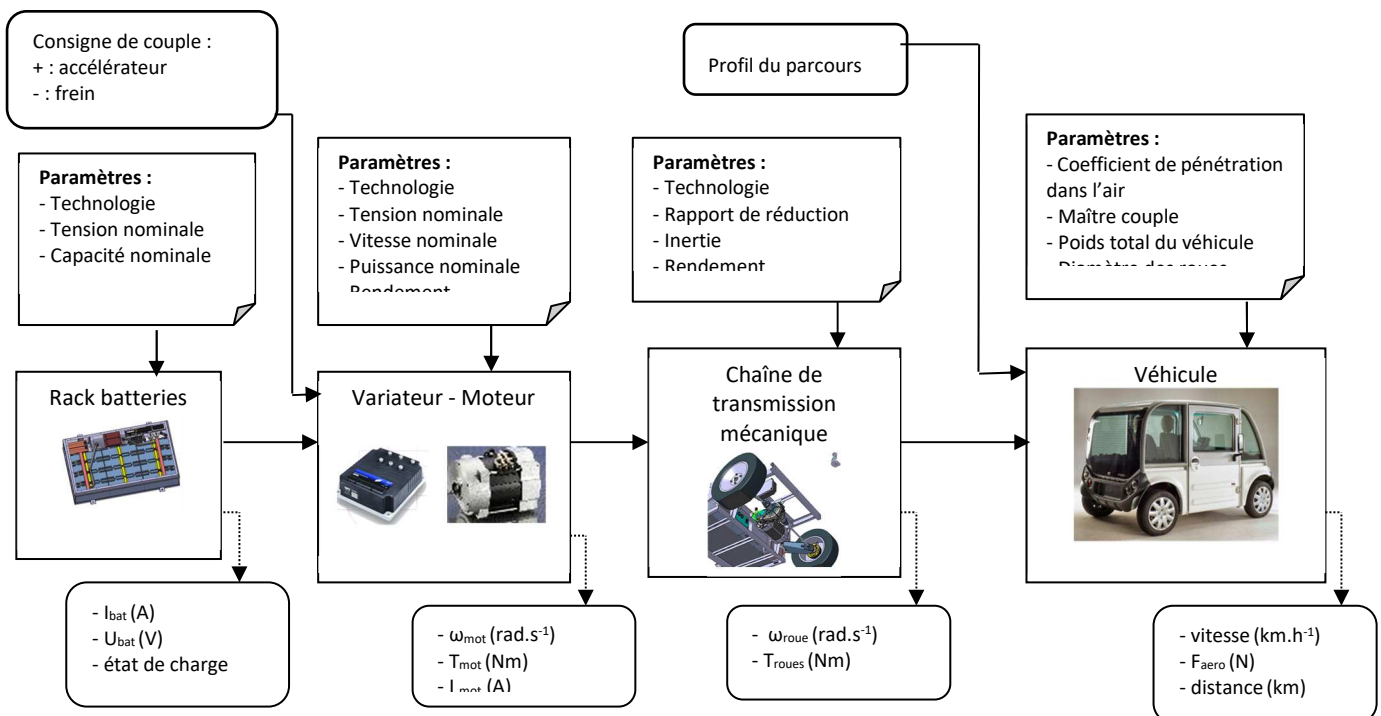
## FCITY

- Question 7 **Calculer** la puissance  $P_1$  que doit fournir la batterie lorsque la puissance mécanique relevée sur l'essieu est égale à 9,24 kW. **Calculer** la puissance  $P_2$  restituée à la batterie lorsque la puissance mécanique relevée sur l'essieu est égale à -15,58 kW.
- Question 8 **Calculer** la valeur de la puissance moyenne  $P_{bat}$  au niveau de la batterie pour ce parcours.
- Question 9 **Calculer** la valeur de l'énergie fournie  $W_{batterie}$  par la batterie pour ce parcours.

L'énergie consommée par les accessoires lors du parcours type est estimée à 100 Wh.

- Question 10 Pour des raisons de garantie « constructeur », la tolérance sur la profondeur de décharge des batteries est de 80 %. **Calculer** l'énergie nécessaire pour effectuer 100 km. **Conclure** quant au respect de l'exigence sur l'autonomie du véhicule.

Pour des raisons de coût, le constructeur envisage de remplacer les batteries de type Ni-Mh par des batteries Acide-Plomb. Afin de valider ce choix, une simulation est réalisée sous un logiciel d'analyse comportementale en prenant comme hypothèse le parcours type de 10,6 km. Le modèle retenu pour l'analyse comportementale est le suivant :



- Question 11 On rappelle que l'énergie massique des batteries au plomb est deux fois moins importante que celle des batteries Ni-Mh. Parmi ceux proposés, **indiquer** deux paramètres à modifier pour passer du modèle de simulation « Ni-Mh » au modèle « Acide-Plomb ».

Le document DT6 fournit les résultats des simulations pour les 2 modèles établis.

- Question 12 **Indiquer** le seuil de charge du rack batterie pour chaque technologie à la fin du parcours de 10,6 km. **Calculer** l'autonomie du véhicule pour chaque modèle en tenant compte de la profondeur de décharge admise et **comparer** les résultats obtenus. **Conclure** quant à la faisabilité de ce projet par le constructeur si le critère principal retenu est le respect de l'autonomie de 100 km.
- Voir DT6

# FCITY

## Récupération d'énergie.

L'objectif de cette partie est de vérifier quelques points de choix d'un module de supercondensateurs.

On considère maintenant que les supercondensateurs sont associés au rack de batteries (voir document DT5). De par leur constitution, les supercondensateurs ont une faible tenue en tension (quelques volts seulement). On améliore cette tenue en constituant des modules. Le module utilisé ici a la référence BMOD0115 (voir document DT8).

Question 13                    Le module BMOD0115 est composé de  $n$  supercondensateurs  $C$  identiques montés en série. Chaque supercondensateur  $C$  a une tension nominale de 2,1 V et une tension maximale admissible de 2,5 V. Un système interne au module équilibre les tensions au niveau des supercondensateurs. **Calculer**  $n$  et  $C$  ( $C$  en Farad).  
Voir DT8

Question 14                    **Placer** le point caractéristique du module BMOD0115 sur le diagramme de Ragone (document DT7).  
**En déduire** un intérêt de l'association supercondensateurs + batterie Ni-Mh.  
Voir DT7, DT8

La phase de récupération de l'énergie électrique est étudiée pour un ralentissement de 65 km/h à 20 km/h. De 20 km/h à l'arrêt total, on estime que l'énergie cinétique est dissipée par les freins mécaniques du véhicule. La force de résistance aérodynamique est négligée.

Question 15                    **Calculer** la variation maximale de l'énergie cinétique  $\Delta E_{\text{cmax}}$  lors d'un ralentissement du véhicule de 65 à 20 km/h (on suppose le véhicule chargé au maximum).

Question 16                    Compte tenu des pertes aérodynamiques et des pertes dans la chaîne d'énergie, on considère que le rendement en phase de récupération vaut  $\eta_{\text{récup}} = 50\%$ . **En déduire** la valeur maximale  $W_{\text{emax}}$  de l'énergie électrique pouvant être récupérée par le module de supercondensateurs. **Vérifier** si le module convient de ce point de vue.

Question 17                    A la fin de la phase de récupération, la tension aux bornes du module ne doit pas excéder 42 V.  
**Evaluer**  $\Delta U$  la variation de tension aux bornes du module si celui-ci récupère l'énergie  $W_{\text{emax}}$ . **En déduire** le rôle du bloc « hacheur » du document DT5.  
Voir DT5

## Charge des batteries.

L'objectif de cette partie est de calculer le temps de charge des batteries.

Question 18                    A l'aide de la description générale, **donner** le couplage des modules NiMh.

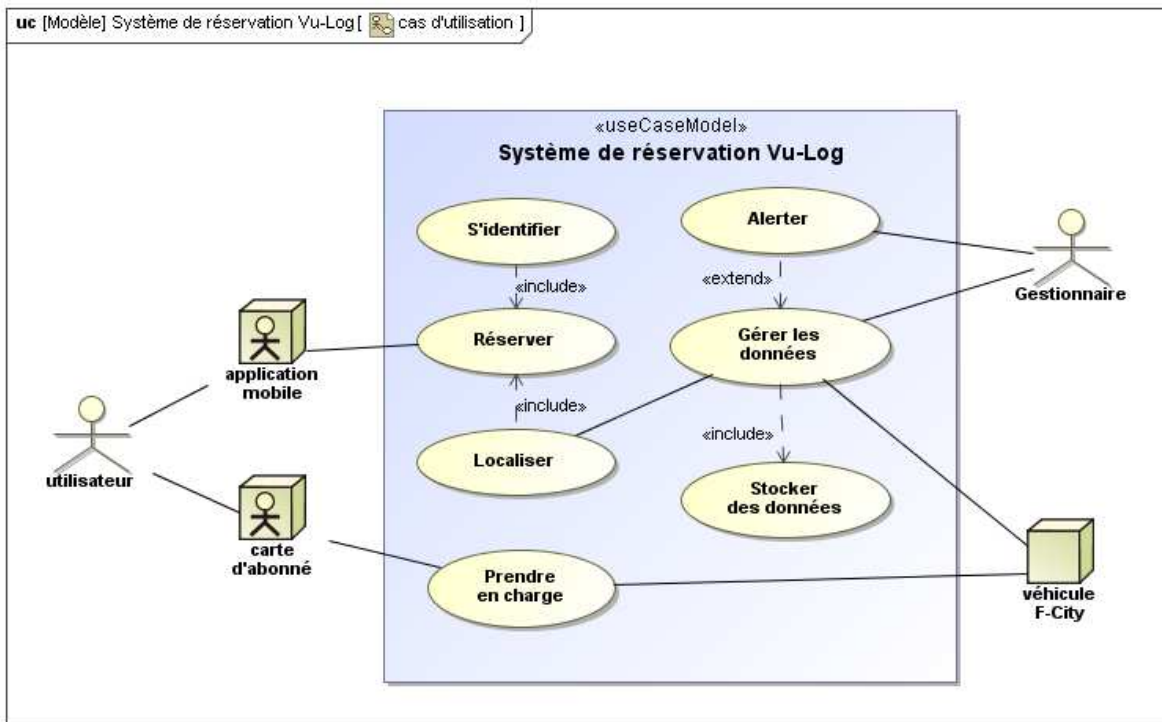
Le chargeur à un facteur de puissance  $\cos\phi = 1$  ; l'ensemble chargeur-répartiteur a un rendement de  $\eta_{\text{cr}}$  de 82 %.

Question 19                    Lorsque le véhicule est en charge sur une borne dédiée, le répartiteur connecte le chargeur aux modules NiMh (batterie) tout en déconnectant les modules NiMh (batterie) de l'onduleur. **Calculer**  $I_{\text{max}}$ , le courant de charge maximal des modules NiMh pour que le réseau monophasé ne soit pas surcharge.  
Voir DT5, DT9

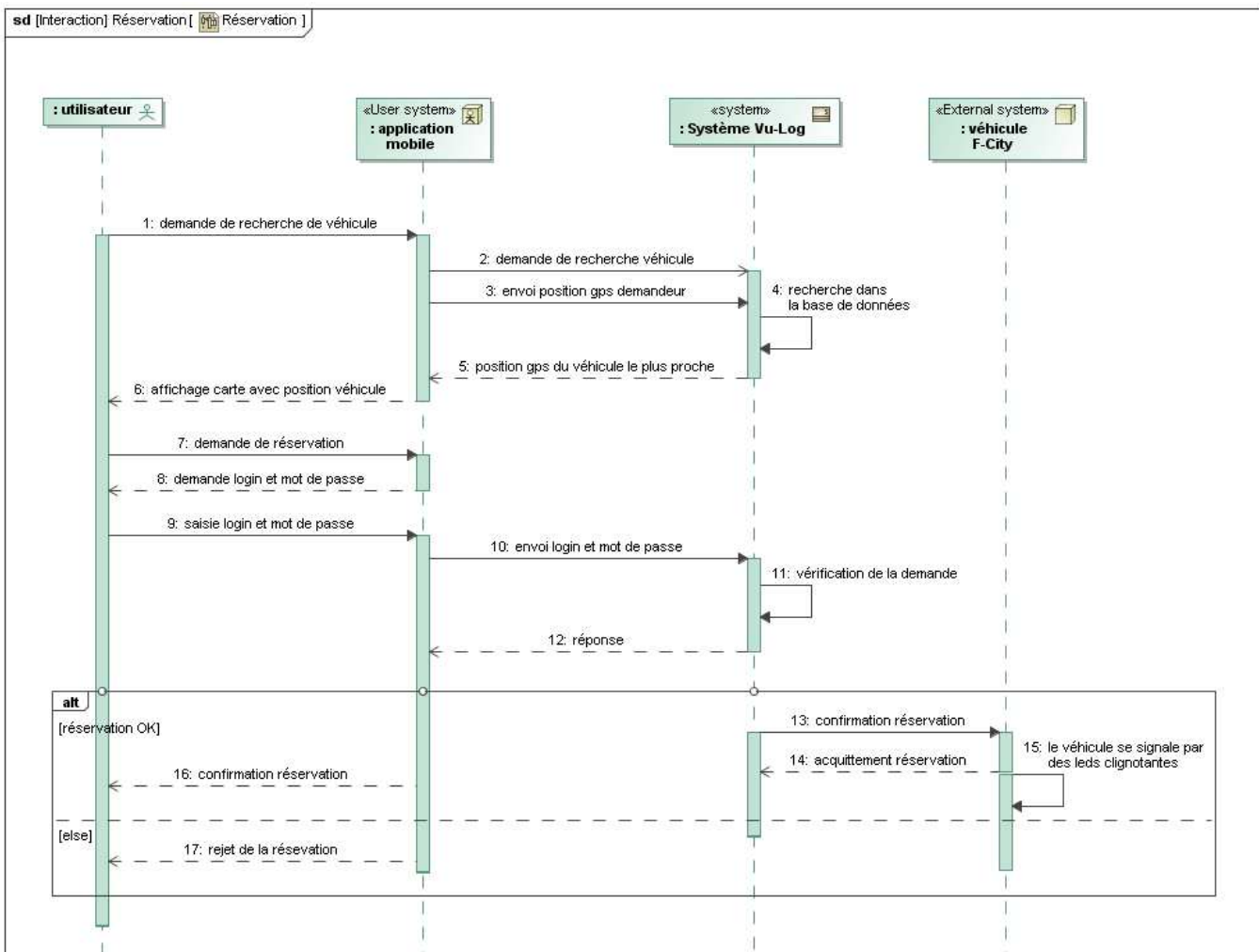
Question 20                    Le document DT10 précise les états du chargeur quand l'utilisateur le branche sur une borne de charge. **Calculer**  $T$ , le temps nécessaire à la charge totale des batteries pour une profondeur de décharge de 80 %. **Evaluer** les valeurs efficaces du courant appelé au réseau monophasé.  
Voir DT10

# FCITY

Document technique DT1 : diagramme des cas d'utilisation du système « Vu-log ».

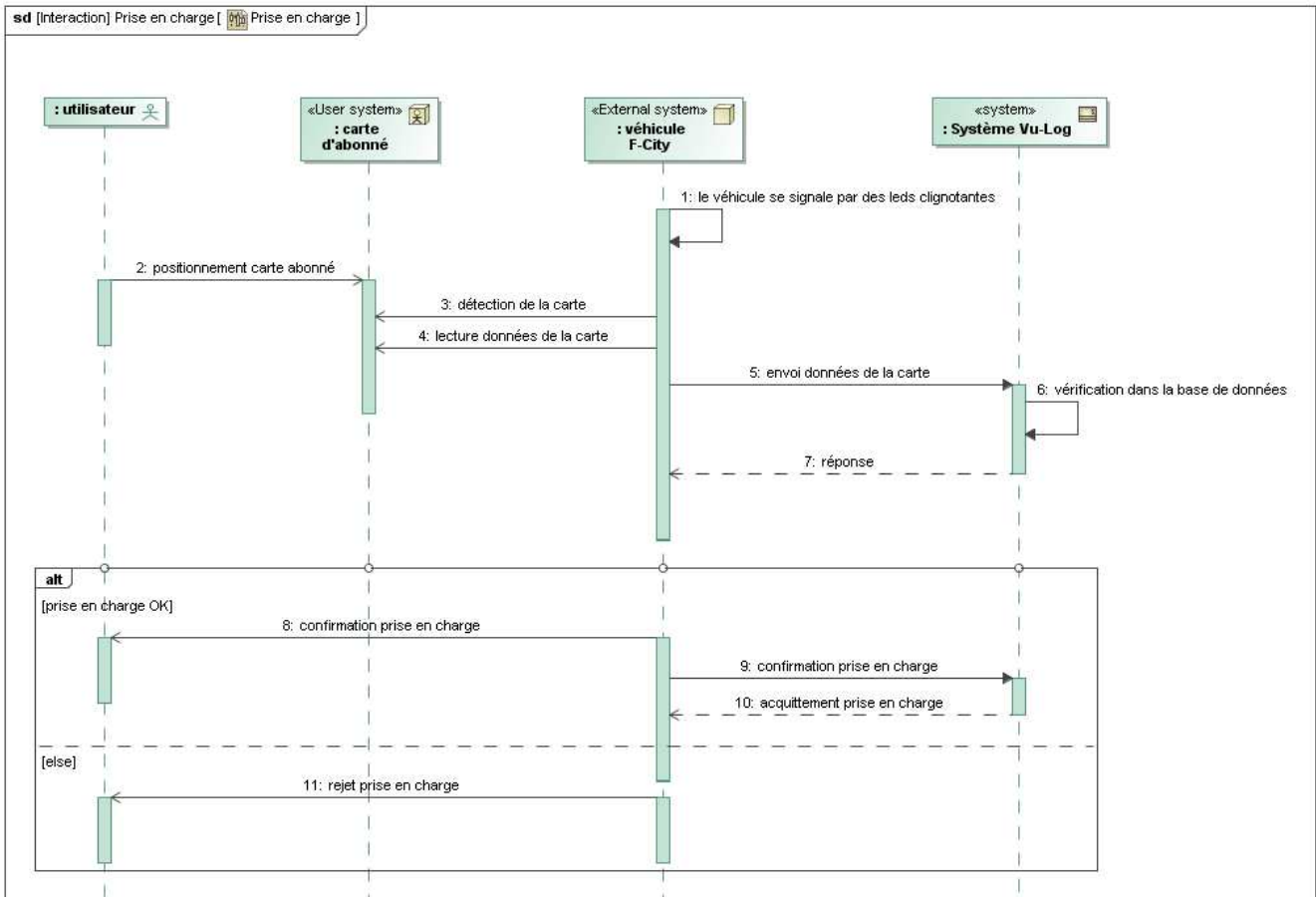


Document technique DT2 : diagramme des interactions du système « Vu-log » (cas d'une réservation).

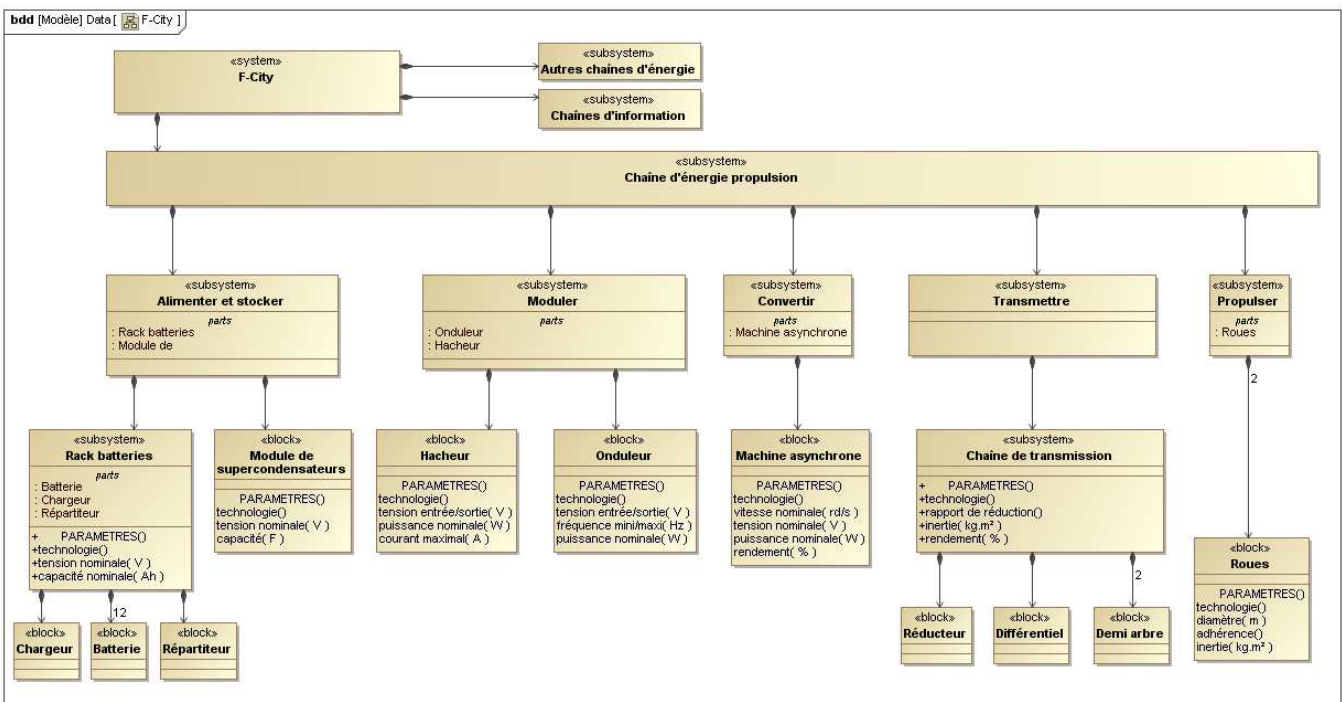


# FCITY

## Document technique DT3 : diagramme des interactions du système « Vu-log » (cas d'une prise en charge).

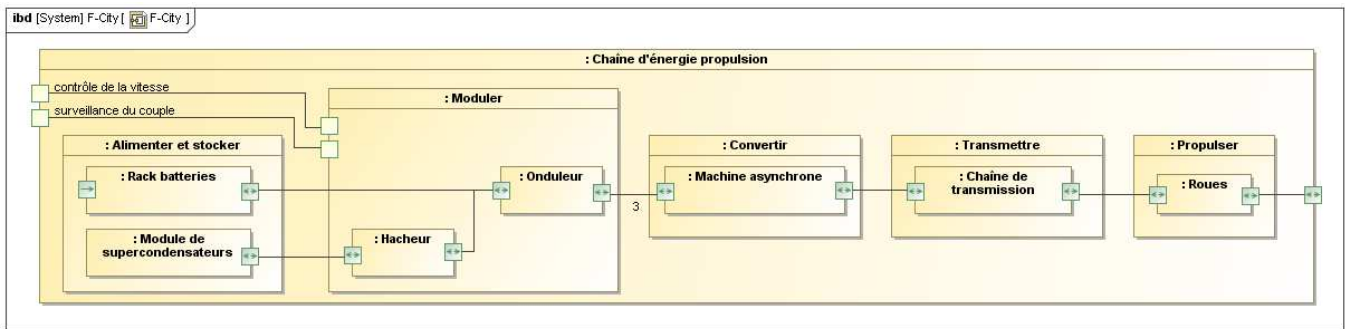


## Document technique DT4 : diagramme partiel de définition de blocs, véhicule « F-City ».



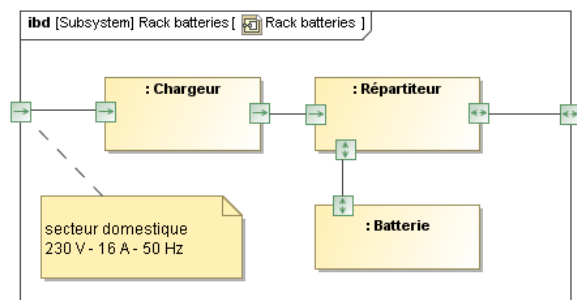
# FCITY

**Document technique DT5** : diagramme de définition de bloc interne, chaîne d'énergie propulsion du véhicule « F-City ».

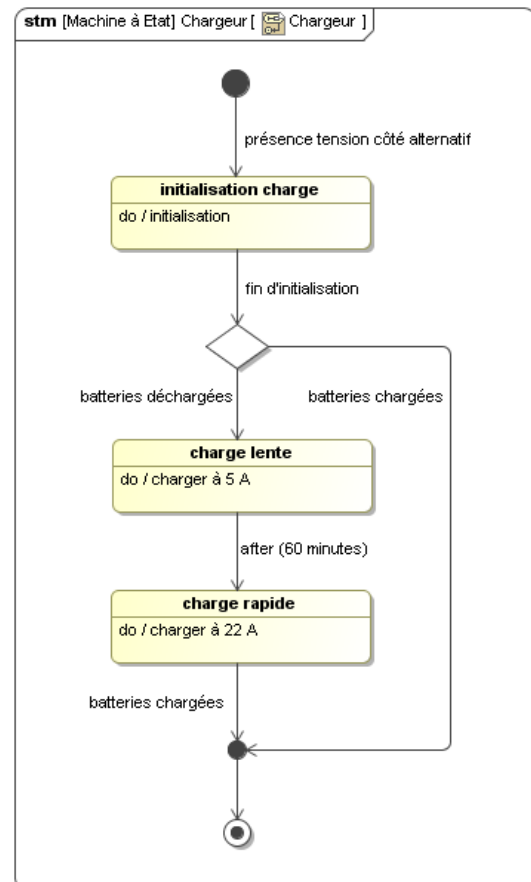


*Attention documents techniques DT6 à DT8 en pages suivantes, documents techniques DT9 et DT10 sur cette page.*

**Document technique DT9** : diagramme de définition de bloc interne, rack batteries du véhicule « F-City ».

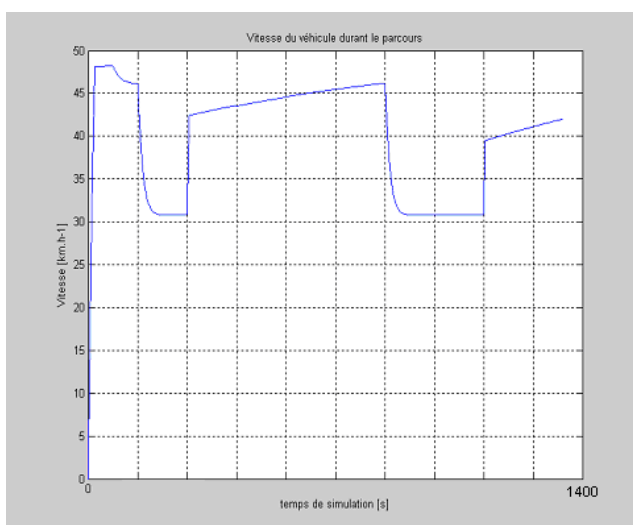
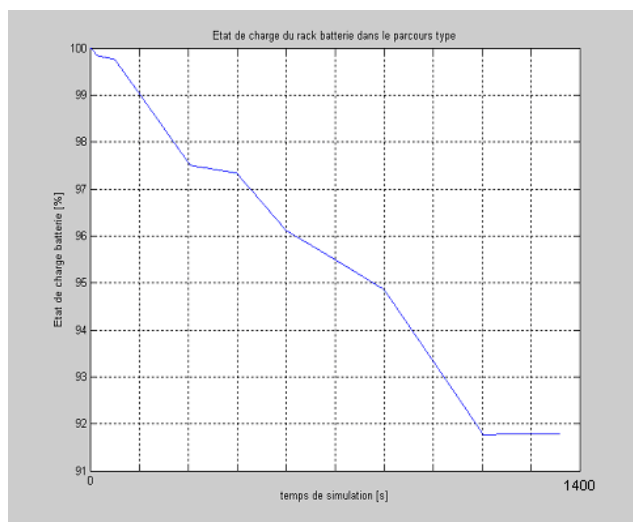
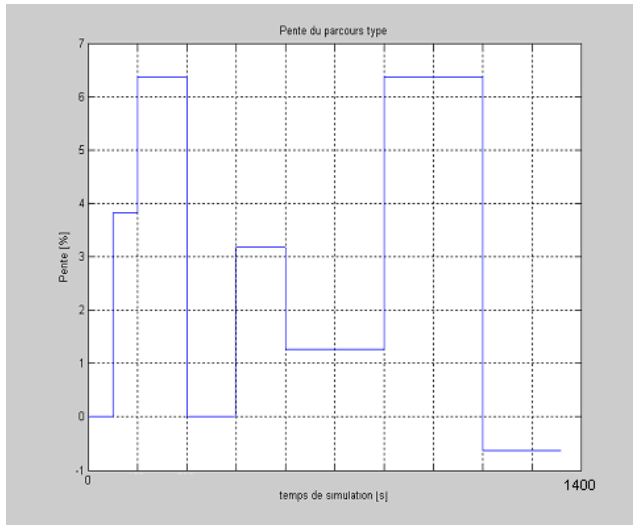


**Document technique DT10** : diagramme d'états, états du chargeur en régime de charge normale.

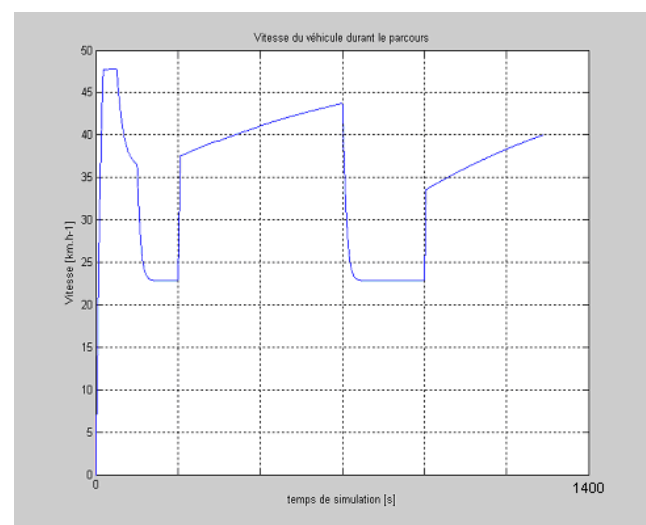
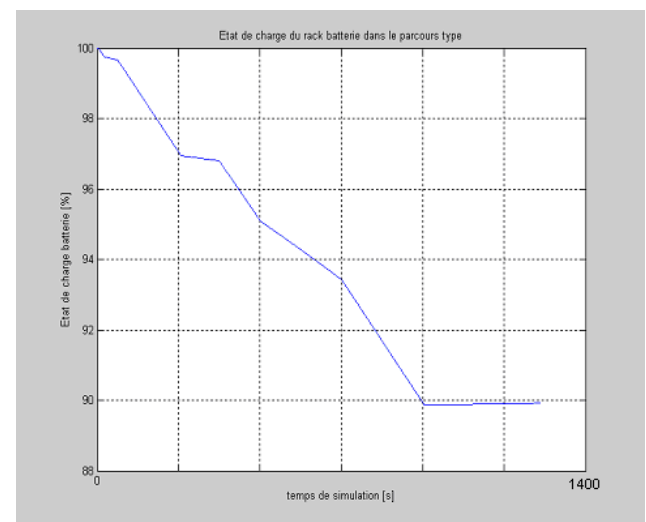
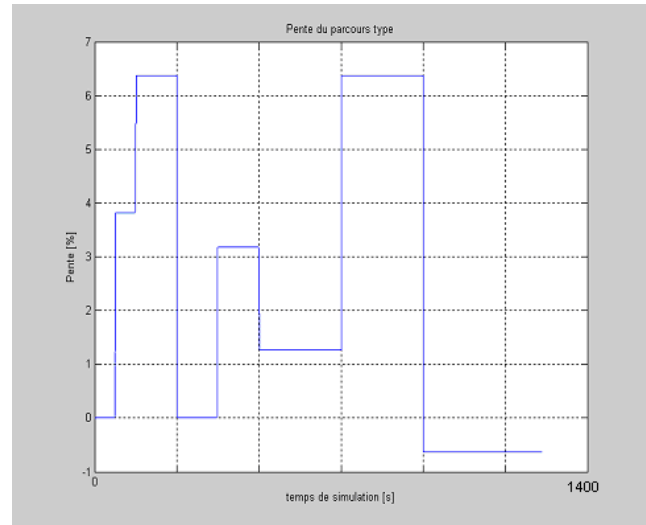


## Document technique DT6 : résultats de simulation.

## Simulation avec un rack batteries Ni-Mh



## Simulation avec un rack batteries Plomb-acide

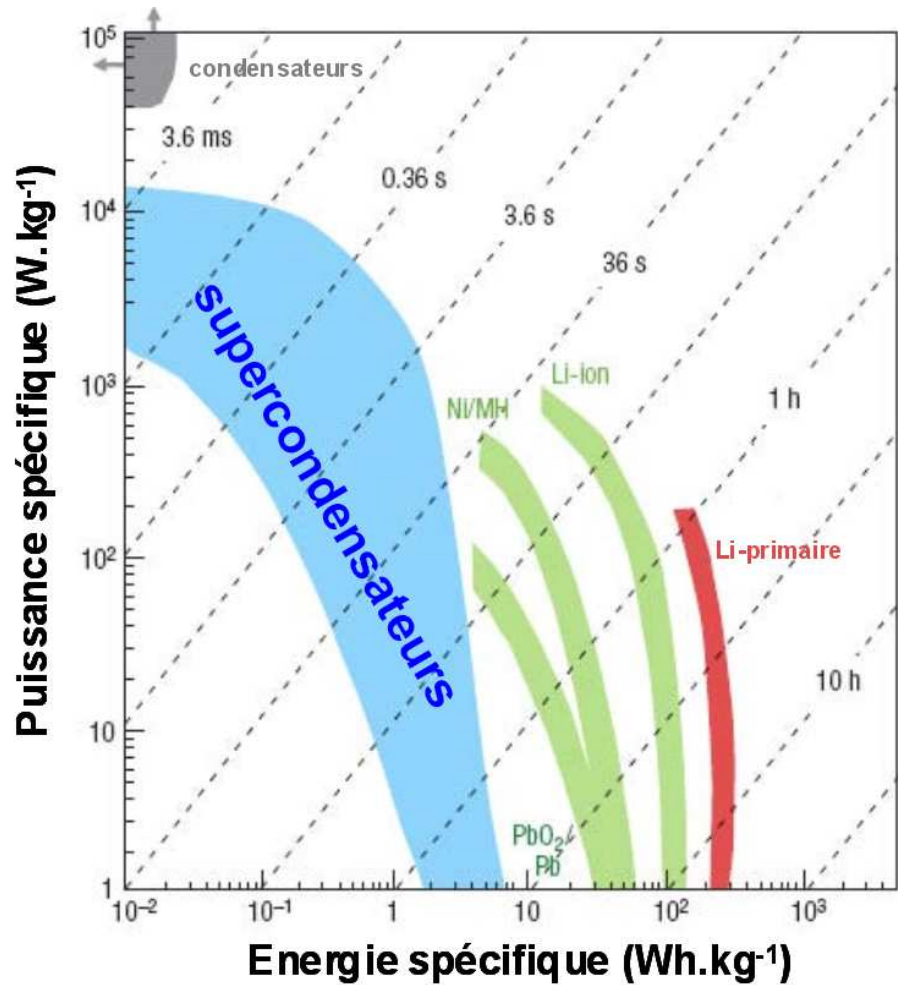




## FCITY

Document technique DT7 : diagramme de Ragone.

Le diagramme de Ragone est un graphique utilisé pour comparer les performances des techniques de stockage d'énergie (par exemple en électricité batteries, piles, accumulateurs électriques, etc ...). Il s'agit d'un graphique à axes logarithmiques ou semi-logarithmique. Il est complété par des lignes transversales (en secondes) qui indiquent le temps nécessaire à la charge ou la décharge des systèmes de stockage.



Document technique DT8 : caractéristiques de supercondensateurs.

	BCAP0010 (Cellule)	BMOD0115 (Module)	BMOD0117 (Module)
Capacité (F, -20%/+20%)	2600	145	435
Résistance série maximum à 25 °C (mΩ)	0,7	10	4
Tension (V), continue (pic)	2,5 (2,8)	42 (50)	14 (17)
Puissance spécifique (W/kg)	4300	2900	1900
Energie spécifique (Wh/kg)	4,3	2,22	1,82
Courant maximum (A)	600	600	600
Dimension (mm)	60 × 172 (cylindre)	195 × 165 × 415 (boîte)	195 × 265 × 145 (boîte)
Poids (kg)	0,525	16	6,5