

## CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—  
SESSION 2017  
—**SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES  
ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE**

(Classes de terminale STI2D)

PREMIERE PARTIE

Durée : 5 heures  
—

*L'usage de la calculatrice est autorisé  
Le sujet est à traiter dans sa globalité quel que soit l'option du candidat*

**Consignes aux candidats**

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Numérotter chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours selon l'option choisie :

**1. Option Architecture et construction :**

|                         |                                  |                |
|-------------------------|----------------------------------|----------------|
| Concours / Examen : CGL | Section/Spécialité/Série : SARCO |                |
| Epreuve : 00101         | Matière : ARCO                   | Session : 2017 |

**2. Option Energies et environnement :**

|                         |                                  |                |
|-------------------------|----------------------------------|----------------|
| Concours / Examen : CGL | Section/Spécialité/Série : SENEN |                |
| Epreuve : 00101         | Matière : ENEN                   | Session : 2017 |

**3. Option Innovation technologique et éco-conception :**

|                         |                                  |                |
|-------------------------|----------------------------------|----------------|
| Concours / Examen : CGL | Section/Spécialité/Série : SITEC |                |
| Epreuve : 00101         | Matière : ITEC                   | Session : 2017 |

**4. Option Systèmes d'information et numérique :**

|                         |                                  |                |
|-------------------------|----------------------------------|----------------|
| Concours / Examen : CGL | Section/Spécialité/Série : SSINU |                |
| Epreuve : 00101         | Matière : SINU                   | Session : 2017 |







# CONCOURS GENERAL DES LYCEES

## Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

**Session 2017**

Durée 5 heures

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée



### Constitution du sujet :

- **Dossier Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
  - **PARTIE 1** ..... Pages 3 à 6
  - **PARTIE 2** ..... Pages 7 et 8
  - **PARTIE 3** ..... Pages 9 à 11
- **Dossier Technique**..... Pages 12 à 32
- **Documents Réponse** ..... Pages 33 à 38

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

**Les documents réponses DR1 à DR6 seront à rendre (même vierges) avec la copie.**

Concours général 2017

Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D

Page 1 / 38

Tournez la page S.V.P.

B

## **Mise en situation**

### **Le projet Businova**

Le Businova est un véhicule de transport urbain à haut niveau de performances techniques, économiques et écologiques.

Cet autobus aux lignes travaillées, combine deux innovations majeures, protégées par des brevets : le châssis bi-modulaire et le système de motorisation multi-hybride.

### **Motorisation multi-hybride**

La motorisation comprend jusqu'à trois sources d'énergie agissant de façon combinée. Celles-ci s'articulent autour d'un bloc répartiteur de puissance aussi appelé bloc de couplage qui fonctionne de manière efficace pour propulser le Businova. A l'inverse, dans les phases de ralentissement et de freinage, un système permet une récupération optimale de l'énergie cinétique. Ces innovations permettent d'accroître de façon significative l'efficacité énergétique du véhicule.

### **Châssis bi-modulaire**

Le châssis du Businova a été divisé en deux modules. Cette architecture double portique à plancher suspendu, permet de dédier le module arrière à la source d'énergie principale, la rendant évolutive dans la durée. Aujourd'hui, il s'agit de batteries Lithium-ion et d'un moteur thermique. Demain, le module pourra profiter des avancées technologiques à venir sans avoir à modifier le module avant.

### **Un système connecté**

Le bus est équipé de son propre système informatique communiquant SAEIV (Système d'Aide à l'Exploitation et à l'Information des Voyageurs). Le SAEIV est connecté à différents équipements dont un récepteur GPS (Global Positioning System). Le SAEIV permet d'informer les passagers sur l'heure d'arrivée aux prochains arrêts et de prévenir les usagers en attente aux abribus par le biais d'un affichage numérique ou d'applications sur smartphone.

## Travail demandé

### PARTIE 1 – Analyse des choix technologiques du Businova

Le véhicule comporte trois sous-ensembles de motorisation :

- un moteur électrique qui puise son énergie dans un pack de batteries par l'intermédiaire d'un convertisseur statique (variateur) ;
- un moteur-pompe hydraulique qui échange de façon réversible de l'énergie avec deux accumulateurs hydropneumatiques. En fonctionnement « moteur », le moteur-pompe hydraulique puise son énergie dans les accumulateurs. En fonctionnement « pompe », le moteur-pompe recharge les accumulateurs ;
- un moteur thermique qui puise de l'énergie fossile dans un réservoir de carburant.

En mode de fonctionnement normal, l'énergie nécessaire à l'avancement du bus peut transiter par l'une ou par plusieurs de ces motorisations.

Dans certains cas, ces motorisations peuvent échanger de l'énergie entre-elles.

#### JUSTIFICATION DU CHOIX DE L'AXE DE DEVELOPPEMENT DU BUSINOVA DANS LE CONTEXTE TECHNICO-ECONOMIQUE

*Les véhicules hybrides se développent à grande vitesse dans notre société. La concurrence entre les constructeurs est de plus en plus grande, et chacun doit avancer les avantages de son produit. Cette partie a pour objectif de justifier l'axe de développement du Businova dans le contexte technico-économique.*

Question 1.1 | Pour chaque type de bus, **compléter** les critères du tableau du document réponse (DR1).  
DT1, DT2  
DR1

*La gestion d'énergie du bus étant un paramètre important pour obtenir un marché, le constructeur a fait de ce point une priorité. Pour ce faire, une gestion d'énergie bien particulière a été choisie.*

Question 1.2 | **Identifier** les différentes énergies utilisées par un bus hybride conventionnel et la source d'énergie supplémentaire utilisée par le Businova.  
DT1, DT4, DT6

Question 1.3 | Au regard des impacts environnementaux et économiques, **justifier** les choix de développement du constructeur concernant ce bus novateur.  
DT1, DT2

#### VERIFICATION DES PERFORMANCES PAR RAPPORT AUX CHOIX DU CONSTRUCTEUR

*Trois énergies sont à la disposition du calculateur principal pour pouvoir gérer l'accélération, le maintien à une vitesse donnée et le freinage du bus en gardant pour objectif de minimiser la consommation d'énergie.*

- Question 1.4 | **Compléter** dans le document DR2, les éléments manquants et le type de puissance sur la chaîne d'énergie correspondant à la motorisation du bus servant à la phase d'accélération.  
DT3, DT4, DR2
- Question 1.5 | **Citer** l'actionneur sollicité au tout début d'une phase de démarrage.  
DT6
- Question 1.6 | Lors de la phase de freinage, **indiquer** quel composant permet de transformer et stocker l'énergie cinétique.  
DT3 (1/2) et (2/2)

*Un modèle du bus permettant une optimisation de l'autonomie a été paramétré sur un cycle urbain décrivant des variations de vitesses entre 0 et 50 km·h<sup>-1</sup>. Des résultats de simulation sont donnés sous forme de courbe sur le document DT7.  
Une simulation a été faite pour un parcours où la pente est nulle et une autre sur un parcours où la pente est de 10%.*

- Question 1.7 | En observant les courbes résultant du modèle et en se plaçant dans le cas d'une pente nulle, **relever** l'intervalle de temps pour lequel les deux énergies (électrique et hydraulique) de la motorisation sont utilisées simultanément par le bus.  
DT6, DT7
- Question 1.8 | Dans le cas d'une pente nulle et en observant les courbes, **compléter** le tableau du document réponse DR1 sur le niveau maximal des couples et des puissances développés par le moteur-pompe hydraulique et le moteur électrique lorsqu'ils fonctionnent en moteur.  
DT7  
DR1
- Question 1.9 | **Compléter** de la même façon le tableau du document réponse DR1 pour le cas d'une pente à 10%.  
DT7  
DR1
- Question 1.10 | Du point de vue des puissances, **vérifier** que les deux actionneurs (électrique et hydraulique) du Businova conviennent dans les deux cas de fonctionnement simulés.  
DT2, DT6, DT7

*Le cas d'une pente à 10% est maintenant envisagé.*

- Question 1.11 | **Relever** la vitesse maximale atteinte dans la pente. **Indiquer** quel moteur fonctionne lorsque cette vitesse est atteinte.  
DT7
- Question 1.12 | Le conducteur a soudain besoin d'accélérer au-delà de cette vitesse maximale. **Évaluer** alors la réserve de puissance disponible.  
DT2, DT6, DT7  
Si le conducteur souhaite accélérer encore au-delà de la vitesse maximale, **justifier** pourquoi le système actuel ne le permettra pas. **Indiquer** quelle(s) modification(s) il faut envisager dans la gestion de la motorisation pour qu'il puisse le faire.



Question 1.13 | **Compléter** le document réponse DR3 en indiquant les lettres de A à H correspondant aux états des embrayages de la boîte de couplage (il peut y avoir plusieurs lettres dans une même case).  
DT5, DT6, DT7  
DR3

Question 1.14 | **Indiquer** parmi les états des embrayages de A à H, les états permettant de résoudre le problème soulevé à la question 1.12.  
DT5

## DIMENSIONNEMENT DES STOCKAGES ENERGETIQUES

*Une des innovations majeures du Businova est d'utiliser l'énergie hydraulique pour récupérer lors d'une décélération importante l'énergie normalement dissipée par des freins classiques. Il s'agit de déterminer l'énergie cinétique récupérable lorsque le bus passe de 50 km·h<sup>-1</sup> à l'arrêt et la capacité de stockage hydraulique.*

Question 1.15 | **Calculer** l'énergie maximale récupérable lors d'un arrêt avec une vitesse initiale de 50 km·h<sup>-1</sup>. **Donner** le résultat en J puis en W·h.  
DT2  
On donne  $E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$  et 1 W·h = 3600 J

Question 1.16 | L'accumulateur hydraulique est utilisé entre 165 bar (Pression minimale) et 350 bar (Pression nominale).  
**Déterminer** le volume nécessaire de stockage si l'énergie cinétique récupérée lors du freinage est transférée avec un rendement de 80%.  
On donne l'expression de l'énergie stockée dans l'accumulateur :  
 $E = \left(\frac{5}{2}\right) \times (P_{nominale} - P_{mini}) \times V$  avec E en J,  $P_{nominale}$  et  $P_{mini}$  en Pa, V en m<sup>3</sup> et 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa

Question 1.17 | Sachant que la structure du bus prévoit de répartir le volume sur 2 cuves identiques, **choisir** une référence d'accumulateur hydraulique pour les cuves et  $P_{maxi} = 350$  bar.  
DT8

*La batterie lithium-ion est un composant important du bus, celle-ci doit être dimensionnée correctement pour répondre aux spécificités attendues. Lorsque l'on fabrique une batterie, il est nécessaire d'assembler un certain nombre d'éléments (pour augmenter la tension et l'énergie totale).*

*La consommation électrique moyenne du bus (en tenant compte des autres sources d'énergie) est de 400 W·h par km. Le parcours quotidien du bus est de 200 km.*

*La tension nominale du pack de batteries doit être de 165 V pour permettre un fonctionnement optimal du moteur électrique associé au convertisseur. Le pack de batteries est constitué de 1500 cellules AMP20, pour une capacité de 588 A·h.*

Question 1.18 | **Calculer** l'énergie en W·h que doit fournir le pack de batteries du bus au cours d'une journée. **Vérifier** que la capacité de la batterie est suffisante pour garantir l'autonomie nécessaire.

On donne  $W = C \times U$  avec  $W$  en W·h,  $C$  en A·h et  $U$  en V.

*Le moteur électrique du bus peut être utilisé à 120% de sa puissance nominale (pendant une durée limitée).*

Question 1.19 | **Déterminer** la puissance demandée à la batterie quand le moteur est à 120% de sa puissance nominale sachant que le rendement de cette partie de la chaîne d'énergie est de 0,9.  
DT2

*Dans un premier temps, la solution retenue consiste à créer des branches de  $n$  éléments en série et à placer  $m$  branches en parallèle pour réaliser le pack de batteries.*

Question 1.20 | **Calculer** les valeurs de  $m$  et  $n$  puis **représenter** sommairement le schéma d'association des 1500 cellules constituant le pack de batteries  
DT9 | **Indiquer** sur le schéma le nombre de branches  $m$  à placer en parallèle ainsi que le nombre de cellules  $n$  par branche.

*Dans un second temps, pour des raisons de fiabilité, le fabricant préfère associer ces  $m$  éléments d'abord en parallèle pour former une ligne délivrant une tension égale à celle d'une cellule élémentaire. Le pack de batteries est ensuite réalisé par l'association de  $n$  lignes en série.*

Question 1.21 | **Représenter** sommairement le schéma d'association des 1500 cellules constituant le pack de batteries selon les prérogatives du fabricant.  
DT9

*Chaque cellule comporte son propre fusible. En cas de défaillance de la cellule, le fusible intervient pour isoler la cellule défectueuse du reste du montage.*

Question 1.22 | Dans le cas où une cellule est défaillante, **déterminer** la perte de capacité de la batterie en % pour les schémas obtenus aux questions 1.20 et 1.21. **Indiquer** l'intérêt de la solution du fabricant par rapport à la solution proposée à la question 1.20.

*Le fabricant annonce une durée de vie des batteries de 10 ans. Le bus est utilisé 6 jours sur 7 toute l'année (52 semaines) à raison d'un cycle batterie par jour.*

Question 1.23 | Après dix années d'utilisation, **déterminer** la capacité du pack de batteries. **Vérifier** que l'autonomie du bus est garantie au bout de dix ans. **Conclure** quant au choix et au dimensionnement du pack de batteries.  
DT2, DT9

## PARTIE 2 – Analyse du Système d’Aide à l’Exploitation et à l’Information des Voyageurs (SAEIV)

### COMMENT LOCALISER LE BUS A SON ARRIVEE DANS LA GARE ROUTIERE ?

Question 2.1 | Du point de vue de l’urbanisme, **indiquer** le principal intérêt d’une gare routière dynamique.  
DT10

*On suppose qu’un bus vient de se positionner au niveau du quai n°7, lors de l’ouverture des portes voyageurs, il transmet alors sur le réseau d’exploitation le datagramme suivant :*

*‘RTB UTM 31T 375100.45E 4830087.25N’*

**Remarque :** *RTB est un en-tête de message indiquant que le bus est prêt à recevoir des voyageurs (Ready To Board).*

Question 2.2 | **Placer** sur le plan de masse du document réponse DR4 une croix indiquant la position déterminée par le GPS du bus et transmise sur le réseau.  
DT11  
DR4

Question 2.3 | Le point situé sur la silhouette du bus représente l’antenne de son récepteur GPS. **Indiquer** pourquoi la position GPS envoyée par le bus est différente de sa position réelle. **Conclure** sur la fiabilité du SAEIV vis-à-vis de l’information donnée aux voyageurs.  
DT13  
DR4

*Pour supprimer l’inconvénient précédent, la précision du positionnement doit être améliorée. Le document DT13 propose un système de localisation appelé DGPS.*

Question 2.4 | **Indiquer** si ce système est potentiellement capable de résoudre le problème mis en évidence préalablement. Pourquoi ?  
DT13

*Une station fixe dont les coordonnées ont été déterminées par des géomètres est décrite sur le document DT12. Les informations d’erreur de position d’un récepteur GPS fixe placée au sommet du château d’eau sont transmises sur le réseau d’exploitation en permanence.*

Question 2.5 | **Calculer** la distance séparant la station fixe et le bus (attention aux unités). Quelle est la précision attendue en centimètres pour le positionnement par le DGPS ? Le problème de la précision du positionnement est-il maintenant résolu ?  
DT11, DT12, DT13

*On se propose de modifier l'algorithme du SAEIV du bus afin de tenir compte des informations fournies par la station fixe pour corriger les informations de position à envoyer sur le réseau.*

Question 2.6

DT14, DT15

A partir de l'extrait du diagramme SysML de séquences, **rédig**er l'algorithme en pseudo-code permettant de transmettre la position corrigée du bus lors de l'ouverture de la porte « voyageurs » en utilisant les variables et procédures prédéfinies.

## PARTIE 3 – Analyse des structures du bus et de l’abri bus de la gare routière.

### DETERMINATION DU MATERIAU DE LA STRUCTURE DU BUS

*L’objectif de cette partie est de choisir le matériau de la structure du Businova.*

*Le premier matériau sélectionné lors de l’étape d’avant-projet pour cette structure est de l’acier inoxydable 304L ayant pour limite élastique 1280 MPa et pour masse volumique 7850 kg·m<sup>-3</sup>.*

*La masse totale de la structure est alors de 2772 kg.*

*Aujourd’hui ce premier choix est remis en question notamment d’un point de vue environnemental.*

*En effet, L’entreprise qui développe le Businova voudrait limiter les impacts environnementaux du bus en tenant compte de tout son cycle de vie.*

*Les critères de sélection sont les suivants :*

- *masse volumique inférieure au matériau d’origine ;*
- *limite élastique minimale de 300 MPa ;*
- *pas de surcoût de matériau avec ce changement ;*
- *une résistance à l’eau salée qualifiée d’ « acceptable » au minimum.*

Question 3.1

DT18, DT19

DR1

**Identifier** le matériau pouvant répondre à l’ensemble des critères en complétant le tableau sur le document DR1.

*Un bureau d’étude propose d’utiliser un alliage d’aluminium. La densité de ce nouveau matériau est de 2900 kg·m<sup>-3</sup>.*

*A partir du logiciel bilan produit, il a été réalisé une comparaison des impacts environnementaux entre les deux types de châssis (seule la phase de production a été prise en compte).*

Question 3.2

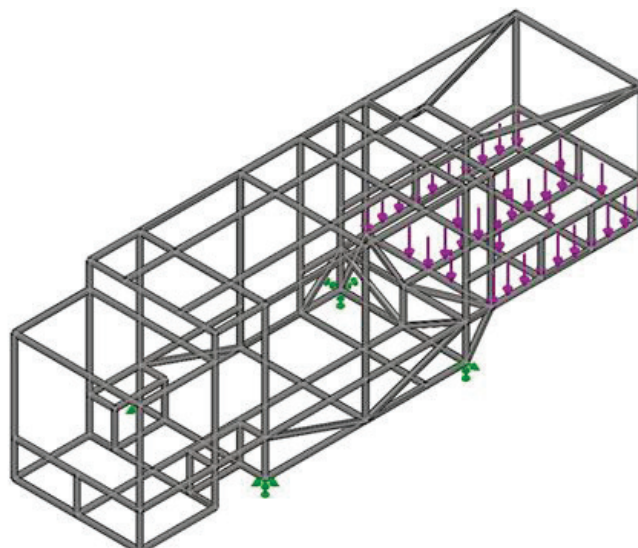
DT19

**Citer** l’indicateur de l’impact le plus diminué par ce changement de matériau pour la phase de production.

Dans un premier temps, le bureau d'étude propose d'utiliser l'alliage d'aluminium tout en conservant la structure initiale du bus (même volume d'aluminium que d'inox).

Un modèle volumique du châssis a été réalisé. Une simulation a été conduite en immobilisant la structure et en lui appliquant un chargement situé sur le plancher arrière du bus (voir figure ci-contre).

Les résultats de la simulation (châssis inox et châssis aluminium) sont donnés documents DT16 et DT17.



Question 3.3  
DT16, DT17  
DR5

**Remplir** le tableau du document réponse DR5.  
**Calculer** le rapport des déplacements maxi des deux matériaux et **en déduire** le taux d'augmentation du déplacement maxi de la structure en aluminium par rapport à une structure en inox.

Question 3.4

L'augmentation éventuelle tolérée du déplacement maxi par rapport à une structure en inox étant de 20%, **conclure** sur l'intérêt d'utiliser l'aluminium.  
**Proposer** des solutions envisageables pour limiter le déplacement maxi tout en conservant l'aluminium comme matériau de construction.

Question 3.5

**Conclure** sur l'évolution des impacts environnementaux lors de la phase d'exploitation du bus.

## DIMENSIONNEMENT DE L'ABRI BUS DE LA GARE ROUTIERE

L'objectif de cette partie est de valider le dimensionnement des fondations de l'abri d'un double arrêt de bus situé sur la métropole Toulousaine ayant investi dans le Businova.



Vous trouverez les documents techniques concernant cet abri en DT20.

Ce dimensionnement se fera par une descente de charges sur l'intégralité de l'abri.

Question 3.6  
DT20  
DR6

Sur le document réponse DR6, **calculer** la surface de couverture de l'abri bus et en **déduire** la masse de l'ensemble de la couverture.

On donne  $L = R \cdot \theta$  avec  $L$  la longueur de l'arc en m,  $R$  le rayon de courbure en m et  $\theta$  l'angle en rad.

Question 3.7 | **Déterminer** le volume des 8 fondations et **en déduire** la masse de ces dernières.  
DT20  
DR6

Question 3.8 | **Calculer** la masse totale de l'abri avec ses fondations et **en déduire** le poids propre total.  
DT20  
DR6

Question 3.9 | Sachant que le poids total supporté par le sol (abri plus intempéries et charges d'exploitation) est de 229 382 N, **vérifier** que la contrainte admissible par le sol n'est pas dépassée et que le rapport de sécurité de 3 est bien respecté. **Conclure**.

$$Rapport_{sécurité} = \frac{Contrainte\ admissible}{Contrainte\ réelle}$$

## DT1 : Caractéristiques des autobus électriques et hybrides

### L'autobus électrique

En Europe, plus d'une centaine de villes exploitent des lignes de bus électriques, dont 23 en France.

Ces véhicules ont comme caractéristiques communes:

- architecture classique de l'autobus OU aucune distinction forte d'image,
- structure lourde nécessaire pour porter les batteries,
- faible autonomie,
- faible capacité voyageurs,
- prix moyen de l'ordre de 220 000 €.

Caractéristiques techniques :

- fonctionnement sur batterie lithium-ion,
- autonomie moyenne estimée à 120 km,
- vitesse 70 km·h<sup>-1</sup>,
- Capacité moyenne de 40 places.

### L'autobus hybride (moteur diesel et assistance électrique)

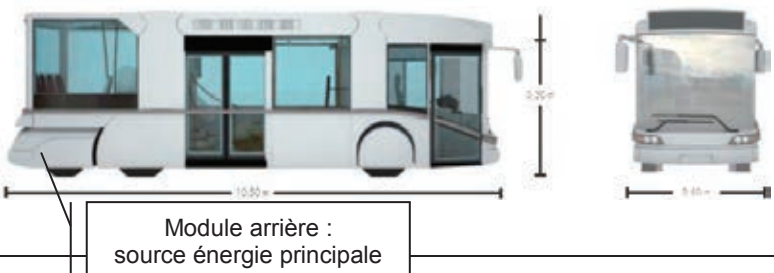
Tous les véhicules hybrides proposent un moteur diesel assisté au démarrage par un moteur électrique,

- les caractéristiques dimensionnelles sont semblables au bus diesel, avec une longueur de 12 m,
- capacité moyenne de 105 places,
- le retour d'expérience de plusieurs réseaux conclut à une économie quant à la consommation de carburant de l'ordre de 15%, (bus hybrides :  $\approx 38$  l pour 100 km ; bus classique :  $\approx 45$  l pour 100 km),
- l'autonomie est dépendante de la capacité du réservoir (supérieure à l'utilisation quotidienne), mais est estimée à 500 km,
- prix moyen de vente de l'ordre de 400 000 €.



## DT2 : Caractéristiques de l'autobus Businova

| Caractéristiques techniques du véhicule Businova |              |
|--|--------------|
| Longueur hors tout                               | 10,500 m     |
| Largueur hors tout                               | 2,500 m      |
| Hauteur hors tout                                | 3,500 m      |
| Hauteur du plancher                              | 0.325 m      |
| Masse totale roulante                            | 16 tonnes    |
| Rayon de braquage                                | 9,5 m        |
| Nbre de places assises                           | 16 places    |
| Nbre de passagers                                | 91 personnes |

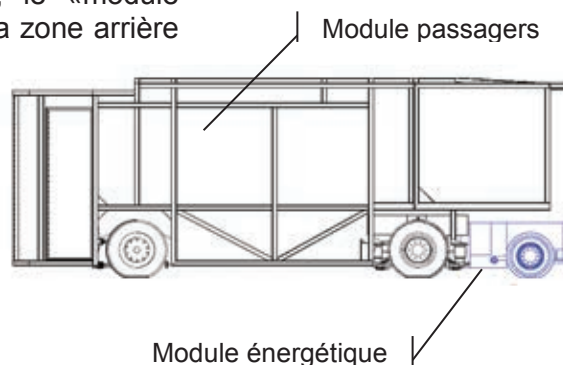


| Caractéristiques techniques de la motorisation |                               |                                  |                        |                                     |        |
|--|-------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------|
| La motorisation                                | $P_{nominale}$                | Le pack batterie                 |                        | La transmission                     |        |
| Moteur électrique                              | 180 kW                        | Type                             | Lithium-ion<br>165 V   | Un bloc de répartition de puissance |        |
| Moteur hydraulique                             | 200 kW                        | Temps de charge                  | 9 h à 63 A             | Une boîte de vitesse deux rapports  |        |
| Moteur thermique                               | 74 kW                         | Durée de vie                     | 10 ans                 | Un pont et un essieu avant éprouvé  |        |
| Consommation énergétique                       |                               |                                  |                        |                                     |        |
| consommation électrique moyenne :              | $400 W \cdot h \cdot km^{-1}$ | Consommation maxi de carburant : | 15 l/100 km            | autonomie                           | 200 km |
| Rejet des émissions polluantes                 |                               |                                  |                        |                                     |        |
| Nox  | CO <sub>2</sub>               | HCNM                             | Particules             |                                     |        |
| $6 g \cdot km^{-1}$                            | $350 g \cdot km^{-1}$         | $0,7 g \cdot km^{-1}$            | $0,01 g \cdot km^{-1}$ |                                     |        |

L'architecture double portique à plancher suspendu, permet de dédier le module arrière à la source d'énergie principale, la rendant évolutive dans la durée. Le moteur thermique est beaucoup plus petit que sur les autres autobus, même hybrides et ne fonctionne que ponctuellement.

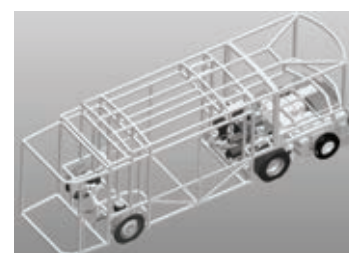
Principe :

- le véhicule est composé de deux éléments, le «module passagers» et un «module énergétique» sous la zone arrière de la caisse,
- la zone avant du châssis caisse permet une accessibilité parfaite, la partie arrière est surélevée offrant un espace panoramique,
- la source d'énergie du véhicule est délocalisée dans la partie articulée située sous le véhicule derrière l'essieu arrière,
- le véhicule comprend un essieu arrière moteur alimenté par la source d'énergie.

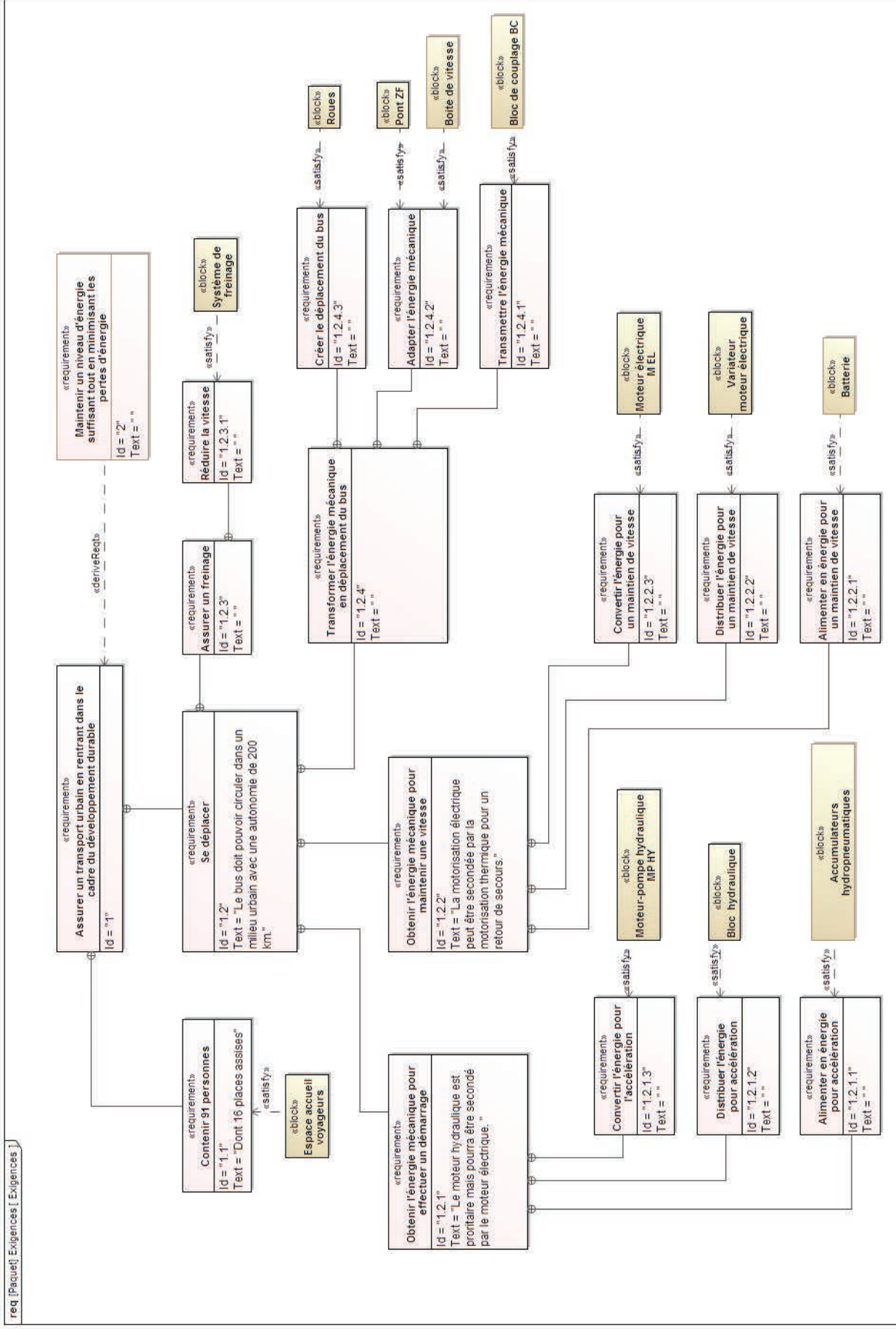


Avantages :

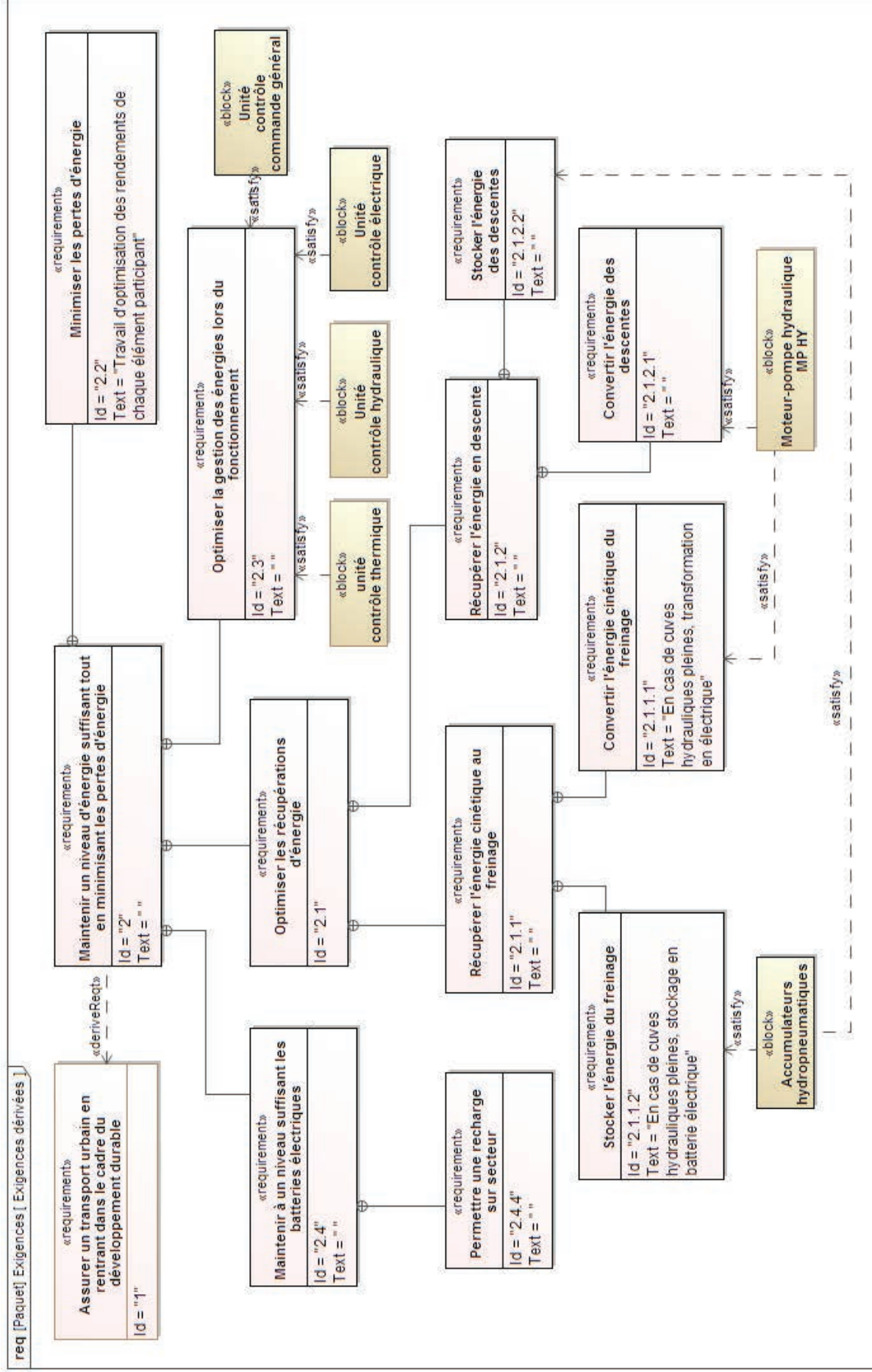
- réduction du poids à vide (env. 20%),
- occupation de toute la surface du véhicule,
- consommation, bruit et émissions de CO<sub>2</sub> d'un moteur 1,6 l HDI,
- délocalisation de la source d'énergie, évolutivité,
- transfert de masse par l'articulation sur l'essieu moteur favorisant la récupération d'énergie au freinage,
- fonctionnement orienté sur la préservation de la batterie.



### DT3 : Diagrammes des Exigences du Businova (1/2)



### DT3 : Diagrammes des Exigences du Businova (2/2)





## DT4 : Description de la motorisation du Businova

Diagramme de définition de blocs du Businova

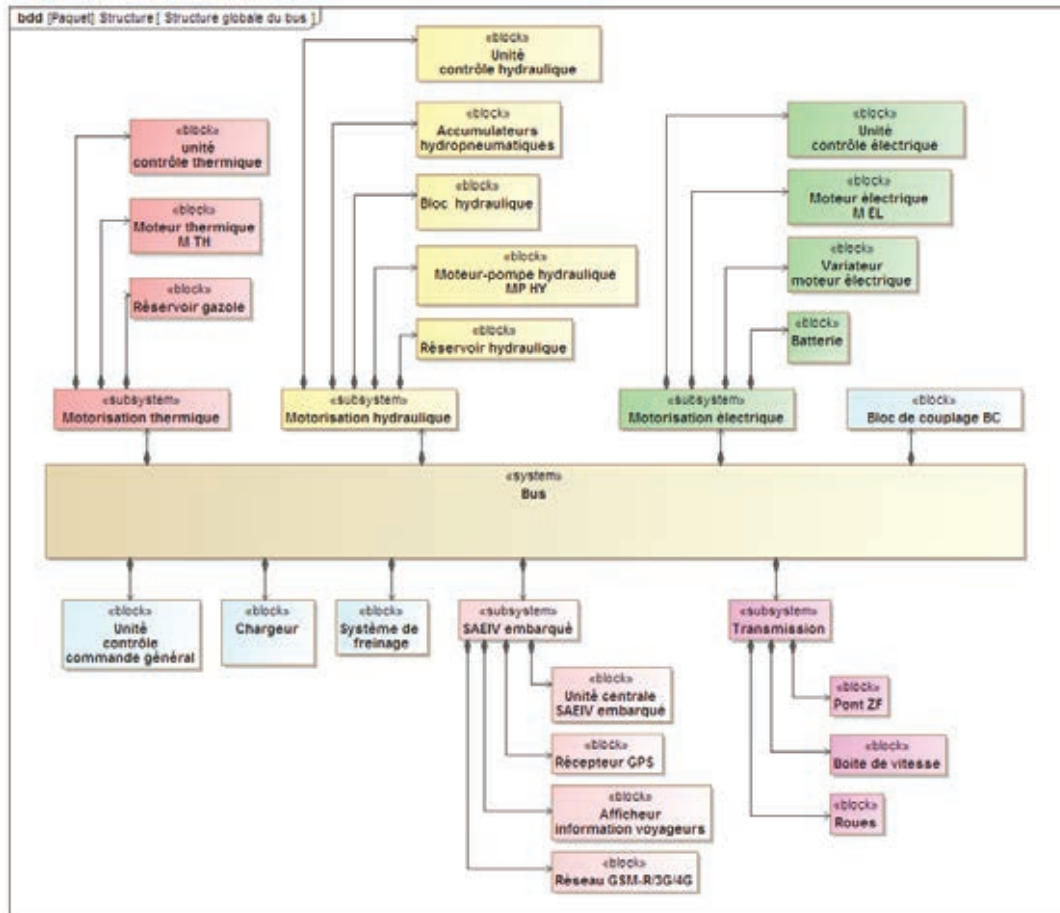
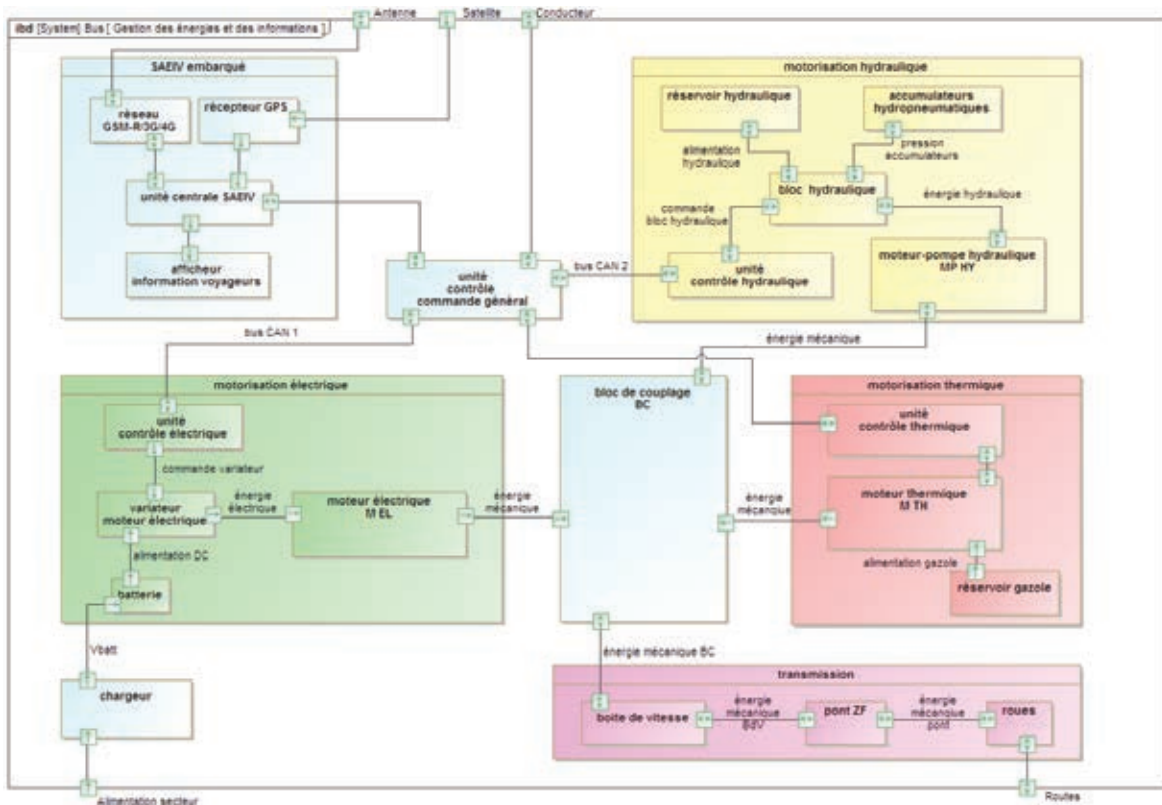
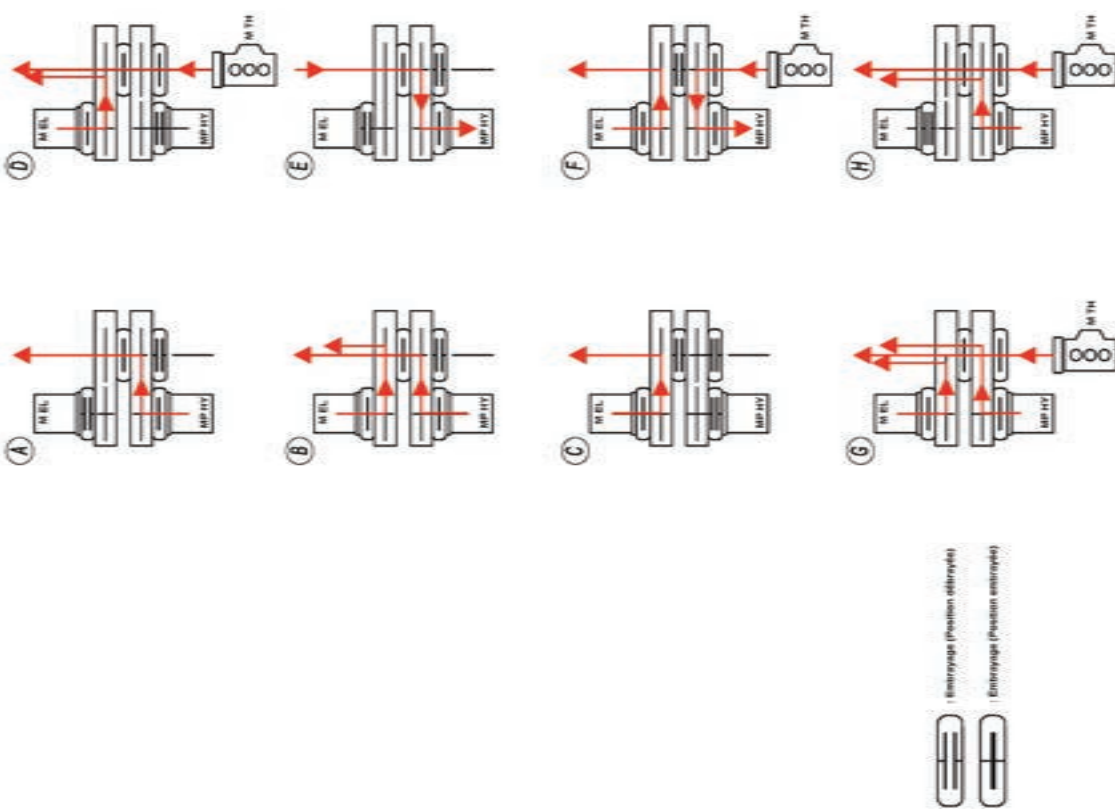
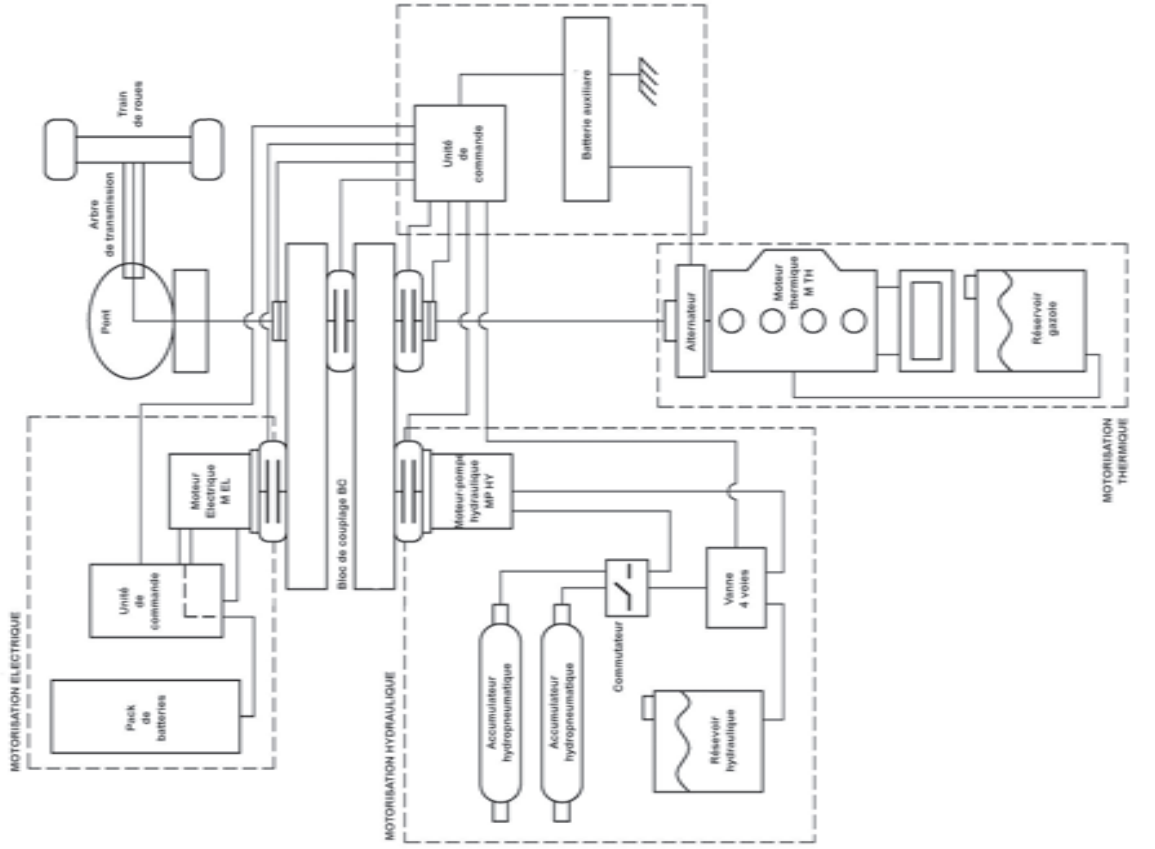


Diagramme de blocs internes du Businova



**DT5 : Schéma de principe de gestion des différentes énergies**



## **DT6 : Description des phases d'exploitation des différentes énergies électrique, hydraulique et thermique.**

La boîte de couplage (BC) permet d'associer le moteur-pompe hydraulique (MP HY), le moteur électrique (M EL) et le moteur thermique (M TH).

### **Fonctionnement de l'apport hydraulique**

Les différents modes de fonctionnement de la partie hydraulique sont décrits ci-après.

#### **1. Démarrage (de 0 à 25 km·h<sup>-1</sup>)**

Le moteur-pompe hydraulique (MP HY) alimenté par les accumulateurs fournit le couple de démarrage au véhicule.

#### **2. Freinage**

Le couple de freinage est créé par le moteur-pompe hydraulique (MP HY) qui fonctionne alors en pompe. L'énergie est récupérée pour recharger les accumulateurs hydropneumatiques pour le prochain démarrage.

#### **3. Régime rapide (de 50 km·h<sup>-1</sup> à 70 km·h<sup>-1</sup>)**

Le moteur-pompe hydraulique (MP HY) contribue à l'avancement du bus.

### **Fonctionnement de l'apport électrique**

Les différents modes de fonctionnement de la partie électrique sont décrits ci-après.

#### **1. Démarrage (de 15 à 25 km·h<sup>-1</sup>)**

Le moteur électrique (M EL) alimenté par la batterie fournit en complément du moteur-pompe hydraulique (MP HY) le couple nécessaire à l'avancement du bus.

#### **2. Régime de croisière (entre 25 km·h<sup>-1</sup> et 50 km·h<sup>-1</sup>)**

Le moteur électrique (M EL) fournit seul le couple nécessaire à l'avancement du bus.

#### **3. Régime rapide (de 50 km·h<sup>-1</sup> à 70 km·h<sup>-1</sup>)**

Le moteur électrique (M EL) contribue à l'avancement du bus.

### **Fonctionnement de l'apport thermique**

Les différents modes de fonctionnement de la partie thermique sont décrits ci-après.

#### **1. Recharge hydraulique**

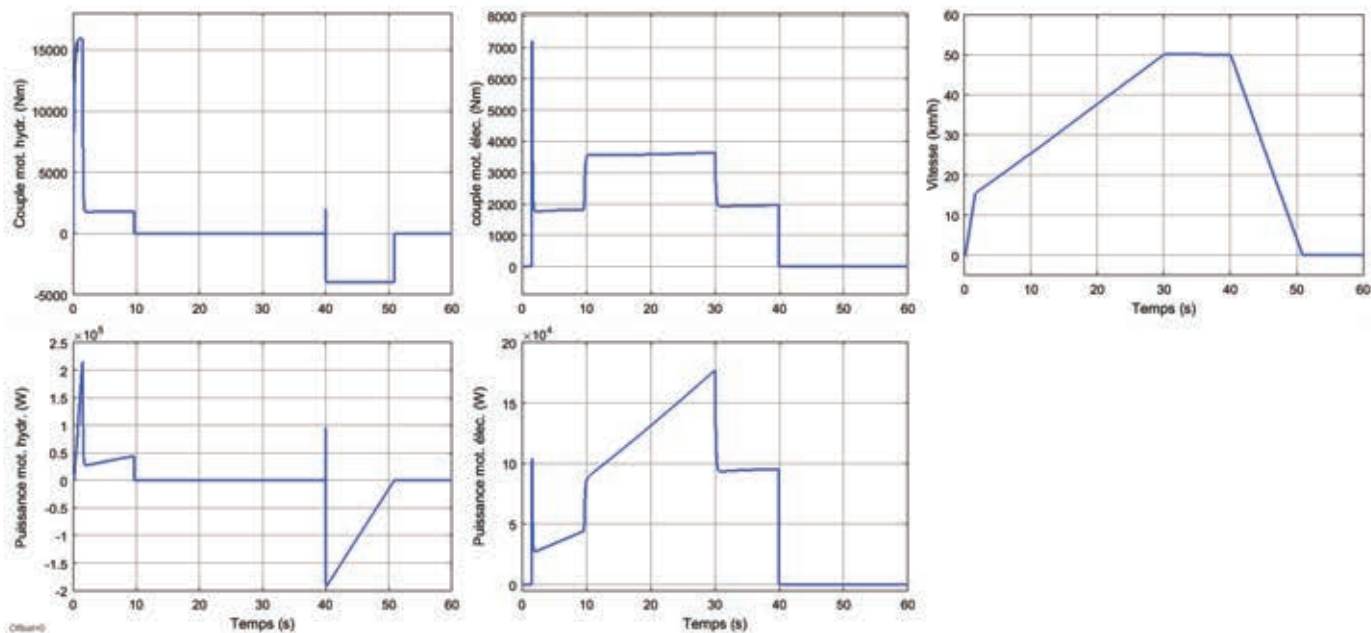
Le moteur thermique (M TH) permet la recharge des accumulateurs hydropneumatiques lorsque leur état de charge, suite à un déficit de récupération, est trop bas pour assurer un nouveau démarrage.

Cette recharge est réalisée grâce à l'entraînement du moteur-pompe (MP HY) via le bloc hydraulique et le bloc de couplage (BC). Elle peut avoir lieu à l'arrêt ou quand le bus roule en régime de croisière.

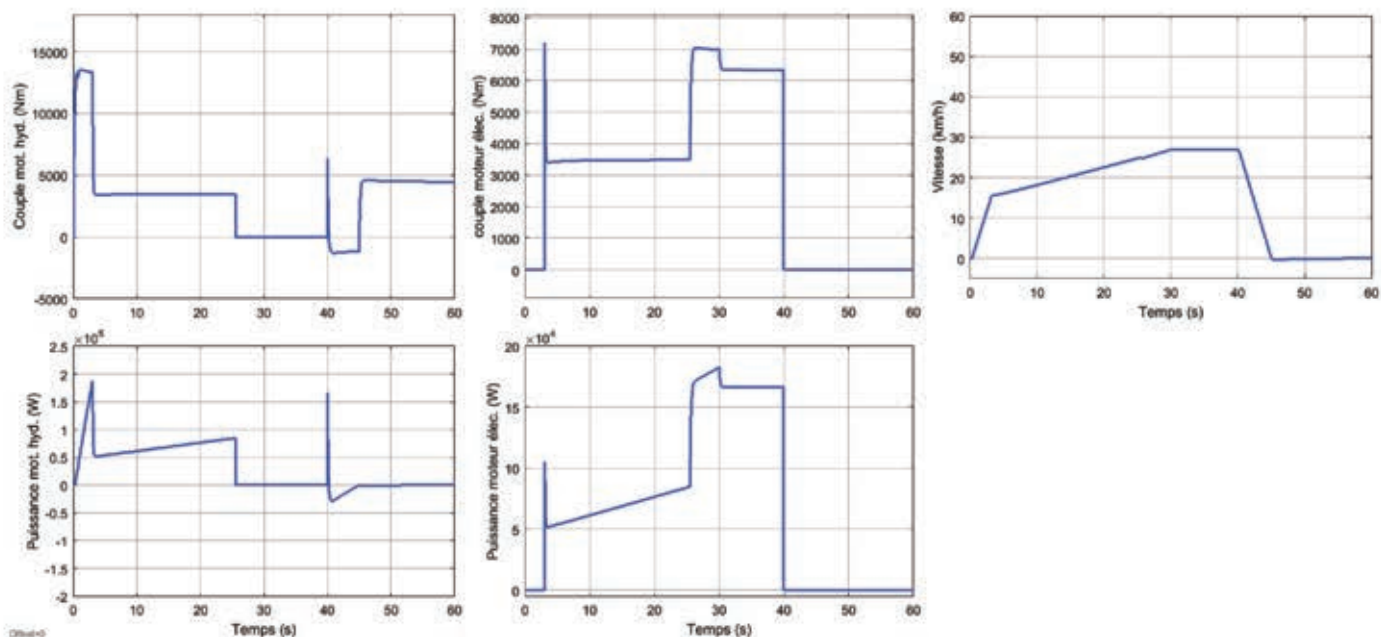
#### **2. Régime rapide (de 50 km·h<sup>-1</sup> à 70 km·h<sup>-1</sup>)**

Le moteur thermique (M TH) contribue à l'avancement du bus.

Simulation sur terrain plat



Simulation sur terrain avec une pente de 10%





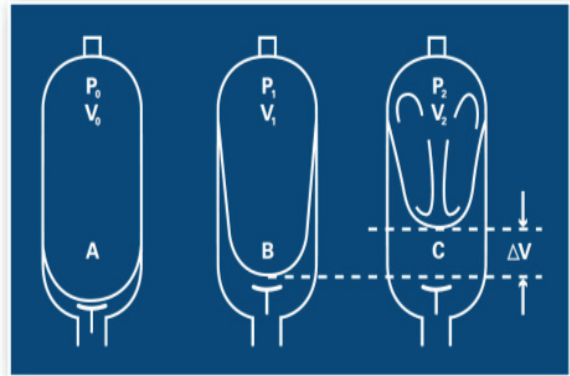
## DT8 : Accumulateurs vessies

Catalogue HY10-4001/FR

### Accumulateurs à vessie

#### Généralités et avantages EHV

Le fonctionnement de l'accumulateur hydropneumatique à vessie OLAER est basé sur la différence importante de compressibilité entre un gaz et un liquide permettant de stocker une quantité importante d'énergie, sous une forme extrêmement compacte. Ce liquide sous pression peut être accumulé, stocké et récupéré à tout moment. Grâce à son profil, la vessie, pièce stratégique, se déforme en 3 lobes permettant ainsi à l'accumulateur d'emmagasiner, de restituer le liquide sous pression nécessaire.



$V_0$  = Capacité en azote de l'accumulateur  
 $V_1$  = Volume de gaz à la pression hydraulique minimale  
 $V_2$  = Volume de gaz à la pression hydraulique maximale  
 $\Delta V$  = Volume restitué et/ou emmagasiné entre  $P_1$  et  $P_2$   
 $P_0$  = Précharge initiale de l'accumulateur  
 $P_1$  = Pression de gaz à la pression hydraulique minimale  
 $P_2$  = Pression de gaz à la pression hydraulique maximale

**A** : La vessie est dans la position de gonflage ce qui signifie qu'elle n'est remplie que d'azote. Le système anti-extrusion ferme l'orifice hydraulique et empêche la destruction de la vessie. Pression maxi différentielle ( $P_2/P_0$ ) : 4:1

**B** : Position à la pression minimum de service : entre la vessie et l'orifice hydraulique, il doit y avoir une certaine quantité de fluide de sorte que la vessie ne repose plus sur la soupape ainsi  $P_0$  doit être toujours  $< P_1$ .

**C** : Position à la pression maximale de service : la variation de volume  $\Delta V$  entre les positions minimales et maximales des pressions de travail représente la quantité du fluide stocké.

Catalogue HY10-4001/FR

### Caractéristiques techniques

Accumulateurs à vessie

### EHV

## Série EHV de 10 à 50 Litres

### Série 330 bar

| Désignation       | Volume utile $V_0$<br>en litres | Pression maxi<br>en bar | Débit maxi<br>en L/min | Masse<br>en kg | Colliers x<br>(quantité) | Joint +<br>Joint torique | Chaise équipée | Ensemble de<br>fixation | Dimensions en mm     |     |    |                 |          |          |                   |                             |
|-------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------|----------------------|-----|----|-----------------|----------|----------|-------------------|-----------------------------|
|                   |                                 |                         |                        |                |                          |                          |                |                         | A<br>hauteur<br>maxi | B   | C  | $\phi D$<br>max | $\phi d$ | $\phi E$ | F<br>sur<br>plats | G<br>sortie<br>accumulateur |
| EHV 10 - 330/90   | 9.2                             | 330                     | 900                    | 31             | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF2                     | 587                  | 103 | 66 | 226             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 12 - 330/90   | 11                              | 330                     | 900                    | 36             | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF2                     | 687                  | 103 | 66 | 226             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 20 - 330/90   | 17.8                            | 330                     | 900                    | 49             | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF2                     | 897                  | 103 | 66 | 226             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 24.5 - 330/90 | 22.5                            | 330                     | 900                    | 56             | D 226x2                  | consult<br>page<br>10    | CE 159A        | EF2                     | 1032                 | 103 | 66 | 226             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 32 - 330/90   | 32                              | 330                     | 900                    | 81             | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF3                     | 1420                 | 103 | 66 | 226             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 42 - 330/90   | 42                              | 330                     | 900                    | 87             | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF3                     | 1562                 | 103 | 66 | 226             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 50 - 330/90   | 48.5                            | 330                     | 900                    | 110            | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF3                     | 1936                 | 103 | 66 | 226             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 57 - 330/90   | 53                              | 330                     | 900                    | 116            | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF3                     | 2032                 | 103 | 66 | 226             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |

### Série 480 bar

| Désignation     | Volume utile $V_0$<br>en litres | Pression maxi<br>en bar | Débit maxi<br>en L/min | Masse<br>en kg | Colliers x<br>(quantité) | Joint +<br>Joint torique | Chaise équipée | Ensemble de<br>fixation | Dimensions en mm     |     |    |                 |          |          |                   |                             |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|----------------|-------------------------|----------------------|-----|----|-----------------|----------|----------|-------------------|-----------------------------|
|                 |                                 |                         |                        |                |                          |                          |                |                         | A<br>hauteur<br>maxi | B   | C  | $\phi D$<br>max | $\phi d$ | $\phi E$ | F<br>sur<br>plats | G<br>sortie<br>accumulateur |
| EHV 10 - 480/90 | 9.2                             | 480                     | 900                    | 33             | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF2                     | 593                  | 103 | 74 | 228             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 12 - 480/90 | 11                              | 480                     | 900                    | 43             | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF2                     | 693                  | 103 | 74 | 228             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 20 - 480/90 | 17.8                            | 480                     | 900                    | 63             | D 226x2                  | consult<br>page<br>10    | CE 159A        | EF2                     | 903                  | 103 | 74 | 228             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 32 - 480/90 | 32                              | 480                     | 900                    | 97             | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF3                     | 1428                 | 103 | 74 | 228             | 22.5     | 101      | 70                | G 2"                        |
| EHV 50 - 480/90 | 48.5                            | 480                     | 900                    | 132            | D 226x2                  |                          | CE 159A        | EF3                     | 1967                 | 103 | 99 | 228             | 51       | 101      | 70                | G 2"                        |

Concours général 2017

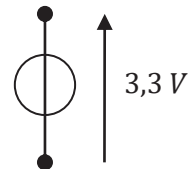


## + Nanophosphate<sup>®</sup> Lithium Ion Prismatic Pouch Cell AMP20*m1*HD-A

### AMP20: Specifications d'une cellule

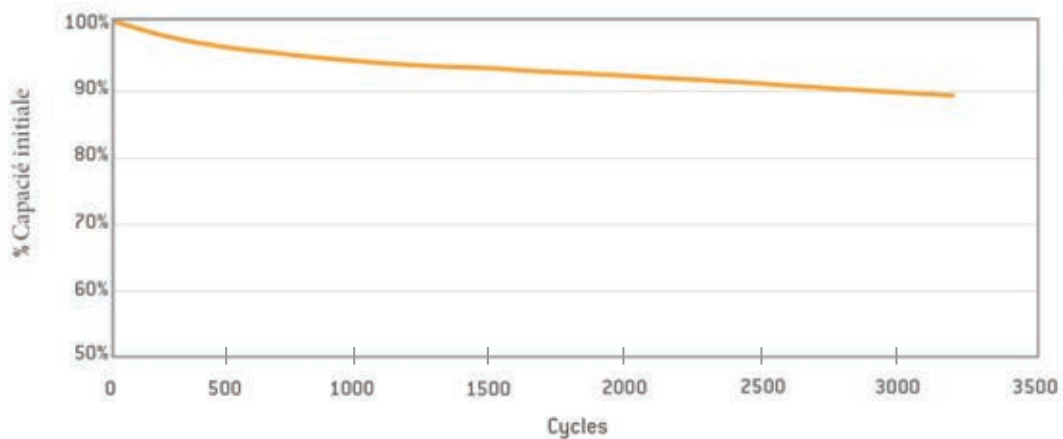
|                                       |                  |
|---------------------------------------|------------------|
| Dimensions (mm)                       | 7.25 x 160 x 227 |
| masse [g]                             | 496              |
| Capacité (minimum, Ah)                | 19.6             |
| Energie (nominale, Wh)                | 65               |
| Puissance décharge (nominale, W)      | 1200             |
| Tension (nominale, V)                 | 3.3              |
| Puissance spécifique (nominale, W/kg) | 2400             |
| Energie spécifique (nominale, Wh/kg)  | 131              |
| Densité énergétique (nominale, Wh/L)  | 247              |
| Temperature de fonctionnement         | -30°C to 55°C    |
| Temperature de stockage               | -40°C to 60°C    |

Modèle électrique d'une cellule



### Durée de vie

Evolution de la capacité résiduelle (CAP res.) au fil des cycles  
100% profondeur de décharge [DOD], +1C/-2C, 23°C



## DT10 : Principe d'une gare routière dynamique

*Par opposition à une gare routière statique, la gare routière dynamique « type » repose sur deux principes d'organisation : la différenciation de la zone de stockage des bus pour leur régulation de celle de la dépose et de la prise en charge des voyageurs et l'affectation dynamique des quais couplée à une importante information voyageurs. Une telle gare est dans sa forme idéale une infrastructure compacte et facile d'usage. Le trafic dense de la gare routière qui accueille ici 1 million de voyageurs par an fait qu'en journée un bus arrive ou quitte cette gare routière toutes les 2 min 30.*

*La gare comporte un parking au premier étage en terrasse du bâtiment principal destiné aux bus en attente de service ou en charge ou changement de caisson de batterie et qui n'est pas accessible au public.*

*Le rez-de-chaussée constitue un hall d'accueil où se trouvent la billetterie, des panneaux d'informations concernant les arrivées et les départs et un accès aux quais extérieurs avec des emplacements numérotés de 1 à 26.*

*Le nombre de quais, le rythme de départ et d'arrivée et le nombre de lignes de bus qui se rejoignent à cet endroit font que même lorsque pour une ligne les horaires de départ sont identiques l'attribution des quais n'est pas constante et peut varier d'un départ à l'autre. Cette complexité amène le voyageur à aller chercher son numéro de quai au point « information » dans le hall d'accueil à chacun des départs.*

*Chaque bus dispose d'un système informatique embarqué SAEIV (Système d'Aide à l'Exploitation et à l'Information des Voyageurs) capable de transmettre sa position par radio (Réseau 3RP : principalement pour les Bus SNCF ou réseau Data GPRS ou 3G). Le SAEIV est couplé à un récepteur GPS (Global Positioning System).*

*Scénario :*

*Le bus se présente au niveau des quais 5 à 15 min avant le départ prévu et utilise le premier emplacement disponible. Le conducteur a alors, pour consigne, d'ouvrir les portes d'accès. Ceci provoque l'envoi de la position du bus sur le réseau informatique. Le système informatique de supervision de la gare routière en déduit le numéro du quai où se situe le bus et affiche le numéro du quai dans le hall d'accueil. Le conducteur du bus n'a donc aucune opération particulière à réaliser pour que les voyageurs sachent où le trouver.*

## **DT11 : système de coordonnées et de projection U.T.M.**

Le système de coordonnées et de projection U.T.M. permet de représenter les coordonnées géographiques d'un point du globe terrestre au moyen d'un quadrillage basé sur la projection dite de Mercator.

Il est principalement choisi en raison de sa simplicité d'utilisation et des possibilités qu'il offre, notamment en matière de calculs assistés par ordinateur. Il est disponible sur la plupart des récepteurs G.P.S. (Global Positioning System).

Le système U.T.M. est fondé sur une division de la surface terrestre en rectangles basés sur les méridiens et les parallèles.

La surface de la planète est divisée en fuseaux ayant une amplitude de  $6^\circ$  en longitude, numérotés d'ouest en est de 1 à 60 ( $360 = 60 \times 6$ ) en partant du méridien  $180^\circ$ . Ainsi, la France, par exemple, est traversée par trois fuseaux :

- Le fuseau n° 30 (longitude allant de  $6^\circ$  ouest à  $0^\circ$ ) ;
- Le fuseau n° 31 (longitude allant de  $0^\circ$  à  $6^\circ$  est) ;
- Le fuseau n° 32 (longitude allant de  $6^\circ$  est à  $12^\circ$  est).

Horizontalement, le globe est divisé en bandes d'une amplitude de  $8^\circ$  en latitude, identifiées par une lettre allant de C à X (à l'exception des lettres I et O qui pourraient être confondues avec les chiffres 1 et 0).

Ainsi, la France est traversée par les bandes :

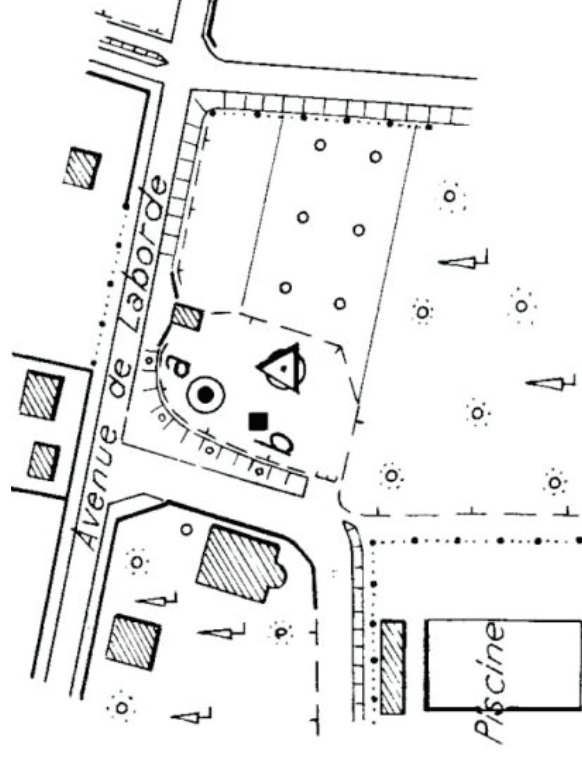
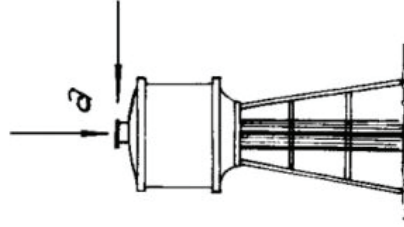
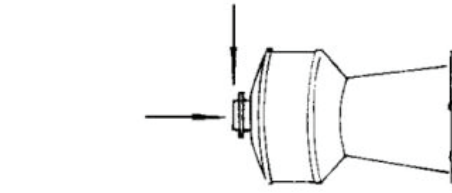
- T (latitude de  $40^\circ$  nord à  $48^\circ$  nord) ;
- U (latitude de  $48^\circ$  nord à  $56^\circ$  nord).

Chaque rectangle de  $6^\circ$  sur  $8^\circ$  comporte alors un repère orthonormé et la surface est considérée comme plane (projection).

Un point mesuré par un récepteur GPS est donc désigné dans l'ordre par :

- Le numéro du fuseau ;
- La lettre d'identification de la bande ;
- Les coordonnées numériques du point situé à l'intérieur du rectangle désigné, en mètres souvent avec deux chiffres après la virgule pour appréhender le cm.

**DT12 : Station DGPS de référence – Réseau géodésique français**



Système : ETRS 89 –Projection : UTM – zone 31T Système altimétrique : NGF-IGN 1969

| Point | E (m)     | N(m)       | Précision planimétrique | Altitude (m) | Précision altitude |
|-------|-----------|------------|-------------------------|--------------|--------------------|
| a     | 377106,34 | 4828182,61 | < 10 cm                 | 222,4        | < 50 cm            |

## DT13 : Principe du GPS différentiel - DGPS

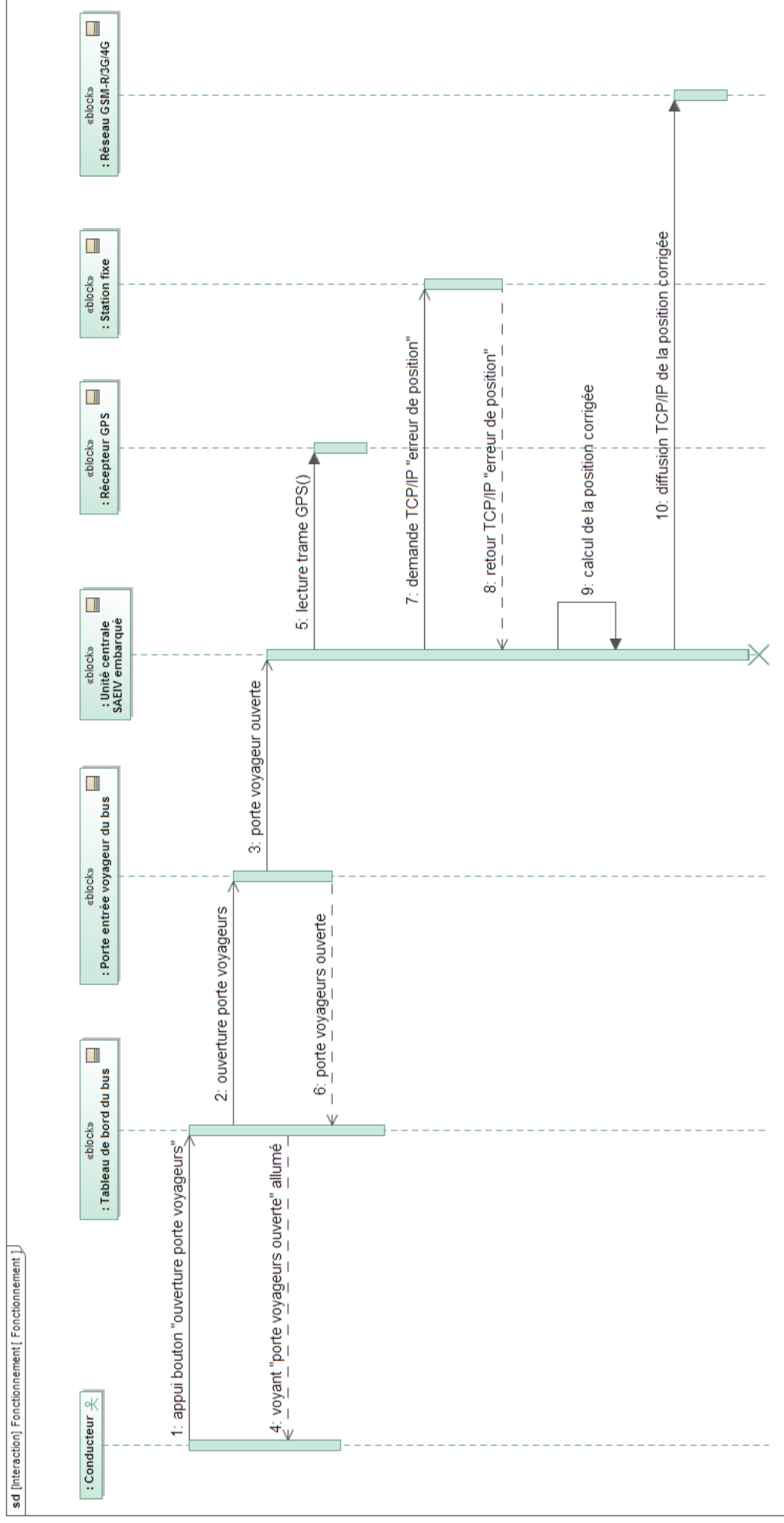
Le GPS différentiel (en anglais Differential Global Positioning System : DGPS) est une amélioration du GPS. Il utilise un réseau de stations fixes de référence qui transmet l'écart entre les positions indiquées par les satellites et leurs positions réelles connues. En fait le récepteur reçoit la différence entre les pseudo-distances mesurées par les satellites et les véritables pseudo-distances et peut ainsi corriger ses mesures de positions.

Le principe du DGPS est basé sur le fait qu'en des points voisins, les effets des erreurs de mesure, comme d'ailleurs les effets des erreurs ajoutées volontairement, sont très semblables : il suffit donc d'observer en un point connu les fluctuations des mesures et de les transmettre à un récepteur observant les mêmes satellites, pour permettre à celui-ci de corriger une grande partie des erreurs de mesure, qu'elles soient liées au satellite (horloge), aux conditions de propagation (effets troposphériques, ...) ou à des fluctuations volontaires du signal émis. La précision qui était de l'ordre de 10 à 20 mètres peut alors passer de 5 à 3 mètres sur une grande zone (plusieurs centaines de kilomètres). Le DGPS est basé sur un ensemble de stations fixes, dont la position est connue exactement ; elles reçoivent les signaux des mêmes satellites que les terminaux mobiles présents dans leur zone d'action et elles estiment en permanence l'erreur locale de positionnement du GPS en comparant la position calculée avec leur position réelle. Cette information est transmise par radio ou par satellite.

### Tableau de précision

| Systeme  | Précision |
|--|-----------|
| GPS seul   | < 15 m    |
| GPS + Signal DGPS d'une station située à moins de 500 km | < 5 m     |
| GPS + Signal DGPS d'une station située à moins de 50 km  | < 2 m     |
| GPS + Signal DGPS d'une station située à moins de 5 km   | < 15 cm   |

## DT14 : Diagramme de séquences de la gestion du positionnement du bus



**DT15 : Définition des variables et procédures du SAEIV**

| Variables          | Types       | Commentaires  |
|--------------------|-------------|---|
| X_bus_gps          | Entier long | Longitude UTM du bus issue du GPS en cm   |
| Y_bus_gps          | Entier long | Latitude UTM du bus issue du GPS en cm  |
| DeltaX_station_gps | Entier long | Erreur de longitude de la station de référence issue du GPS de la station en cm |
| DeltaY_station_gps | Entier long | Erreur de latitude de la station de référence issue du GPS de la station en cm  |
| X_bus_vraie        | Entier long | Longitude UTM corrigée du bus en cm   |
| Y_bus_vraie        | Entier long | Latitude UTM corrigée du bus en cm  |
| Etat_porte         | booléen     | Vrai si la porte est ouverte  |

**Structures utilisables**

|                         |
|-------------------------|
| SI... ALORS... SINON... |
| TANT QUE... FAIRE...    |

**Procédures prédéfinies**

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <i>Lire_gps (X, Y)</i>           | Récupération des coordonnées GPS du bus                 |
| <i>Lire_station (X, Y)</i>       | Récupération erreurs DeltaX et DeltaY GPS de la station |
| <i>Trans_réseau (X, Y)</i>       | Envoi des coordonnées sur le réseau                     |
| <i>Lire_capteur_porte (état)</i> | Récupération de l'état de la porte « voyageurs »        |

**Nota :**

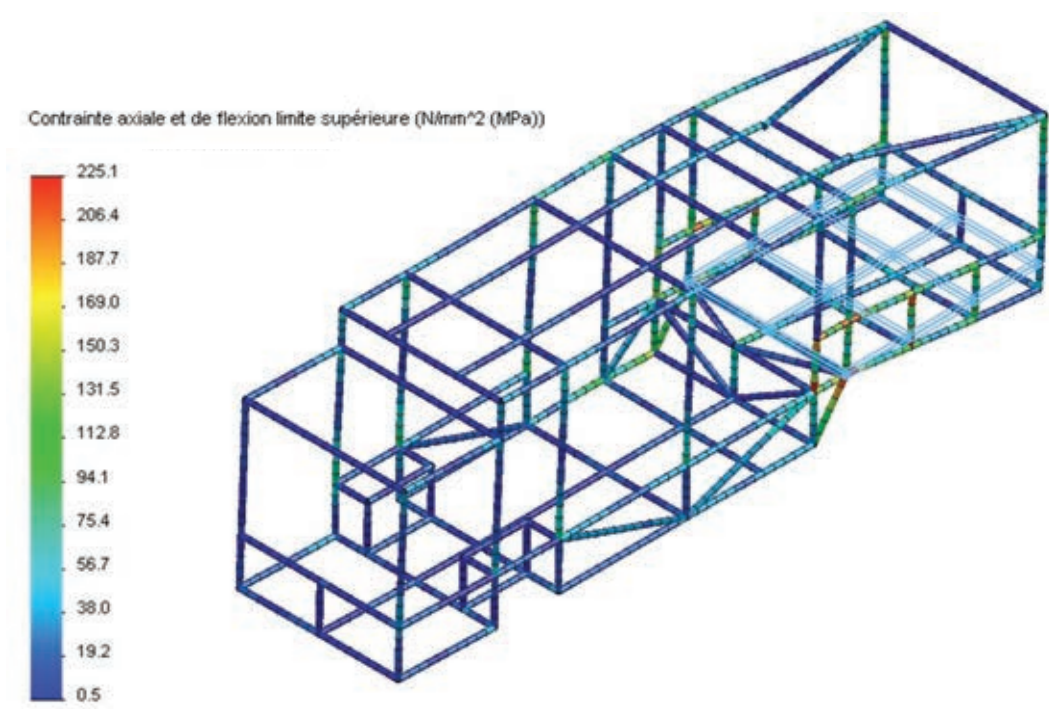
Lors de l'utilisation des procédures, les variables sont transmises en entrée ou en sortie.

**Exemple :**

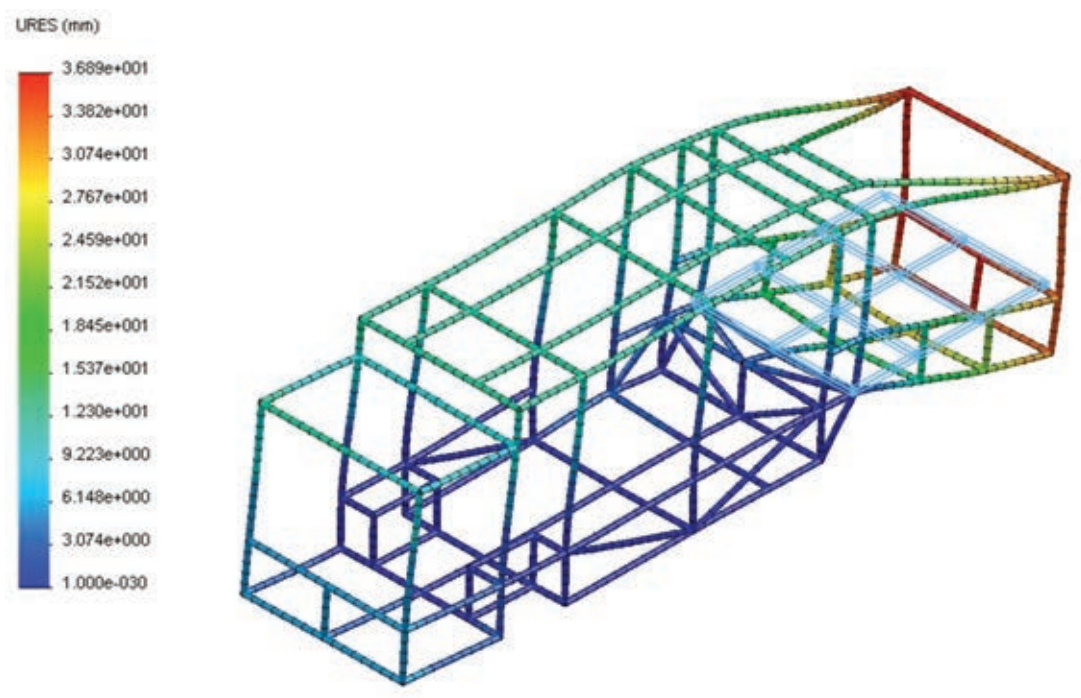
Après l'appel de *Lire\_gps (X\_bus\_gps, Y\_bus\_gps)*, les variables X\_bus\_gps et Y\_bus\_gps contiennent les coordonnées fournies par le gps du bus.



# DT16 : Contraintes et déplacements pour le châssis en inox



Niveau des contraintes dans la structure du bus (châssis en inox) en MPa

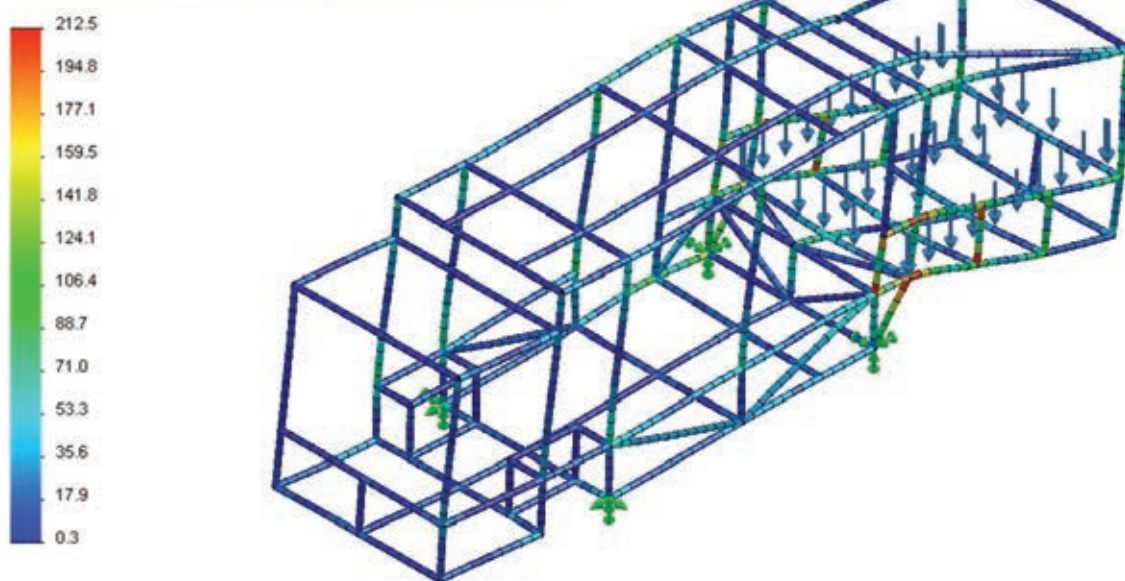


Niveau des déplacements dans la structure du bus (châssis en inox) en mm



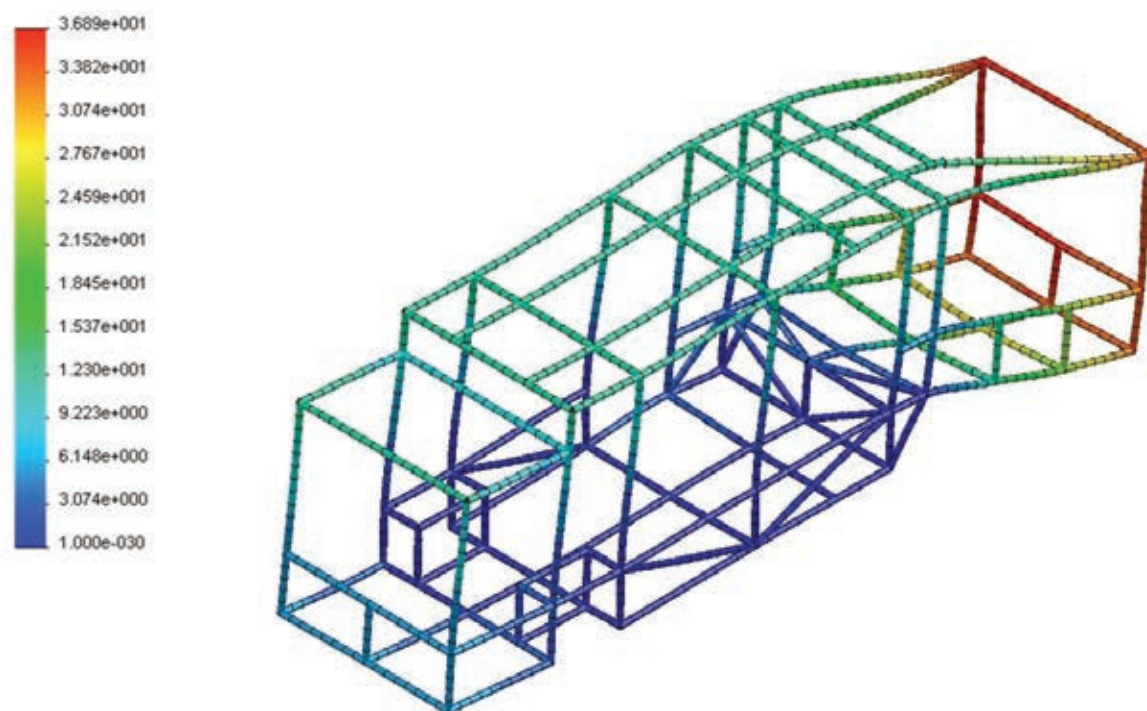
# DT17 : Contraintes et déplacements pour le châssis en aluminium

Contrainte axiale et de flexion limite supérieure (N/mm<sup>2</sup> (MPa))



Niveau des contraintes dans la structure du bus (châssis en aluminium) en MPa

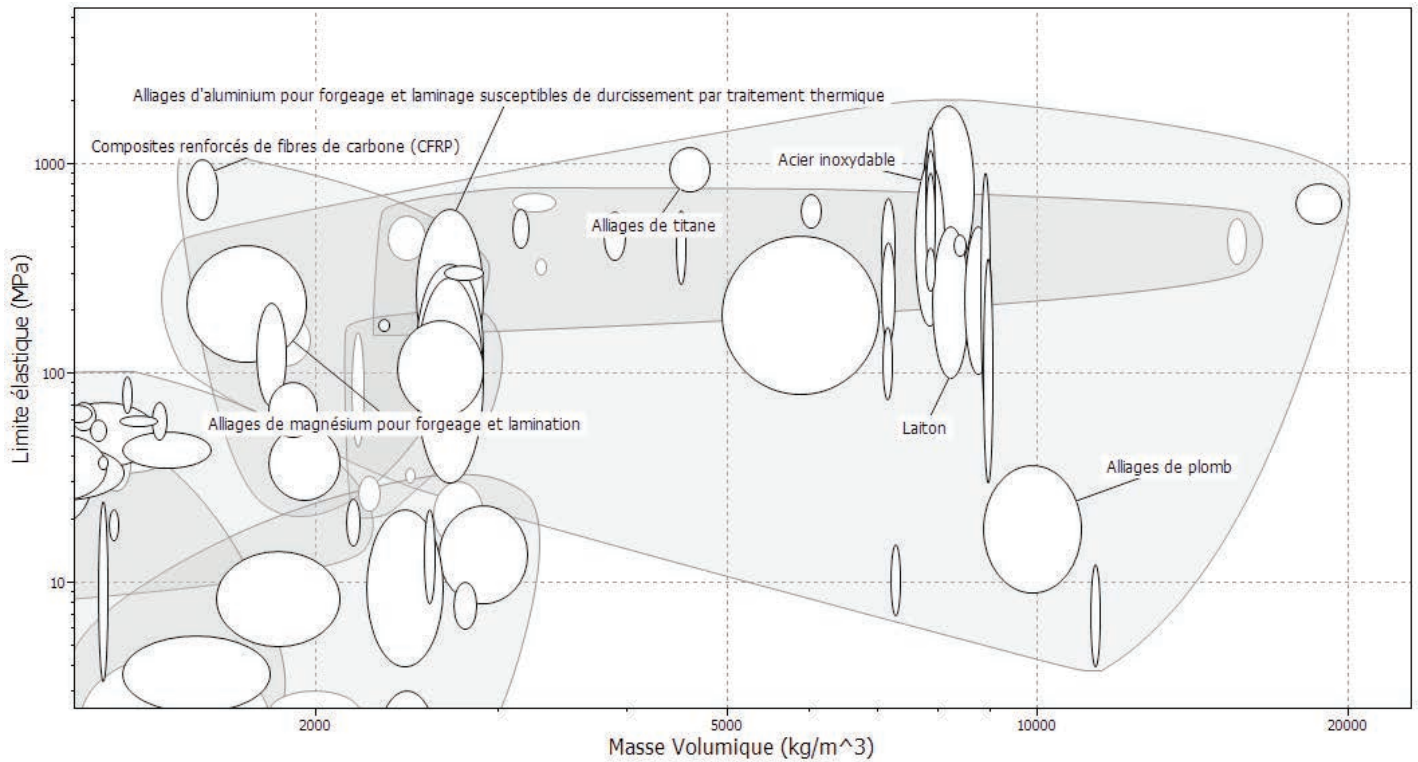
URES (mm)



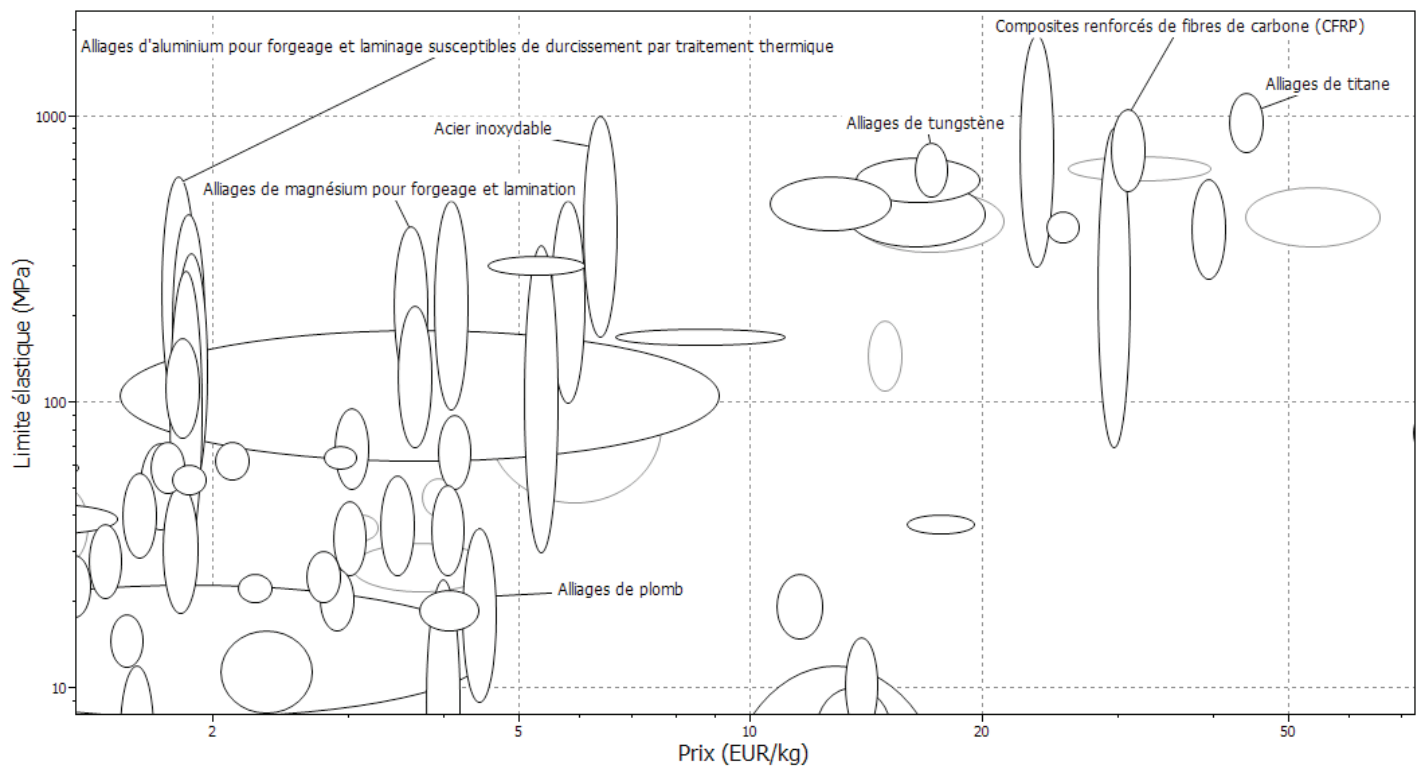
Niveau des déplacements dans la structure du bus (châssis en aluminium) en mm

# DT18 : Choix d'un matériau

## Comparaison de matériaux selon la limite élastique et la masse volumique

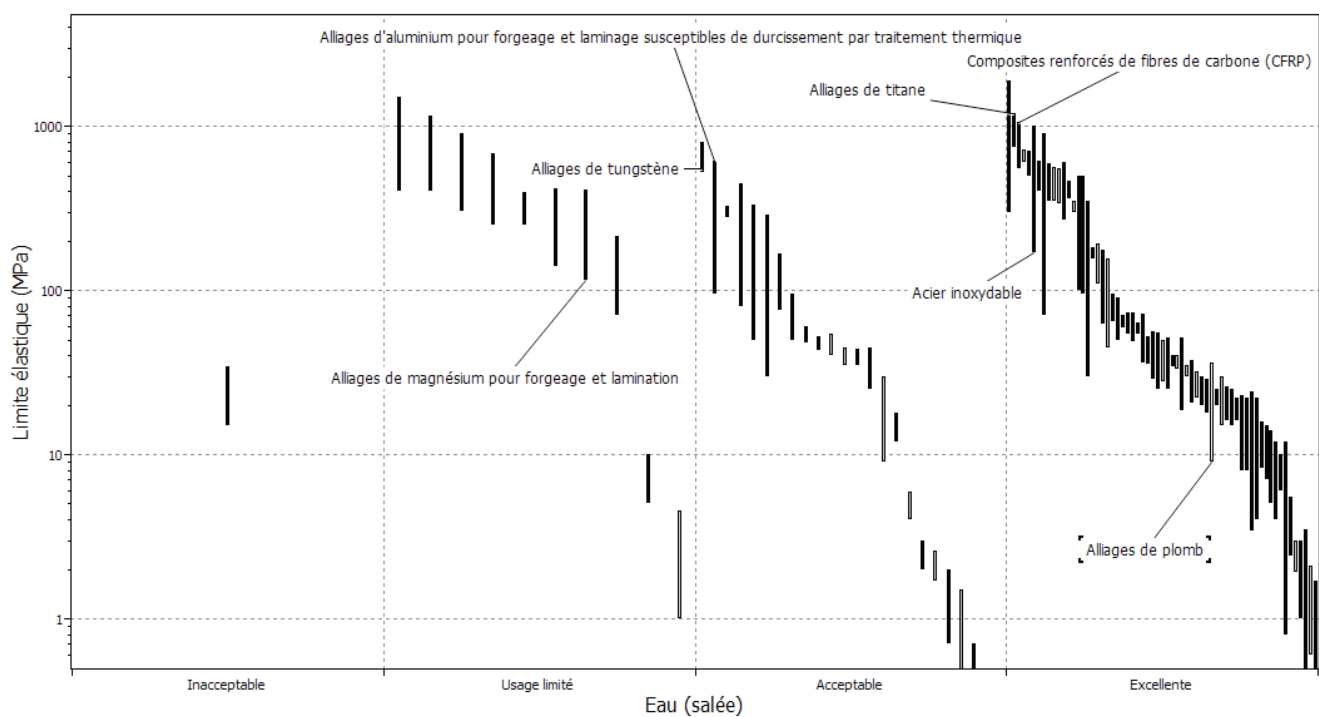


## Comparaison de matériaux selon la limite élastique et le coût



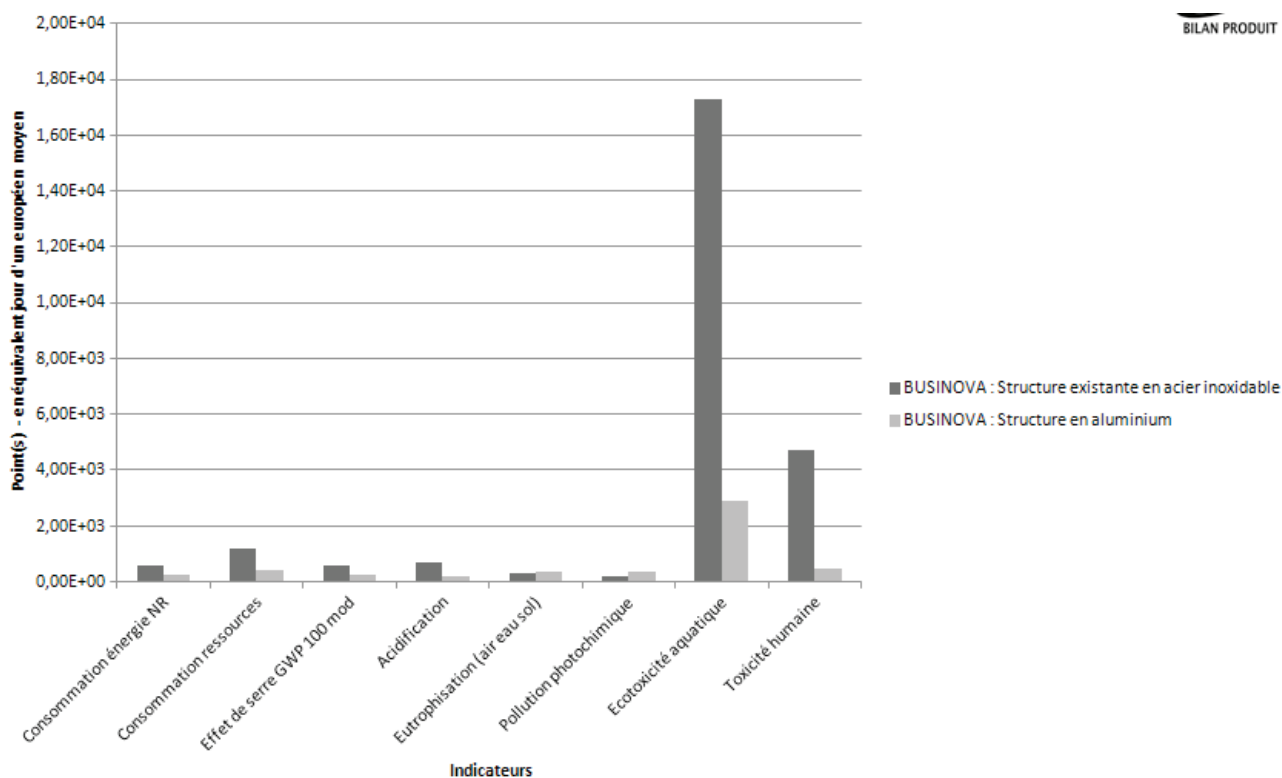
# DT19 : Choix d'un matériau (suite DT18)

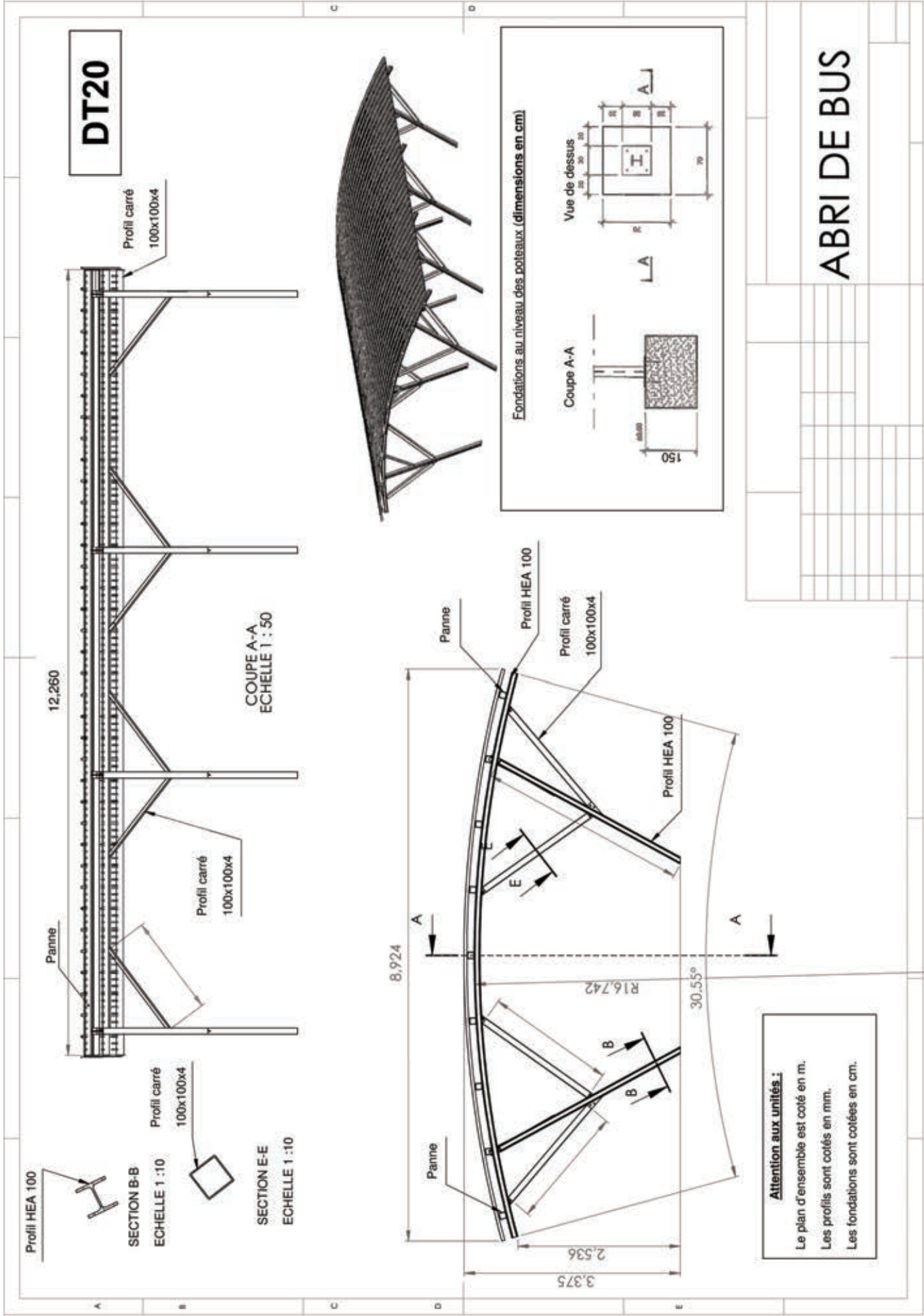
Comparaison de matériaux selon la limite élastique et la résistance à l'eau salée



Comparaison environnementale de deux matériaux

## Impacts liés à la production des différentes structures









NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

**DR1 : Justification du choix de l'axe de développement du Businova**

**Question 1.1**

|                        | Bus Businova | Bus électriques | Bus Hybrides |
|------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| Nombre de places       |              |                 |              |
| Autonomie              |              |                 |              |
| Consommation de GasOil |              |                 |              |

**DR1 : Vérification des performances du prototype**

**Question 1.8**

| Pente nulle         | Moteur-pompe hydraulique | Moteur électrique |
|---------------------|--------------------------|-------------------|
| Couple maxi (N.m)   | .....                    | ....              |
| Puissance maxi (kW) | .....                    | .....             |

**Question 1.9**

| Pente à 10%         | Moteur-pompe hydraulique | Moteur électrique |
|---------------------|--------------------------|-------------------|
| Couple maxi (N.m)   | .....                    | ....              |
| Puissance maxi (kW) | .....                    | .....             |

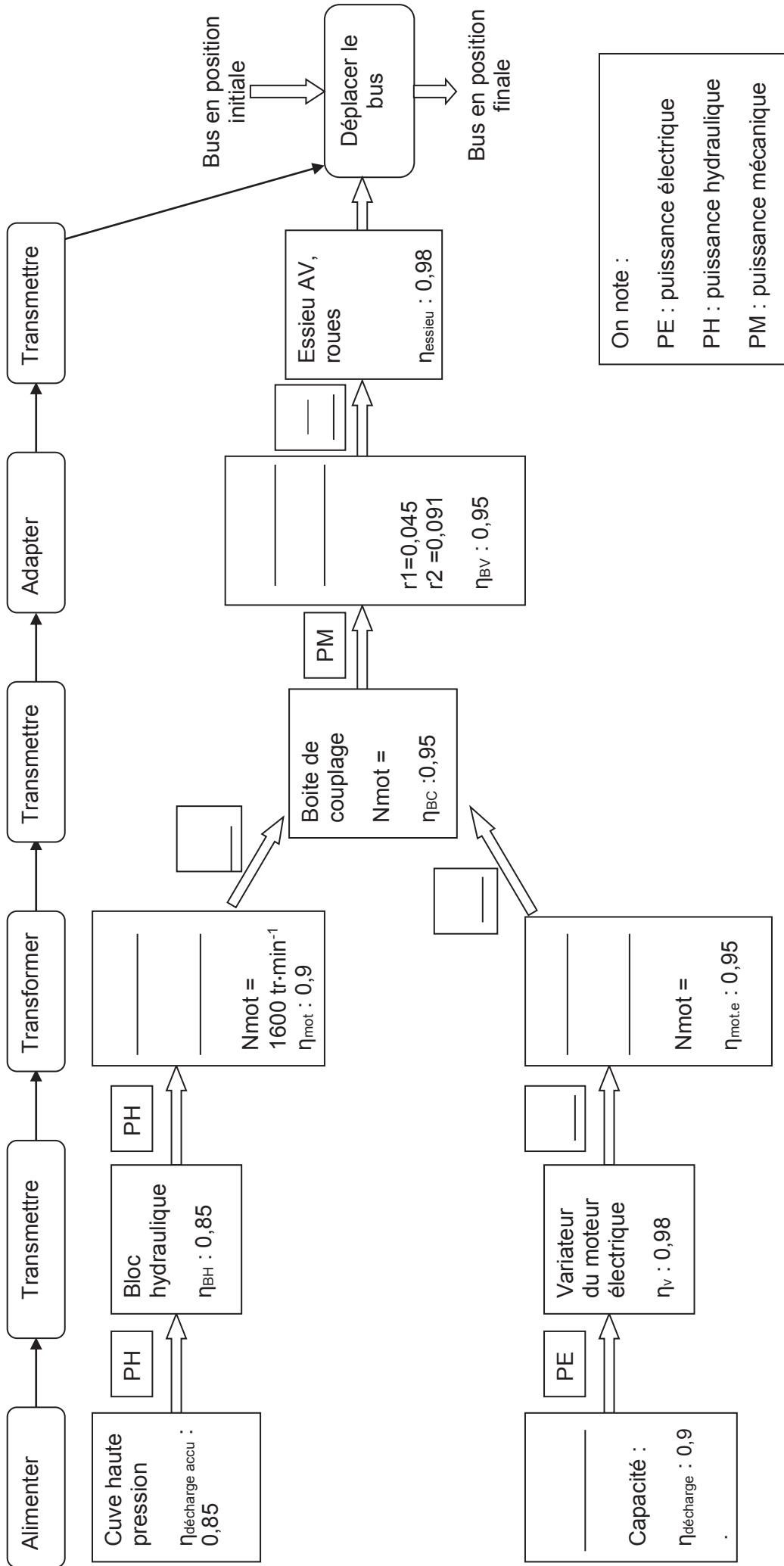
**DR1 : Valider la structure d'un point de vue environnemental**

**Question 1.23**

| Matériaux disponibles           | Critères d'exclusion | Matériau choisi (cocher) |
|---------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Alliage d'aluminium             |                      |                          |
| Alliage de magnésium            |                      |                          |
| Alliage de titane               |                      |                          |
| Composites de fibres de carbone |                      |                          |
| Laiton                          |                      |                          |

# DR2 : Description des chaînes d'énergies de la motorisation du Businova

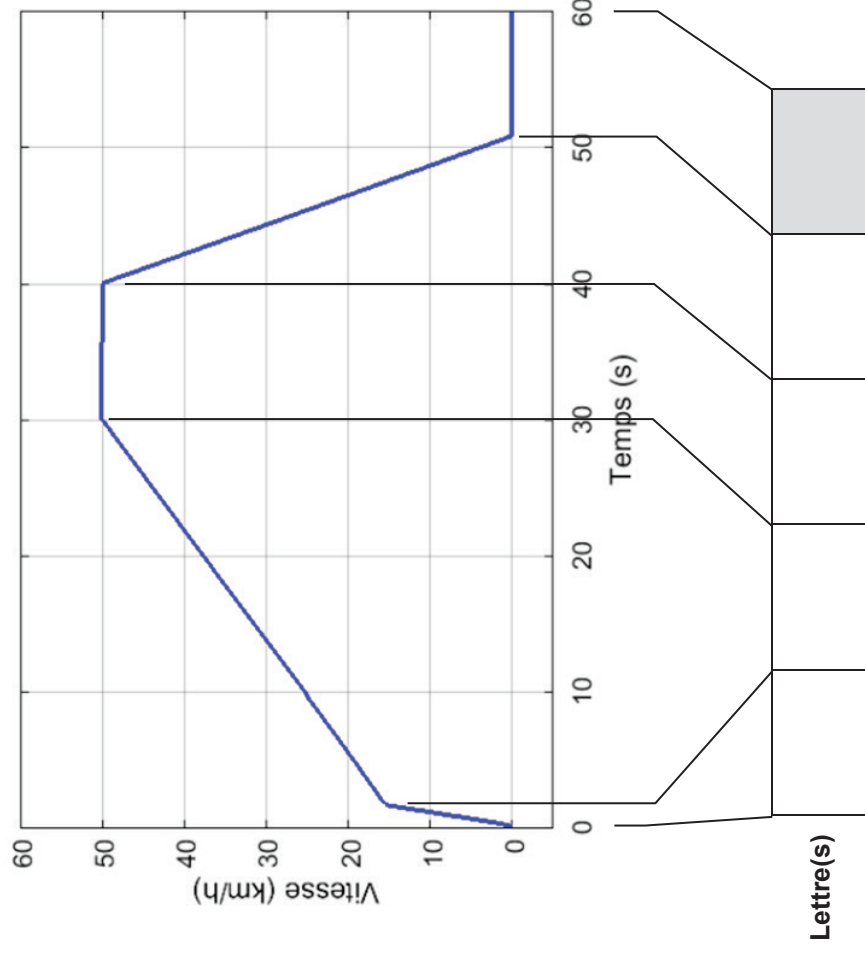
## Question 1.4



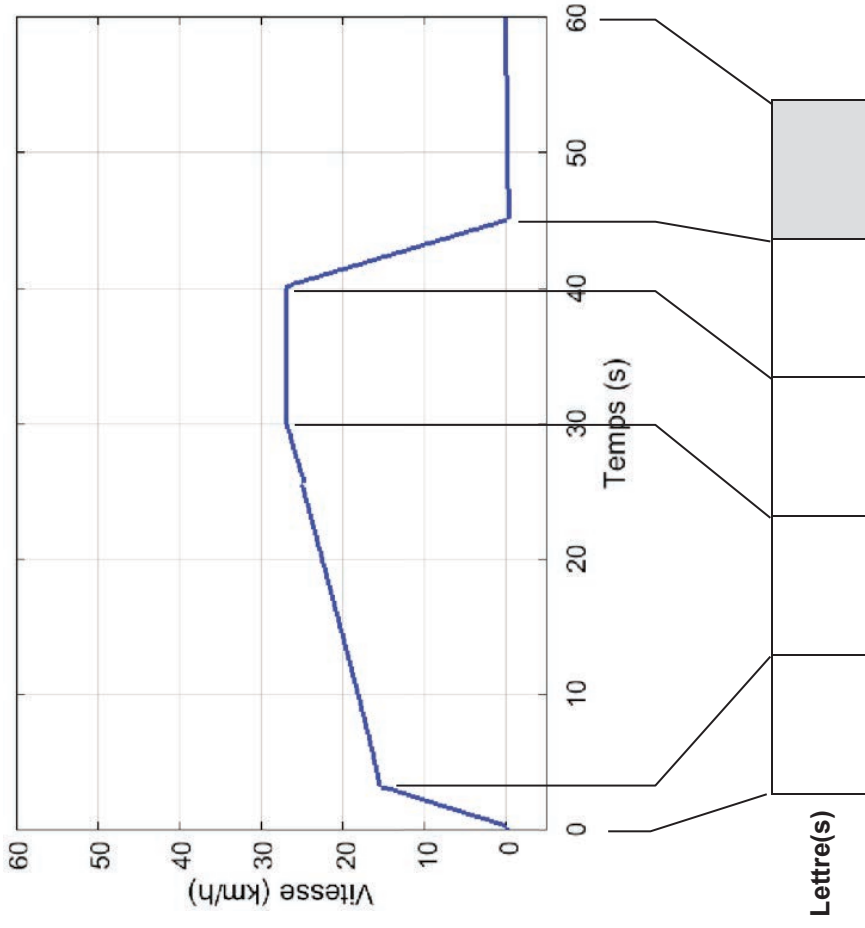
Tournez la page S.V.P.

**DR3 : Fonctionnement de la boîte de couplage**

**Profil de vitesse sur pente nulle**



**Profil de vitesse sur pente à 10%**



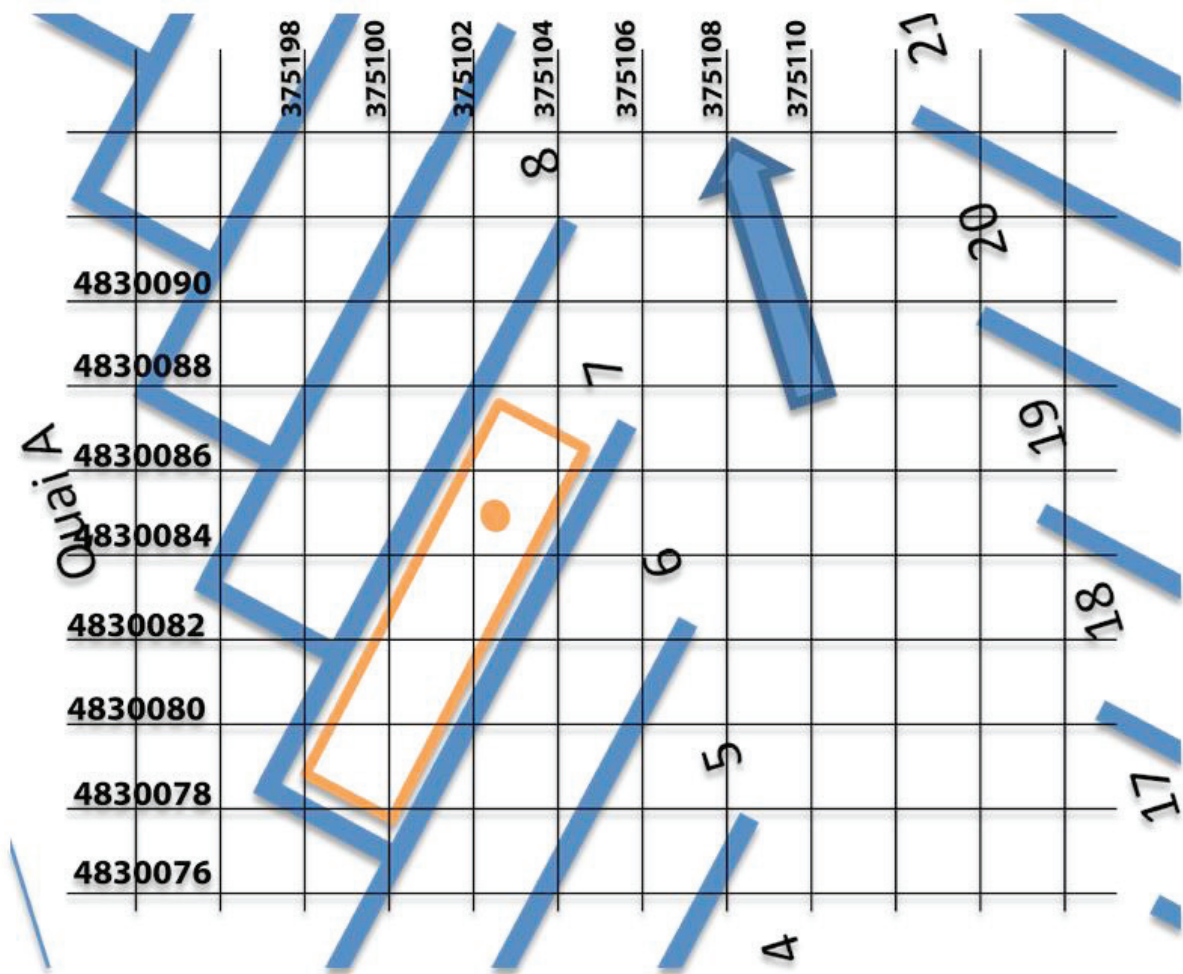




NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

**DR4 : Position du bus à la gare routière**

Réponses à la question 1.19 :



Extrait du plan de masse des quais de la gare routière carroyé  
par une grille UTM métrique.

**DR5 : Comparatif des solutions structures inox et aluminium**

|                          | <b>Masse (kg)</b> | <b>Contrainte maxi (MPa)</b> | <b>Déplacement maxi (mm)</b> |
|--------------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Châssis inox</b>      |                   |                              |                              |
| <b>Châssis aluminium</b> |                   |                              |                              |

**DR6 : Validation des fondations de l'abri de bus**

Les cellules grisées ne sont pas à compléter.

| Charges propres                        |            |                 |                          |                    |                         |  |
|--|------------|-----------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|--|
|  | Couverture | Profils HEA 100 | Profils carrés 100x100x4 |                    | Fondations              |  |
|  |            |                 | Pannes                   | Liens de charpente |                         |  |
| Volume en m <sup>3</sup>               |            |                 |                          |                    |                         |  |
| Surface en m <sup>2</sup>              |            |                 |                          |                    |                         |  |
| Longueurs                              |            | 61,72           | 110,34                   | 50,03              |                         |  |
| Masse surfacique en kg·m <sup>-2</sup> | 7,00       |                 |                          |                    |                         |  |
| Masse linéique en kg·m <sup>-1</sup>   |            | 16,70           | 12,48                    | 12,48              |                         |  |
| Masse volumique en kg·m <sup>-3</sup>  |            |                 |                          |                    | 2200,00                 |  |
| Masse en kg                            |            | 1031            | 1377                     | 624                |                         |  |
|  |            |                 |                          |                    | Poids propre total en N |  |

| Charges d'exploitation pour entretien en N | Charge de neige en N |
|--|----------------------|
| 9810                                       | 55409                |

|  |        |
|--|--------|
| Poids total en N   | 229382 |
| Section d'une fondation en mm <sup>2</sup>                 |        |
| Section équivalente des huit fondations en mm <sup>2</sup> |        |
| Contrainte moyenne au sol en MPa                           |        |

|                     |  |
|---------------------|--|
| Rapport de sécurité |  |
|---------------------|--|

|   |     |
|---|-----|
| Contrainte admissible par le sol en MPa | 0,2 |
|---|-----|