
RAPPORT D'ESSAIS DE L'AUTOBUS ARTICULÉ HYBRIDE CITELIS D'IRISBUS-IVECO

Avril 2013



TABLE DES MATIÈRES

Section 1	SOMMAIRE EXÉCUTIF	1
Section 2	ORIGINE DU PROJET	3
Section 3	PRÉSENTATION DES PARTENAIRES	4
3.1	Irisbus-Iveco	4
3.2	AVT	5
3.3	STM	5
3.4	RTL	6
Section 4	DESCRIPTION DU PROJET	7
Section 5	ORGANISATION DU PROJET	8
5.1	Comité directeur	8
5.2	Comité de pilotage	9
Section 6	PROTOCOLE D'ESSAIS	10
6.1	Approche méthodologique	10
6.2	Mesure de la satisfaction du personnel et de la clientèle	12
Section 7	DESCRIPTION TECHNIQUE DU CITELIS ET DU LFS ARTIC	12
7.1	Citelis	12
7.2	LFS Artic	13
7.3	Différences entre l'autobus Citelis et les autobus témoins	13
Section 8	ÉCHÉANCIER DE RÉALISATION	14
Section 9	DÉROULEMENT DES ESSAIS	15
9.1	Sommaire des essais	15
9.2	Difficultés rencontrées	16
9.3	Bris, pannes et réparations	17

9.4	Contraintes particulières du parcours au RTL.....	18
9.5	Limitations imposées sur l'accès aux données	19
Section 10	PERFORMANCE GÉNÉRALE.....	19
10.1	STM	19
10.2	RTL	20
10.3	Combiné.....	21
10.4	Facteurs impactant les résultats.....	22
Section 11	ANALYSE DE LA PERFORMANCE.....	25
11.1	Utilisation du moteur thermique.....	25
11.2	Utilisation des batteries.....	26
11.3	Intégration technologique	27
Section 12	APPRÉCIATION DES CHAUFFEURS.....	28
12.1	Opinion partagée par les chauffeurs de la STM et du RTL	28
12.2	Particularités à la STM	29
12.3	Particularités au RTL	30
Section 13	APPRÉCIATION DU PERSONNEL D'ENTRETIEN ET D'INGÉNIERIE.....	31
13.1	Points appréciés.....	31
13.2	Suggestions d'amélioration	32
Section 14	APPRÉCIATION DE LA CLIENTÈLE	33
Section 15	CONFORMITÉ AUX DEVIS D'ACQUISITION ACTUELS	33
Section 16	ÉVOLUTION DE LA MOTORISATION HYBRIDE	35
Section 17	CONCLUSIONS.....	36
Section 18	REMERCIEMENTS.....	38

Liste des annexes :

- Annexe 1: Fiche technique de l'autobus 18 mètres hybride de série Citelis
- Annexe 2: Fiche technique de l'autobus Nova Artic 18 mètres diesel
- Annexe 3 : Appréciation de la clientèle (STM et RTL)



Section 1 SOMMAIRE EXÉCUTIF

Le projet consistait à réaliser l'évaluation comparative de l'autobus articulé hybride série Citelis fabriqué par l'entreprise Irisbus-Iveco par rapport aux autobus articulés diesel en service dans les sociétés de transport en commun québécoises, le tout en situation de service réel sur les circuits de la STM et du RTL. Le projet était coordonné par la société AVT et les résultats ont été partagés avec les neuf sociétés de transport en commun québécoises.

Pour les sociétés de transport en commun, dans un contexte de négociations d'une entente de libre-échange entre le Canada et l'Europe, l'objectif principal du projet était d'évaluer le potentiel que pouvait offrir un autobus de conception européenne dans des conditions d'opérations québécoises. Accessoirement, la réalisation de ce projet permettait aux sociétés de se familiariser avec la technologie hybride de série et les conforter dans le virage qu'elles ont entrepris vers l'électrification de leur parc d'autobus. Pour Irisbus-Iveco, l'objectif du projet était de bien comprendre les contraintes opérationnelles reliées au contexte d'opération nord-américain, d'en évaluer le potentiel et de consolider son expertise sur la motorisation hybride de série.

Un protocole d'essais rigoureux a été suivi afin de s'assurer de la validité des résultats. Parmi les mesures de contrôle, un nombre très restreint d'autobus témoins ont été synchronisés avec le Citelis pour éviter des écarts sur les conditions d'opération et un système d'acquisition de données en temps réel a été installé dans chaque autobus. Les essais se sont déroulés entre les mois de mars et novembre 2012, durant lesquels un total de 76 jours d'essais en service a été effectué, excluant les périodes d'adaptation, familiarisation et formation dans chacune des sociétés participantes. Le Citelis a circulé sur plusieurs des circuits d'autobus articulés de la STM impliquant plusieurs arrêts/départs et sur un circuit interurbain beaucoup plus rapide au RTL. À l'exception de pannes causées par les connexions défectueuses sur le module de batteries (ESS), le Citelis s'est très bien comporté dans l'ensemble des conditions d'opération de la STM, mais sa vitesse limitée à 70 km/h a restreint sa performance sur le circuit interurbain du RTL.

L'évaluation comparative du Citelis a permis de constater l'efficacité de sa motorisation hybride série. En effet, pour l'ensemble des essais, la consommation totale de carburant a été de 32,3% inférieure à celle des autobus témoins. La qualité de l'intégration

technologique de la motorisation hybride s'est avéré le facteur le plus significatif pour expliquer l'excellente performance énergétique du Citelis. L'objectif que s'était fixé l'équipe de développement du Citelis hybride d'obtenir le maximum d'économie de carburant tout en ne mettant pas en péril la longévité des batteries est donc largement atteint. Cette optimisation se constate non seulement dans les résultats de consommation, mais aussi sur la sélection, l'intégration et l'assemblage des divers composants. Ainsi, l'analyse plus poussée des résultats a notamment permis de constater que bien que le moteur diesel Tector du Citelis soit de cylindrée plus faible que celui des autobus diesel des sociétés québécoises, il était nettement suffisant et utilisé majoritairement dans sa plage d'efficacité optimale.

Le Citelis a été apprécié par la majorité des chauffeurs de la STM. Par contre, au RTL, le taux de satisfaction est plus nuancé dû aux difficultés particulières du circuit. Quant au personnel d'entretien des deux sociétés, les commentaires sur la maintenance et la conception du véhicule ont été favorables dans l'ensemble. Du côté de la clientèle, le Citelis a obtenu un taux de satisfaction générale de 93%.

L'évaluation a donc permis de constater que le Citelis est un produit de bonne qualité aux performances énergétiques excellentes, mais qui nécessiterait certaines modifications afin de répondre aux critères des sociétés de transport en commun québécoises lors de leurs appels d'offres pour l'acquisition d'autobus.

Section 2 ORIGINE DU PROJET

En octobre 2010, lors d'une mission technique organisée par AVT, certains dirigeants des sociétés de transport en commun québécoises ont eu l'opportunité de visiter les installations d'Irisbus-Iveco à Lyon et de rencontrer ses dirigeants. La vision de l'entreprise, le plan de développement technologique et la diversité des modèles d'autobus offerts ont charmé les participants québécois qui ont immédiatement démontré un intérêt à faire l'essai d'un autobus d'Irisbus-Iveco dans des conditions d'opération nord-américaines.

Les partenaires ont alors entamé des discussions afin de déterminer les grandes lignes du projet d'évaluation, lesquelles discussions se sont poursuivies sur plus d'une année. Le 7 octobre 2011, M. Sergio Marchionne, pdg du conglomérat Fiat duquel fait partie Iveco, faisait officiellement l'annonce du projet lors de son passage à Montréal, à la Chambre de commerce italienne.

Le 16 janvier 2012, une mission technique formée de représentants d'AVT et de la STM a permis de finaliser les derniers détails. Ces démarches ont mené à la signature, le 22 février 2012, d'une entente entre AVT et Irisbus-Iveco pour le prêt et l'essai d'un autobus articulé hybride série de marque Citelis. L'autobus a été livré à la STM le 21 mars 2012, en présence des dirigeants et membres des équipes d'Irisbus-Iveco, d'AVT, de la STM et du RTL.



Dans ce projet, AVT agissait au nom de la STM et du RTL qui désiraient évaluer ce véhicule dans leurs opérations quotidiennes, sur leur réseau respectif, et partager les résultats de leur expérience avec les sept autres sociétés de transport en commun québécoises associées au sein d'AVT.

Les projets d'essais de véhicules par AVT et les sociétés de transport en commun québécoises sont faits dans le cadre de la vision commune que se sont données les sociétés de réaliser une vigie sur les produits et technologies qui pourraient le mieux contribuer à remplir leur mission et qui sont bien adaptés à leurs besoins ainsi qu'au climat québécois.

Section 3 PRÉSENTATION DES PARTENAIRES

3.1 Irisbus-Iveco

Iveco, acronyme de « Industrial Vehicle Corporation », est l'un des leaders internationaux dans le domaine du développement, de la production et de la vente d'une vaste gamme de véhicules utilitaires, industriels, d'autocars et d'autobus.

L'entreprise est née en 1975 suite à la fusion de 5 marques européennes, à savoir : Fiat, OM, Unic, Lancia et Magirus. Toutefois, ce n'est qu'en 2003 qu'Irisbus-Iveco a vu le jour, provenant d'une précédente joint-venture constituée entre Iveco et Renault. La marque Irisbus est l'un des leaders mondiaux dans la production de véhicules pour les transports en commun. Elle est le deuxième producteur européen d'autocars et autobus. Elle propose une gamme complète de minibus, autobus pour le transport urbain, pour les transports scolaires et interurbains, mais également d'autocars de luxe et de tourisme. Irisbus-Iveco est notamment le manufacturier de l'autobus articulé hybride Citelis qui a fait l'objet des essais.

Iveco emploie plus de 28 000 personnes dans 27 unités de production implantées dans 16 pays, sur la base de technologies d'excellence développées dans 6 centres de recherche. Outre l'Europe, la société est active dans plus de 160 pays, parmi lesquels la Chine, la Russie, l'Australie et l'Amérique Latine. Plus de 5 000 points de vente et d'assistance garantissent le service dans toutes les régions du globe où les véhicules Iveco sont au travail.

L'engagement d'Iveco en faveur de l'innovation offre à sa clientèle des prestations d'avant-garde en termes de développement technologique, et notamment en termes de protection de l'environnement. Ses valeurs sont basées sur l'engagement, la performance, la fiabilité et l'esprit d'équipe.

3.2 AVT

La Société de gestion et d'Acquisition de Véhicules et de systèmes de Transport (connue sous le nom de « AVT ») est une société en nom collectif regroupant les neuf sociétés de transport en commun du Québec.

AVT a pour mission de fournir aux neuf sociétés de transport en commun et aux organismes publics du Québec des services d'acquisition de véhicules et systèmes de transport et d'assurer une vigie technologique et d'affaires afin de leur permettre d'atteindre leurs objectifs. AVT a notamment piloté, en collaboration avec les sociétés de transport québécoises, l'appel d'offres pour l'acquisition de 509 autobus 12 mètres hybrides, lesquels seront livrés aux sociétés québécoises à compter de 2014. Dans le cadre de sa mission, AVT a également le mandat de coordonner les efforts communs des sociétés visant à réaliser l'électrification du transport collectif au Québec. La coordination d'essais de différents types de véhicules et de technologies électriques, comprenant des véhicules hybrides, fait partie de son mandat.

Les sociétés de transport en commun du Québec formant AVT œuvrent dans les neuf villes de plus de 100 000 habitants à travers la province du Québec. Elles desservent un peu plus de 50% de la population québécoise et assurent plus de 90% des déplacements en transport en commun effectués au Québec.

3.3 STM

Entreprise publique de transport en commun, la Société de transport en commun de Montréal (connue sous le nom de « STM ») est un acteur incontournable dans le secteur des transports terrestres de personnes dans la province du Québec. Quatorzième entreprise en importance du Québec, la STM assure quelque 1,2 million de déplacements par jour. Elle emploie plus de 9 000 employés, dont plus de la moitié travaille directement avec la clientèle. À elle seule, la STM assure plus de 80 % des déplacements en transport collectif dans la région de Montréal et plus de 70 % de tous ceux qui sont effectués au Québec.

Pour soutenir l'achalandage du transport collectif, l'entreprise possède, administre et développe un service de bus et de métro sur le territoire de l'île de Montréal qui couvre près de 500 km². Le parc d'autobus compte autour de 1 680 véhicules, dont 140 bus articulés et jusqu'à ce jour, 8 autobus hybrides. En outre, la STM assure un transport adapté aux personnes ayant des limitations fonctionnelles.

En plus d'être au cœur du développement économique de Montréal depuis 150 ans, la STM joue un rôle prépondérant dans le développement durable de la métropole. En assurant des déplacements fiables et sécuritaires, elle contribue à la protection de l'environnement et à la qualité de vie des citoyens.

3.4 RTL

Le Réseau de transport de Longueuil (connu sous le nom de « RTL ») dessert l'agglomération de Longueuil qui comprend cinq villes sur la rive-sud de Montréal. Le territoire de l'agglomération de Longueuil, couvre un territoire de 282 km², bordé à l'ouest par le fleuve Saint-Laurent.

Plus de 400 véhicules circulent sur le réseau de manière à offrir à la clientèle des accès plus directs aux différents points de l'agglomération, au centre-ville de Montréal et aux stations de métro présentes sur le territoire. Ainsi, une partie des autobus circulent sur des circuits rapides, soit sur différentes autoroutes qui traversent le territoire ou sur l'un des quatre ponts qui relie le territoire à l'île de Montréal.

Le RTL, c'est aussi plus de 1 000 employés qui assurent la satisfaction des clients, lesquels effectuent annuellement plus de 33 millions de déplacements.

Le Réseau de transport de Longueuil s'est donné comme mission d'améliorer la qualité de vie des citoyens du territoire du Réseau en répondant adéquatement à leurs besoins évolutifs de déplacement par la promotion et l'exploitation de différents moyens de transport collectif de qualité dans une perspective de développement durable.

Section 4 DESCRIPTION DU PROJET

Le projet consistait à réaliser l'évaluation comparative de l'autobus articulé Citelis hybride série, fabriqué par l'entreprise Irisbus-Iveco, en situation de service sur les réseaux de la STM et du RTL. L'autobus Citelis était comparé aux autobus articulés diesel de marque Nova Artic qui sont le type d'autobus articulés que l'on retrouve principalement dans le parc d'autobus des sociétés québécoises. Il s'agissait du premier projet d'évaluation du Citelis en Amérique du Nord.

Dans un contexte de négociations d'une entente de libre-échange entre le Canada et l'Europe, les sociétés de transport en commun québécoises souhaitaient évaluer le potentiel que pouvait offrir un autobus de conception européenne dans des conditions d'opérations québécoises. Les sociétés ont apprécié l'opportunité que leur offrait Irisbus-Iveco d'évaluer leur plus récente génération d'autobus et de bénéficier de leur expérience en tant que premier fabricant à proposer la motorisation hybride de série, la plus avancée du fournisseur BAE, sur un autobus articulé.

Ainsi, en plus de se familiariser avec un autobus européen, la réalisation de ce projet a permis aux sociétés québécoises de se familiariser avec la technologie hybride série et les conforter dans le virage qu'elles ont entrepris vers l'électrification de leur parc d'autobus. L'essai d'un autobus articulé hybride était d'autant plus pertinent que les prochains autobus 12 mètres des sociétés de transport en commun québécoises seront équipés de la technologie hybride de série. De plus, elles envisagent sérieusement l'acquisition d'autobus articulés hybrides lors de leur prochain appel d'offres. L'expérience et les connaissances acquises durant les essais se sont donc avérées des plus utiles.

Quant à Irisbus-Iveco, le niveau de difficulté de l'essai lui a permis de bien comprendre les contraintes opérationnelles liées au contexte d'opération nord-américain, d'en évaluer le potentiel et de consolider son expertise sur la motorisation hybride de série, et par le fait même son avance technologique et son avantage concurrentiel.

L'évaluation était basée sur un ensemble de critères et de paramètres reflétant bien les attentes des sociétés de transport. À cette fin, un protocole d'essais a été élaboré par l'équipe de projet d'AVT en collaboration avec Irisbus-Iveco et les sociétés participantes. Les essais se sont déroulés du mois de mars au mois de novembre 2012, comprenant une

période d'adaptation, de familiarisation et de formation, puis des essais en service dans chacune des sociétés participantes. Pour toute cette période, l'autobus Citelis était prêté sans frais par Irisbus-Iveco à AVT pour procéder à l'évaluation. Une équipe de coordination et plusieurs experts techniques provenant des différents partenaires ont été mis à contribution dans la réalisation du projet.

L'autobus Citelis a circulé sur différents circuits de la STM et sur un seul du RTL. À la STM, l'autobus a emprunté différents circuits comportant de nombreux arrêts et départs, alors qu'au RTL, l'autobus a été placé sur un circuit interurbain plus rapide qui emprunte un pont majeur au-dessus du fleuve Saint-Laurent. Un total de 10 251 km a été parcouru en service durant les essais, jumelé à un autobus témoin. L'autobus n'étant pas homologué au Canada, il a dû faire l'objet d'une importation temporaire et devait être retourné chez Irisbus-Iveco dès la fin de l'essai.



Autobus Citelis en service à la STM



Autobus Citelis en service au RTL

Section 5 ORGANISATION DU PROJET

La gouvernance du projet a été assurée par un Comité directeur et une Équipe de pilotage dont les rôles et responsabilités, de même que la composition sont donnés ci-dessous.

5.1 Comité directeur

Le Comité directeur de projet était formé de cinq (5) membres soit :

- Pierre Del Fante, président d'AVT et président du Comité directeur

-
- Gerard Brichau, Directeur général, AVT
 - André Poisson, Directeur principal Autobus, STM
 - Franco Miniero, Irisbus-Iveco
 - Philippe Grand, Irisbus-Iveco

Le rôle du comité était de :

- Contrôler l'état d'avancement du projet
- Approuver la prolongation ou la diminution de la durée des essais, au besoin
- Approuver les modifications majeures au Protocole d'essais, si nécessaire
- Approuver le Rapport d'évaluation du Citelis
- Résoudre les situations problématiques qui ne peuvent être réglées par l'Équipe de pilotage, le cas échéant

Indépendamment du nombre de représentants des Parties, il était prévu que la décision d'Irisbus-Iveco s'imposait relativement aux questions de droit de propriété du véhicule ou susceptibles d'affecter l'intégrité, les caractéristiques techniques ou la sécurité de celui-ci.

5.2 Comité de pilotage

L'Équipe de pilotage était composée de sept (7) représentants soit :

- Jean-Lys Carrière, Directeur Gestion des contrats, AVT, co-pilote du projet
- Luca Borsano, Engineering Manager, Irisbus-Iveco, co-pilote du projet
- Antonio Espona, Homologation Manager, Irisbus-Iveco, coordonnateur
- Romain Gelly, Responsable essais véhicules hybrides, Irisbus-Iveco, coordonnateur
- Antoine Robitaille, AVT, coordonnateur
- Serge Jolin, Directeur projets spéciaux, STM, coordonnateur
- Colette Lacasse, RTL, coordonnatrice

Le rôle de l'Équipe de pilotage était de :

- Coordonner les efforts de la STM, du RTL et d'Irisbus-Iveco, de façon à respecter les objectifs du projet
- Suivre de près l'échéancier très serré du projet et apporter rapidement les correctifs nécessaires

-
- Produire toute l'information nécessaire au bon déroulement du projet
 - S'assurer que le soutien technique auprès du personnel de la STM et du RTL est adéquat
 - S'assurer du respect des conditions d'utilisation et d'assurances de l'Entente
 - Régler les situations problématiques au niveau de la répartition des responsabilités et des coûts, le cas échéant
 - Approuver l'évaluation des incidents mécaniques et fixer la répartition des responsabilités et des coûts
 - Assurer le suivi du protocole d'essais ainsi que du rapport d'évaluation du Citelis
 - Produire régulièrement un état d'avancement du projet en soulignant les points à régler par le Comité directeur
 - Proposer au Comité directeur les modifications majeures nécessaires au protocole d'essais, au Rapport d'évaluation du Citelis ainsi qu'à l'échéancier du projet
 - Gérer les communications externes.

Section 6 PROTOCOLE D'ESSAIS

6.1 Approche méthodologique

Le protocole d'essais s'inspirait du cadre méthodologique rigoureux utilisé par la STM et la STO en 2007-2008 lors du Projet de démonstration en transport urbain (PDTU), lequel portait principalement sur la comparaison entre la motorisation hybride diesel-électrique (hybride de type parallèle) par rapport à la propulsion diesel standard.

Ainsi, le Citelis articulé hybride série a été mis en situation réelle de service pendant six (6) mois sur les réseaux de la STM et du RTL et a été comparé sur la même période et sur les mêmes lignes avec un certain nombre d'autobus articulés diesel désignés comme autobus témoins. La charge moyenne et le profil d'accélération de l'autobus Citelis et des autobus témoins étaient sensiblement les mêmes.

La comparaison avec les autobus témoins reposait sur un ensemble de critères et de paramètres reflétant bien les attentes des sociétés de transport. L'enregistrement des données se faisait par le biais d'un système avancé d'acquisition de données de la compagnie québécoise ISAAC Instruments Inc., lequel a été mis en place dans l'autobus

Citelis et dans les autobus témoins de la STM et du RTL. Ce système permettait d'enregistrer en continu les différents paramètres que les partenaires souhaitaient mesurer. Les données étaient analysées par l'organisme spécialisée CNTA, mandaté par AVT. La performance générale de l'autobus a été étudiée par le biais de la consommation de carburant (l/100 km), la distance parcourue (km), la vitesse (km/h), le temps d'utilisation de l'air climatisé, le temps de marche (ralenti ou mouvement), l'accélération et décélération moyenne. Une attention particulière a également été apportée à la performance du groupe motopropulseur hybride en série, soit la vitesse du moteur diesel (rpm), la puissance (kW, HP), le couple (N.m, Lbs.pi) et l'état de charge de la batterie hybride (%).

Afin d'analyser la consommation de carburant de l'autobus Citelis, la technique d'analyse basée sur la vitesse moyenne des bonds a été utilisée. Cette technique a été développée par l'ingénierie de la STM avec le support du CNTA dans le cadre de l'étude d'évaluation des autobus hybrides (PDTU). Un « bond » consiste en un cycle complet départ-arrêt, soit un départ à partir de 0 km/h, suivi d'une accélération, puis d'une décélération et finalement, d'une période d'arrêt liée à l'embarquement et/ou débarquement des passagers, à du trafic ou à des panneaux ou feux d'arrêt. Une quantité importante de bonds pour la même vitesse moyenne est nécessaire afin d'obtenir une validation statistique.

Il est à noter que les essais ont été réalisés hors de la période hivernale. En effet, bien que Irisbus-Iveco offre la possibilité d'hiverner leurs véhicules pour les conditions climatiques européennes, l'autobus Citelis disponible pour les essais ne comportait pas cette option. De plus, les délais serrés ne permettaient pas d'apporter ces modifications au véhicule. Conséquemment, l'impact de l'hiver québécois, et notamment de l'utilisation du chauffage en période hivernale sur la consommation de carburant, n'a pu être mesuré.

Le protocole d'essais, tel qu'établi, a tout de même permis de produire des résultats fiables et cohérents étant basé sur un nombre élevé de données, comparables autant dans le temps que dans l'espace, et dont la plupart ont été mesurés en temps réel.

6.2 Mesure de la satisfaction du personnel et de la clientèle

Un processus a été mis en place pour recueillir l'appréciation des conducteurs sur leur expérience de conduite avec le Citelis. Il en va de même pour les préposés, mécaniciens, techniciens, contremaîtres et ingénieurs de la STM et du RTL. Ce processus visait à obtenir tout commentaire pertinent sur le Citelis en regard de son utilisation dans les infrastructures de ces sociétés.

Un sondage a également été effectué par divers moyens auprès de la clientèle, notamment à l'aide de commis-enquêteurs à bord du Citelis, pour mesurer leur appréciation selon différents critères comme le niveau sonore, le confort de roulement, l'aménagement intérieur (circulation, visibilité confort des sièges...).

Section 7 DESCRIPTION TECHNIQUE DU CITELIS ET DU LFS ARTIC

7.1 Citelis

L'autobus Citelis est un autobus articulé de 18 mètres avec motorisation hybride diesel-électrique en série. En plus d'un moteur thermique diesel de marque Iveco Tector, l'autobus est muni d'un moteur de traction électrique et d'un stockage d'énergie électrique de marque BAE. L'énergie de traction de l'autobus provient uniquement du système de stockage électrique qui est alimenté par une génératrice, soit un moteur thermique diesel standard qui sert aussi à faire fonctionner quelques accessoires mécaniques. Cette technologie permet aussi de récupérer une portion de l'énergie du freinage pour régénérer les batteries. La fiche du Citelis est jointe à l'Annexe 1.



7.2 LFS Artic

Les autobus témoins de la STM et du RTL sont des articulés de 18 mètre à motorisation diesel. Ils sont tous de la même marque et modèle, soit des Nova Artic fabriqués par la firme québécoise Nova Bus, mais présentent tout de même quelques écarts de configuration.

Par exemple, les autobus de la STM sont équipés d'une boîte de vitesse automatique six vitesses de marque ZF alors que les autobus témoins du RTL sont équipés d'une boîte



automatique quatre vitesses de marque Voith. Le ratio d'engrenage du différentiel est différent pour ZF (6.2) et Voith (5.74). Cela est directement lié à la limite de vitesse maximale des deux configurations, 105km/h pour STM (ZF) et limité à 90 km/h pour RTL par le biais d'une programmation dans le contrôle du moteur (Voith). De plus, les autobus témoin de la STM sont équipés de la climatisation tandis que ceux du RTL ne le sont pas. Finalement, la

configuration intérieure des autobus témoins de la STM compte 45 sièges alors que celle du RTL en compte 56. Toutes les différences pertinentes entre les autobus témoins sont regroupées dans la section suivante.

La fiche du Nova LFS Artic apparaît à l'Annexe 2.

7.3 Différences entre l'autobus Citelis et les autobus témoins

Les différences pertinentes entre l'autobus Citelis et les autobus témoins de la STM et du RTL sont regroupées dans le tableau « Configuration des autobus de l'essai ». Outre la motorisation hybride, on note particulièrement des différences au niveau du moteur diesel, des systèmes d'air climatisé, de la fenestration, la suspension indépendante à l'avant, les pneus de dimensions inférieures, les dimensions des réservoirs de carburant et d'urée, la hauteur du seuil des portes et le nombre de sièges.

Des écarts significatifs sont aussi observés dans les dimensions hors-tout. Le Citelis est moins long et moins large que les autobus témoins. Une brève étude du poids des composants respectifs a permis de constater que malgré un ajout de poids de 238 kg

associé aux composants additionnels du système hybride BAE, les poids totaux des véhicules sont similaires. Cela peut s'expliquer partiellement par les dimensions réduites du Citelis.

La vitesse maximale de 70 km/h représente également un écart important par rapport aux autobus témoins de la STM (105 km/h) et ceux du RTL (90 km/h). La limitation à 70 km/h est due à la capacité maximale du moteur de traction électrique TB200 de BAE et à la configuration du train arrière. Cette limitation est réglementaire en Europe.

CONFIGURATION DES AUTOBUS DE L'ESSAI

	Autobus en essai	Autobus témoins STM (2)	Autobus témoin RTL (2)
Marque et modèle	Iveco Citelis Diesel-Électrique	Novabus Artic Diesel	Novabus Artic Diesel
Numéro d'identification	40 801	31 821 31 822	21054 & 21055
Moteur diesel	Iveco Tector F4A 5.9L 220 kW	Cummins ISL 8.9L 246 kW	Cummins ISL 8.9L 246 kW
Norme	EURO 5	EPA 2010	EPA 2010
Moteur électrique	BAE TB200 160kW	Aucun	Aucun
Stockage d'énergie électrique	A123 Lithium-Ion - 11 kWh	Aucun	Aucun
Transmission automatique	Aucune	ZF 6HP	Voith DIWA 864.5
Air climatisé	Sutrak AC136I (2)	Carrier RF353, RF313	Chauffage seulement
Compresseur A/C	Sutrak FK50	Carrier 0.5G	Aucun
Fenestration	Ouvrant supérieur 'tip-in'	Ouvrantes Verrouillées	Ouvrantes
Essieu avant	ZF RI 75 U indépendante	ZF RL 85 A rigide	ZF RL 85 A rigide
Essieu médian	ZF AVN-132 en jumelée	ZF AVN-132 en simple	ZF AVN-132 en simple
Essieu arrière	ZF AV132	ZF AV132	ZF AV132
Rapport d'engrenage	6.2	6.2	5.74
Pneus	275/70 R22.5	305/70 R22.5	305/70 R22.5
Réservoir diesel	340 L	535 L	535 L
Réservoir urée	80 L	38 L	38 L
Vitesse maximale	70 km/h	105 km/h	90 km/h
Hauteur du seuil porte avant	320 mm	370 mm	370 mm
Places assises	35	45	56

Section 8 ÉCHÉANCIER DE RÉALISATION

La première rencontre entre Irisbus-Iveco et AVT a eu lieu en octobre 2010, lors d'une visite des installations d'Irisbus-Iveco à Lyon. Les parties ont alors débuté les discussions devant mener à l'établissement d'une entente pour le prêt et l'essai de l'autobus articulé

hybride de série Citelis dans le contexte d'opération québécois. Une mission technique des représentants d'AVT et de la STM chez Irisbus-Iveco le 16 janvier 2012 a permis de finaliser les derniers détails de l'entente. Le 22 février 2012, l'entente contractuelle entre Irisbus-Iveco et AVT a été signée. Des ententes entre AVT et les sociétés participant aux essais (STM et RTL) ont également été signées.

Une fois les diverses ententes signées, le projet a suivi l'échéancier de réalisation suivant :

- Livraison de l'autobus à la STM : 21 mars 2012
- Adaptation, formation et essais du véhicule hors service : 21 mars au 7 mai 2012
- Essais en service clientèle à la STM : 7 mai au 17 août 2012
- Transfert de l'autobus au RTL : 31 août 2012
- Adaptation, formation et essais du véhicule hors service : 31 août au 24 septembre 2012
- Essais en service clientèle au RTL : 1^{er} octobre au 2 novembre 2012
- Remise de l'autobus à Irisbus-Iveco : 15 novembre 2012
- Retour de l'autobus en France : 15 novembre au 12 décembre 2012

Section 9 DÉROULEMENT DES ESSAIS

9.1 Sommaire des essais

Bien que le véhicule Citelis ait été présent au Québec durant près de 8 mois, les essais en service clientèle ont duré un peu plus de quatre mois. En effet, pour chacune des sociétés participantes, une période d'adaptation du véhicule, de formation des employés et d'essais hors service était requise.

Ces différentes périodes étaient déjà prévues au plan de projet. Toutefois, sur un total prévu de 96 jours d'essais en service, seulement 76 jours ont été réalisés, cela en raison de certaines difficultés rencontrées. La STM a notamment annulé 15 jours d'essais clientèle en raison de pannes ou incidents mécaniques et 4 jours en raison de jours fériés ou d'évènements. Par contre, le RTL n'a annulé qu'une seule journée d'essais en service.

Les essais étaient effectués du lundi au vendredi sur des circuits où circulent habituellement des autobus articulés. Les circuits de la STM étaient de type urbain. Par

contre, le circuit du RTL, de type interurbain, empruntait une voie réservée pour les autobus sur le pont Champlain, un circuit beaucoup plus rapide et plus exigeant pour l'autobus en raison des secousses occasionnées par les joints du pont. L'autobus Citelis était utilisé dans les opérations normales des sociétés avec la clientèle et l'utilisation de boîtes de perception. Les heures d'opération excluaient tout service de nuit.

SOMMAIRE DES ESSAIS

	DURÉE	DISTANCE	VITESSE MOYENNE	ACCÉLÉRATION MOYENNE	DÉCÉLÉRATION MOYENNE
STM 7 mai au 17 août 2012	52 jours	2 050 km	14.7 km/h	0.85 m/s ²	-0.68 m/s ²
RTL 1er octobre au 2 novembre 2012	24 jours	8 201 km	30.4 km/h	0.57 m/s ²	-0.47 m/s ²
Total	76 jours	10 251 km	25.1 km/h	0.68 m/s²	-0.55 m/s²

9.2 Difficultés rencontrées

Au cours de la réalisation du projet, certaines difficultés ont été rencontrées. D'abord, le processus d'importation et d'immatriculation du véhicule a été lourd étant donné que le Citelis n'était pas homologué au Canada (CMVSS). Conséquemment, le véhicule a dû être importé au Canada en vertu d'une autorisation spéciale permettant sa venue au pays pour une période maximale d'un an. Suite à ce délai, l'autobus devait obligatoirement être exporté hors du Canada ou détruit.

L'autorisation spéciale permettait d'utiliser le véhicule au Canada bien qu'il ne rencontre pas toutes les règles canadiennes. Toutefois, l'autobus devait minimalement rencontrer certaines règles, particulièrement au niveau de la sécurité du véhicule. Plusieurs organismes gouvernementaux devaient donner leur autorisation à l'importation et l'immatriculation du véhicule, dont Transport Canada, la Société d'assurance automobile du Québec (SAAQ), la Commission des transports du Québec (CTQ), etc. La SAAQ devait notamment procéder à l'inspection du véhicule avant de délivrer une autorisation spéciale permettant son immatriculation. Malgré la lourdeur du processus, la collaboration étroite

entre Irisbus-Iveco et AVT a permis de rencontrer toutes les obligations administratives requises.

D'autres difficultés ont été rencontrées au cours du projet au niveau de la procédure de remorquage. Contrairement à la situation en Europe, la loi québécoise ne permet pas qu'un autobus soit remorqué alors que le conducteur est toujours à son poste de conduite. Les mesures de sécurité du Citelis prévoyant l'application des freins en l'absence du chauffeur à son poste de conduite ont forcé l'adaptation de la procédure de remorquage. Des difficultés additionnelles ont dû être prises en considération au RTL, lesquelles sont abordées à la section 9.4.

Le système d'ouverture des portes a également été une source de difficultés. D'abord, comme la séquence d'ouverture des portes du Citelis par les chauffeurs est différente de celle à laquelle les chauffeurs québécois sont habitués, cela a entraîné une période d'adaptation. Puis, s'est ajoutée l'incompréhension de la clientèle de la STM sur la façon de demander l'appel d'ouverture des portes. En effet, sur le Citelis, le bouton d'appel pour l'ouverture des portes arrière se trouve sur une colonne avant la porte. L'autobus ne comprend pas de barre de préhension fixée à la porte qui permet d'en demander l'ouverture comme dans les autobus normalement utilisés par la STM et le RTL, ni de lumière au-dessus de la porte qui confirme la demande. Lors d'un arrêt, les clients se présentaient donc carrément devant la porte et cherchaient la façon d'en demander l'ouverture. Cette situation a causé des désagréments à la clientèle, des débarquements trop longs et un allongement du temps de circuit de l'autobus. Pour contrer cette situation, la STM a mis en place différentes mesures comme de mettre le Citelis à l'extérieur des périodes de pointe ou d'assurer la présence d'un chef d'opérations à l'intérieur du Citelis pour aider la clientèle. Après quatre semaines, la STM a réglé définitivement la situation en installant dans le Citelis les barres de préhension auxquelles la clientèle est habituée.

9.3 Bris, pannes et réparations



Durant la période d'essais à la STM, l'autobus Citelis a subi quelques pannes entraînant l'immobilisation de l'autobus. La plupart des pannes en service du Citelis ont été causées par des connexions défectueuses sur le module de batteries (ESS). Trois des quatre connecteurs 600V étaient fissurés, et cela possiblement depuis le

début des essais, ce qui provoquait des pertes de contact et, par le fait, même un arrêt complet du système.

Bien que le personnel de BAE se soit déplacé à la STM pour tenter de faire le diagnostic de la problématique, ils n'arrivaient pas à trouver la cause des pannes. Comme le problème était intermittent et que la perte de contact apparaissait lorsque le véhicule était en mouvement, la simple utilisation de l'outil de diagnostic sur le véhicule immobilisé ne permettait pas de solutionner le problème. Une intervention d'Irisbus-Iveco auprès de BAE a permis qu'une inspection complète du véhicule soit effectuée et que la cause des pannes soit trouvée. Malheureusement, ce problème n'a été diagnostiqué et réglé qu'un mois avant la fin des essais à la STM. Les câbles ont d'abord été resserrés pour permettre de terminer les essais à la STM, puis l'unité a été complètement changée avant son transfert au RTL. Pour sa part le RTL n'a connu aucun problème majeur.

De façon générale, et à l'exception des problèmes rencontrés avec le système BAE, les sociétés participantes ont constaté que l'autobus Citelis est un véhicule de bonne qualité sur lequel peu d'incidents mécaniques ont été constatés au cours des essais. Malheureusement, les problèmes du système BAE ont toutefois laissé une impression négative chez certains membres du personnel des sociétés ou chez certains clients touchés par les pannes.

Néanmoins, malgré les difficultés rencontrées à la STM et la diminution du nombre total de jours d'essais, il y a eu suffisamment de données récoltées pour dégager des résultats statistiquement représentatifs sur un ensemble de parcours variés

9.4 Contraintes particulières du parcours au RTL



Bien que le RTL n'ait pas rencontré de pannes du système BAE, les essais au RTL ont tout de même connu des contraintes. Le circuit du RTL était particulier puisqu'il utilisait une voie réservée traversant le pont Champlain réunissant le territoire de Longueuil et l'île de Montréal.

D'une part, la vitesse limitée à 70 km/h du Citelis était problématique sur ce circuit où, de façon générale, les véhicules circulent plus rapidement. Les chauffeurs du RTL ont jugé la

vitesse maximale de l'autobus un peu restreinte pour permettre une insertion facile dans la circulation sur le pont.

D'autre part, bien qu'elle ait été adaptée au contexte québécois par la STM, la procédure de remorquage de l'autobus Citelis était difficilement applicable lorsque l'autobus était sur le pont puisqu'elle nécessitait le remorquage de l'autobus par l'essieu avant. Sur le pont, en raison de l'espace réduit et de la circulation intense, les remorqueurs privés doivent agir très rapidement avec une marge manœuvre des plus réduites. Une barre de remorquage a donc dû être conçue par Irisbus-Iveco afin de soulever l'avant du véhicule. Dès que la barre de remorquage a été disponible, des essais ont été faits avec les deux compagnies de remorquage assignées au pont Champlain. Comme la barre de remorquage ne pouvait être laissée dans l'autobus, il a été convenu de fournir une barre de remorquage à chaque dépanneuse. Une procédure de remorquage a été établie par le RTL et fournie aux deux compagnies de remorquage afin d'encadrer les actions spécifiques reliées au remorquage de l'autobus Citelis. Cette procédure, difficile à élaborer, n'a heureusement pas été nécessaire.

9.5 Limitations imposées sur l'accès aux données

Irisbus-Iveco a donné à ses partenaires un accès total à l'ensemble de la documentation requise pour les essais. La transparence et la collaboration du manufacturier ont été exemplaires. Toutefois, malgré les demandes répétées d'Irisbus-Iveco, d'AVT et de la STM, l'accès aux données du système hybride de BAE n'a pas été accordé, ce qui a fortement limité l'analyse de sa performance.

De plus, il n'a pas été possible de pousser plus loin l'analyse comparative de la motorisation hybride du Citelis versus celle de l'autobus témoin de Nova Bus, car l'information requise n'était pas disponible de la part du fabricant de moteur Cummins.

Section 10 PERFORMANCE GÉNÉRALE

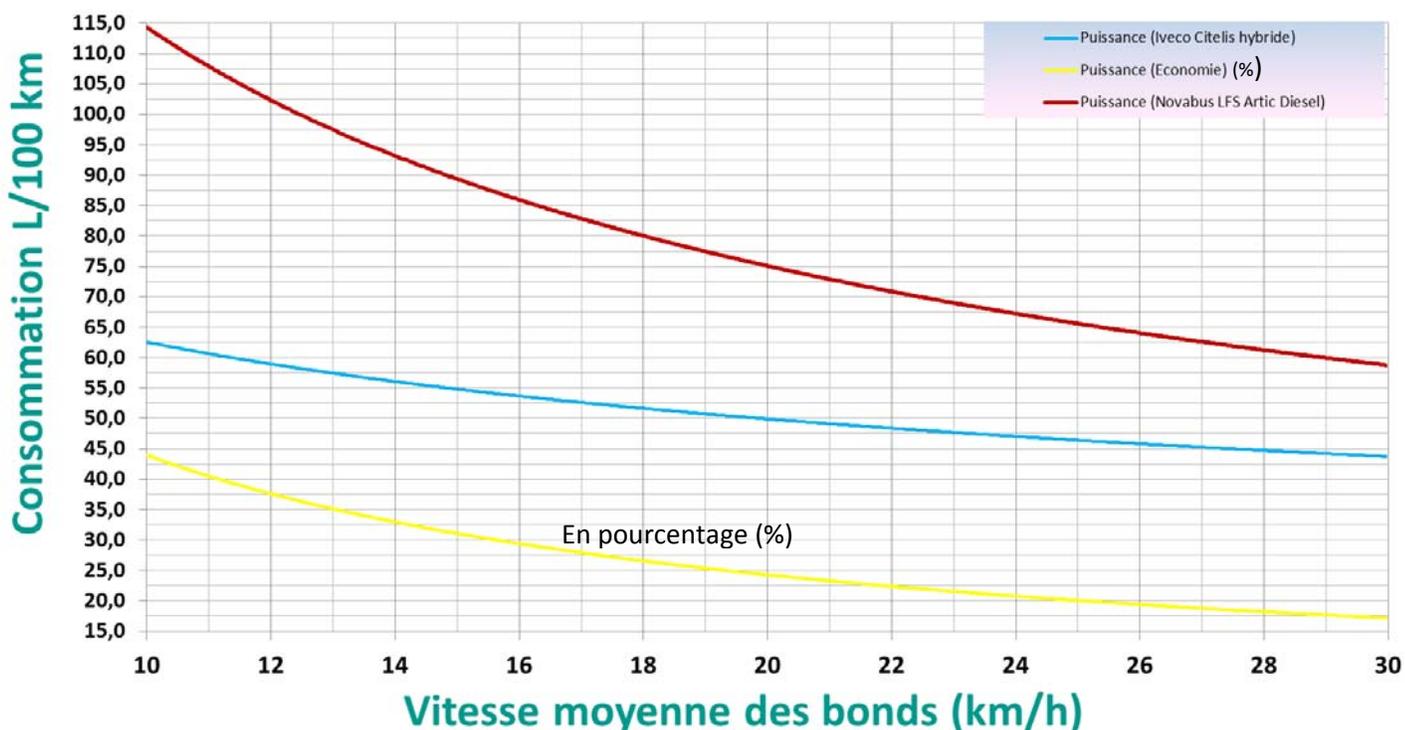
10.1 STM

Les essais à la STM se sont déroulés de mai à août 2012. Lors de cette période, le Citelis a parcouru 5 672 km sur neuf (9) différents trajets. La consommation moyenne de carburant durant cette période a été de 51 l/100 km, à une vitesse moyenne de 14,5 km/h, durant la période comparative de 2 050 km. Dans cette même période, les autobus témoins ont

consommés 82,5 l/100 km, ce qui représente une économie de 31,5 l/100 km, soit 37,5% en faveur du Citelis.

L'analyse de la consommation associée à la vitesse moyenne des bonds permet de tracer la courbe de consommation ci-dessous :

Comparaison de la consommation en carburant Iveco Citelis hybride vs Novabus LFS Artic diesel à la STM



La climatisation était en utilisation sur le Citelis de même que sur les autobus témoins lors de cette phase d'essai.

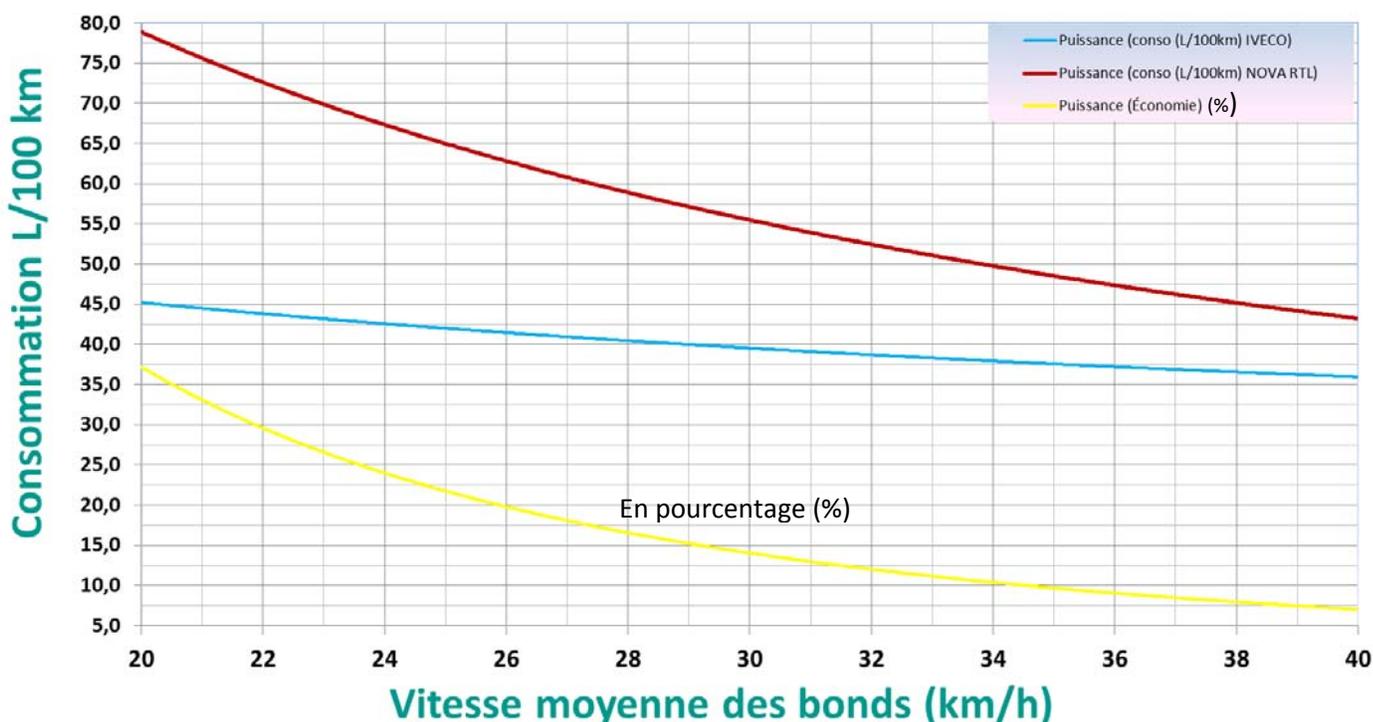
10.2 RTL

Les essais au RTL se sont déroulés de d'octobre à novembre 2012. Lors de cette période, le Citelis a parcouru 9 029 km sur un trajet unique. La consommation moyenne de carburant durant cette période a été de 32,9 l/ 100 km, à une vitesse moyenne de 31,5 km/h, durant la période comparative de 8 201 km. Dans cette même période, les autobus témoins ont

consommés 46,5 l / 100 km, ce qui représente une économie de 13.6 l / 100 km, soit 30,1% en faveur du Citelis.

L'analyse de la consommation associée à la vitesse moyenne des bords permet de tracer la courbe de consommation ci-dessous :

Comparaison de la consommation en carburant Iveco Citelis hybride vs Novabus LFS Artic diesel au RTL



Étant donné que cet essai au RTL s'est réalisé à l'automne, l'utilisation de la climatisation a été négligeable. Les autobus témoins du RTL ne sont pas équipés de la climatisation.

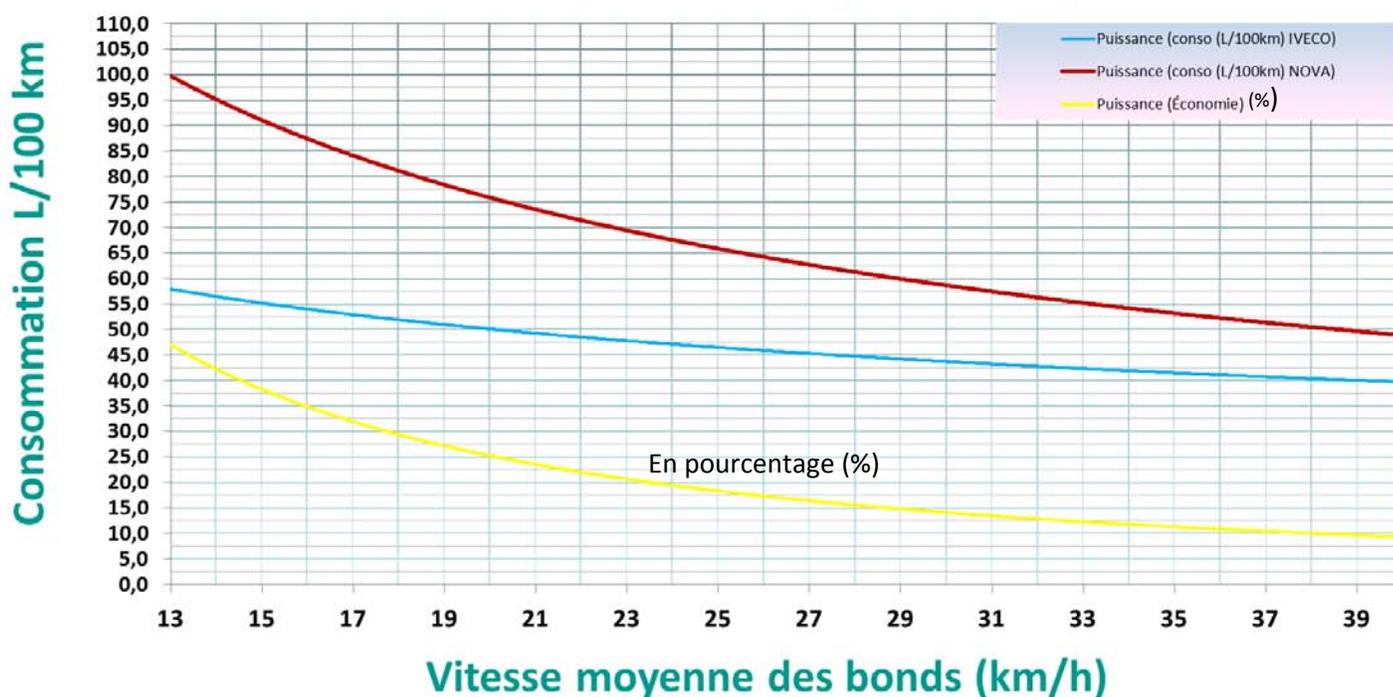
10.3 Combiné

Au total, le Citelis a parcouru 14 701 km de mars à novembre 2012. Durant cette période, le Citelis a parcouru 10 251 km jumelé aux autobus témoins. Sa consommation moyenne a été de 39,9 l/100 km, à une vitesse moyenne de 23,7 km/h. La consommation moyenne du Citelis pour cette période a été de 36,3 l/100 km, à une vitesse moyenne de 25,1 km/h.

Dans cette même période, les autobus témoins ont consommés 53,6 l / 100 km, ce qui représente une économie de 17.3 l / 100 km, soit 32,3 % en faveur du Citelis.

L'analyse de la consommation associée à la vitesse moyenne des bonds permet de tracer la courbe de consommation ci-dessous :

Comparaison de la consommation en carburant Iveco Citelis hybride vs Novabus LFS Artic diesel Été - Automne 2012 (STM + RTL)



10.4 Facteurs impactant les résultats

Hybridation

L'économie de carburant du Citelis par rapport aux autobus témoins durant la période commune est appréciable. Une économie de cette ampleur était particulièrement inattendue dans le contexte d'exploitation du RTL où la vitesse était plus élevée et le nombre d'arrêts réduit. Force est de constater que la régénération d'énergie du freinage est efficace. Ainsi, même lorsque le véhicule roule à vitesse constante (coasting) ou en

décélération modérée, une quantité d'énergie peut être récupérée par le système hybride. La courbe d'économie nous permet de constater que bien qu'elle diminue avec l'accroissement de la vitesse moyenne, elle demeure tout de même supérieure à 5 litres par 100 km pour une vitesse moyenne de 40 km/h. Dans les opérations des sociétés de transport du Québec, des vitesses moyennes supérieures à 40 km/h sont rarement atteintes.

Certains facteurs viennent influencer les données de consommation de carburant recueillies, mais leur impact réel est difficilement quantifiable avec les moyens à notre disposition.

Climatisation

La climatisation demeure le facteur le plus important à cet effet. On remarque une consommation additionnelle continue lors des périodes d'utilisation de cette dernière. Par contre, elle a été utilisée seulement durant la période estivale et cela a été le cas autant pour le Citelis que pour les autobus témoins de la STM qui en étaient équipés. Il n'y a eu pratiquement aucune utilisation de la climatisation lors du passage au RTL. On peut donc négliger son impact dans l'analyse comparative.

Courbes d'accélération

L'accélération moyenne du Citelis a été comparée à celle des autobus témoins des sociétés. Il en a résulté que la différence était somme toute négligeable du point de vue des conducteurs et de la clientèle. Cependant, on a observé lors de l'analyse que l'accélération du Citelis était légèrement plus agressive que celle des autobus témoins. Bien que non quantifiée dans le cadre de notre étude, l'équilibrage des courbes d'accélération aurait possiblement permis de réduire légèrement la consommation du Citelis.

Dimensions, poids et équipements

Tel que noté à la section 7, la configuration du Citelis présente des différences marquées avec les autobus témoins, notamment au niveau des « dimensions hors tout ». Le poids du Citelis est également différent de celui des autobus témoins. Néanmoins, malgré l'ajout du système hybride, le poids du Citelis n'a pas une différence très marquée avec les autobus témoins, ce qui est surprenant. Grâce à une intégration efficace de l'hybridation, le Citelis ne subit pas les impacts d'un poids accru par rapports aux autobus témoins.

Réglage de la vitesse maximale

Le Citelis a été conçu afin de respecter une vitesse maximale de 70 km/h pour être conforme à la réglementation en vigueur en Europe. Conséquemment, la limite de puissance du moteur de traction du système hybride de 160 kWh ne permet pas d'atteindre 105 km/h, tel que demandé par les sociétés de transport en commun québécoises dans leur parc actuel. Ainsi, les autobus témoins de la STM et du RTL étaient respectivement limités à 105 km/h et 90 km/h avec un moteur diesel de 220 kWh. Bien que non quantifiable, on peut présumer que les autobus témoins auraient eu un avantage marqué au niveau de l'économie de carburant et du poids s'ils avaient été comparés à des autobus articulés de configuration hybride permettant d'atteindre 105 km/h. Pour permettre d'atteindre une telle vitesse avec un autobus articulé hybride, l'autobus nécessiterait un moteur thermique ainsi que des composants hybrides surdimensionnés de puissance accrue avec un poids supérieur. Nous n'avons toutefois pas de données comparables pour des autobus articulés hybrides pouvant atteindre cette vitesse maximale.

Systèmes anti-pollution et normes applicables

Le Citelis étant un véhicule fabriqué en Europe, il est soumis à la réglementation de la CEE en ce qui concerne les systèmes requis pour l'anti-pollution. Ces systèmes ont une influence sur la consommation. Par exemple, la norme EURO V, en application au moment de la fabrication du Citelis, exige une limite très basse d'oxyde d'azote, ce qui requiert l'ajout d'un système de distribution d'urée. Les autobus témoins sont également équipés de ce type de système. Toutefois, dans leur cas, les autobus témoins sont soumis à la norme nord-américaine EPA 2010. Cette norme exige non seulement une limite pour les oxydes d'azote, mais aussi une limitation des particules émises dans l'atmosphère. Bien que la norme EURO V fixe aussi des normes en termes d'émissions de particules, elles sont différentes des normes américaines EPA. Les véhicules nord-américains sont équipés d'une trappe à particule qui consomme du carburant pour brûler les particules capturées dans ses filtres, ce qui contribue à une augmentation de la consommation des autobus qui en sont équipés. La norme EURO VI qui sera bientôt en application en Europe aura des règles plus près de celles de l'EPA 2010.

Facteur principal d'économie de carburant : L'hybridation

Suite à l'analyse des facteurs ayant eu un impact sur les résultats de consommation de carburant du Citelis, on constate que le facteur principal d'économie de carburant est l'hybridation. Dans une moindre mesure, l'intégration judicieuse du système hybride avec une limite de vitesse maximale à 70 km/h permettant de restreindre les impacts négatifs du poids des composants requis est également un facteur d'économie.

Section 11 ANALYSE DE LA PERFORMANCE

11.1 Utilisation du moteur thermique

Une des particularités fondamentales de l'hybridation en série du Citelis est l'utilisation exclusive de l'énergie électrique via le moteur de traction électrique afin de mouvoir l'autobus. Dans ce cas, le moteur thermique au diesel agit exclusivement en mode génératrice pour alimenter le système hybride et certains accessoires qui lui sont liés (compresseur à air, pompe hydraulique de direction, etc). Ce mode de fonctionnement est un changement de vocation majeur pour les moteurs de l'industrie de l'autobus qui sont normalement utilisés pour mouvoir le véhicule à différentes vitesses et sous différentes charges par l'entremise d'une boîte de vitesse.

L'analyse des paramètres de fonctionnement du moteur thermique durant l'essai a permis de constater comment l'agencement des régimes du moteur a été ajusté aux paramètres du système hybride. Ce travail a été effectué adéquatement puisque le système hybride commande le moteur Tector dans ses plages les plus efficaces. La compatibilité du moteur avec l'application hybride est un élément important à considérer afin d'optimiser la consommation de carburant.

Cette analyse a aussi permis de constater une utilisation fréquente du moteur thermique en régime ralenti sur l'autobus Citelis. Cette utilisation est liée aux accessoires directement couplés au moteur, tels le compresseur d'air climatisé, le compresseur d'air pour les systèmes pneumatiques, la pompe de liquide de refroidissement et autres. La consommation du moteur thermique en régime ralenti est beaucoup moins efficace que dans les régimes d'efficacité optimale. Il y aurait donc une économie potentielle à réduire ou éliminer l'utilisation du moteur thermique en régime ralenti.

D'autre part, l'histogramme de la puissance développée par le moteur thermique tout au long des essais a permis de constater que pour l'ensembles des trajets effectués, la demande se situe en dessous de la limite de 140 kW pour la majorité du temps. Cela laisse supposer qu'un moteur thermique de plus petite taille pourrait suffire à la tâche, si le paramètre de conception de la vitesse maximale de l'autobus était maintenu à 70 km/h.

Actuellement, il y a peu de moteurs thermiques disponibles en Amérique du Nord qui sont compatibles aux applications hybrides pour autobus urbain. Cela limite le potentiel d'amélioration de performance des systèmes hybrides.

11.2 Utilisation des batteries

Le système hybride du Citelis est composé d'un stockage d'énergie électrique de 11 kWh. Cette énergie est transmise au moteur de traction électrique pour mouvoir le véhicule. Lorsque le niveau d'énergie s'abaisse sous un certain seuil, le contrôleur hybride (« Battery Management System (BMS) ») fait appel au moteur thermique diesel pour l'alimenter en énergie. Idéalement, on s'attend à ce que le stockage d'énergie puisse utiliser plus de 50% de sa capacité d'énergie pour plus d'efficacité poids/énergie, mais ce n'est pas ce qui a été observé lors de l'analyse.

En effet, la majorité du temps, le stockage d'énergie ne varie que de 10 %, ce qui équivaut à un apport d'énergie de seulement 1,1 kWh. Cette variation limitée s'explique par les choix de conception du fabricant BAE. Ainsi, BAE a décidé de limiter le cyclage aux extrêmes afin d'atteindre l'objectif de vie utile de 6 ans minimum et d'autre part, de maintenir la température à l'intérieur de limites données afin d'éliminer les risques de défaillances.

La fonction « start & stop » est disponible sur le Citelis. Cette fonction se définit par la propulsion de l'autobus alors que le moteur thermique est éteint. Dans ce mode, l'énergie électrique du stockage hybride est utilisée pour mouvoir l'autobus et alimenter les accessoires. Lorsque le stockage d'énergie atteint sa limite basse, le moteur thermique démarre pour l'alimenter, ce qui signifie la fin du mode « start & stop ».

Lors de l'essai dans les sociétés, nous avons constaté que cette fonction ne pouvait être activée que très rarement et pour une période très réduite (<1 minute). Cela s'explique principalement par deux facteurs, soit le nombre élevé d'accessoires branchés directement

sur le moteur thermique (ex : climatisation, compresseur d'air, etc..) ainsi que la capacité et les limites imposées à l'utilisation du stockage d'énergie mentionnées précédemment.

11.3 Intégration technologique

Le choix du moteur thermique et son arrimage avec le système hybride sont des étapes cruciales dans le développement d'un autobus hybride. L'expérience avec le Citelis démontre qu'il est possible de faire une optimisation menant à des économies de carburant appréciables. Irisbus-Iveco a fait un travail important pour assurer que malgré l'ajout du système d'hybridation, le véhicule conserve un poids acceptable, ce qui a un impact direct sur la consommation de carburant. Irisbus-Iveco a également fait un effort notable pour que l'intégration du système hybride se fasse facilement sur la ligne de production. L'emplacement des composants a été judicieusement déterminé.



12.1 Opinion partagée par les chauffeurs de la STM et du RTL

Chacun des chauffeurs participant à l'essai a complété une fiche d'évaluation de l'autobus dans laquelle il devait indiquer son appréciation relativement à l'utilisation du Citelis. Les points évalués étaient regroupés sous deux grands thèmes, soit l'appréciation du poste de chauffeur et la conduite du véhicule. De façon générale, les chauffeurs de la STM et du RTL avaient des opinions semblables sur l'autobus Citelis.

Au niveau du poste de chauffeur, le système de chauffage et ventilation a été grandement apprécié, et ce, de façon unanime par tous les chauffeurs, autant pour son efficacité que pour son faible niveau de bruit. La performance des essuie-glaces a également été fortement notée par l'ensemble des chauffeurs qui ont apprécié l'adhérence, la couverture et la visibilité offerte par ceux-ci. Des commentaires positifs ont aussi été émis par la majorité des chauffeurs relativement à l'éclairage du poste chauffeur et du tableau de bord, à l'ajustement des rétroviseurs extérieurs et à la facilité de lecture des cadrans du tableau de bord. De plus, la plupart des chauffeurs ont soulevé que l'autobus Citelis leur permettait d'avoir un excellent champ de vision grâce à la fenestration (pare-brise, porte-avant et fenêtre chauffeur) et au rétroviseur droit. Finalement, plusieurs chauffeurs ont également mentionné avoir apprécié le faible niveau de bruit du Citelis.

Au titre des améliorations suggérées au niveau du poste de chauffeur, l'augmentation de l'espace de rangement pour le chauffeur et le changement de la position de la boîte de perception pour l'approcher du chauffeur ont été soulevés. Les chauffeurs qui ont l'habitude d'utiliser une commande de clignotant au pied plutôt qu'au volant, comme sur le Citelis, ont également mentionné qu'ils préféreraient avoir les mains libres en ayant la commande au pied.

Au niveau de la conduite du véhicule, unanimement, les chauffeurs ont apprécié la manœuvre du Citelis. Son efficacité lors des virages, sa stabilité en ligne droite et la facilité de la marche arrière ont été soulevés. Plusieurs chauffeurs ont apprécié l'efficacité des freins en descendant une pente et lors de l'immobilisation du véhicule dans une pente. L'accélération en douceur et le bon comportement du véhicule sur la route ont également été fréquemment mentionnés. Plusieurs chauffeurs ont toutefois suggéré l'amélioration de la procédure d'ouverture et de fermeture des portes, qui par le nombre de boutons à

manipuler était, selon eux, trop complexe. La fluidité dans les déplacements de la clientèle pourrait aussi être bonifiée selon l'expérience de certains chauffeurs avec le Citelis.

12.2 Particularités à la STM

Au cours des essais, onze chauffeurs de la STM ont eu l'opportunité de conduire en service clientèle l'autobus Citelis. La taille, le poids, le sexe et l'expérience des chauffeurs étaient variés et représentaient bien la diversité des chauffeurs à la STM. De façon générale, les chauffeurs de la STM ont apprécié le Citelis et lui ont accordé une note de satisfaction globale de 3 sur 4.

En raison de la diversité des chauffeurs, les commentaires sur certains aspects de l'autobus étaient nuancés. C'est le cas des commentaires quant à la position du rétroviseur gauche. Sur l'autobus Citelis, contrairement aux autobus possédés par la STM, le rétroviseur extérieur gauche est placé en haut. Cette position prévient les risques d'accident avec les piétons, mais ne faisait pas l'unanimité auprès des chauffeurs. En effet, les chauffeurs de petite taille ont apprécié ce positionnement du rétroviseur et considèrent que cela améliorerait leur champ de vision. À l'inverse, les chauffeurs de grande taille ne l'appréciaient pas et trouvaient qu'il nuisait à leur vision.



L'avis des chauffeurs est également nuancé sur la satisfaction quant au siège du chauffeur. Leur niveau de satisfaction variait pour tous les aspects notés que ce soit sur l'appréciation de l'ajustement du siège avant/arrière, l'inclinaison du dossier, l'appui-tête, la ceinture de sécurité, la manipulation des boutons d'ajustement ou le confort général. Il ne semble pas y avoir de consensus sur l'ensemble des aspects recherchés pour un siège chauffeur

« idéal ». Un seul consensus se dessine quant à l'ajustement du siège de haut en bas qui, selon les chauffeurs de la STM, pourraient être amélioré. Selon eux, même la position la plus basse du siège demeure trop haute et le problème est particulièrement criant pour les chauffeurs de petite taille.

Le confort octroyé par la suspension, tant à l'avant qu'à l'arrière, n'a pas fait l'unanimité, certains trouvant qu'elle était trop dure surtout à l'arrière, d'autres la trouvant acceptable. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, l'utilisation d'une suspension indépendante à l'avant ne semble pas constituer une amélioration notable pour les chauffeurs. L'option permettant l'usage manuel du ralentisseur a aussi donné place à des commentaires opposés. Plusieurs ont adoré cette option et trouvaient que le ralentisseur permettait de faire des arrêts en douceur, alors que d'autres trouvaient que cela venaient interférer dans leur conduite.

12.3 Particularités au RTL

Au RTL, neuf chauffeurs qui ont conduit l'autobus Citelis ont rempli une fiche d'évaluation. De façon générale, les chauffeurs du RTL ont apprécié participer à l'essai. Toutefois, certains aspects de l'autobus ont rendu l'utilisation du Citelis plus difficile sur le circuit du RTL. La limitation de vitesse à 70 km/h a notamment été une source de problème au RTL qui possède un circuit suburbain où les vitesses atteignent fréquemment 80 km/h. Ce commentaire a été soulevé par l'ensemble des chauffeurs qui considèrent qu'il s'agit de la principale piste d'amélioration à considérer.

Les chauffeurs du RTL avaient également un avis très tranché sur le siège chauffeur. Alors que les avis des chauffeurs de la STM étaient partagés sur le sujet, unanimement, les chauffeurs du RTL ont été insatisfaits du siège. Le manque de confort du siège et son montage sur podium rendant le positionnement difficile ont été les principaux irritants pour eux.

Les commentaires des chauffeurs du RTL divergeaient également de ceux de leurs collègues de la STM sur le positionnement du rétroviseur de gauche qui est plus haut que sur les autobus normalement conduits au RTL. Contrairement à leurs collègues de la STM, les chauffeurs du RTL ont apprécié le positionnement du rétroviseur de gauche.

Section 13 APPRÉCIATION DU PERSONNEL D'ENTRETIEN ET D'INGÉNIERIE

Le personnel d'entretien et d'ingénierie de la STM et du RTL a été sollicité pour donner son appréciation et ses commentaires sur l'autobus Citelis et plus particulièrement sur sa maintenance, la conception du véhicule en regard des activités d'entretien, son lavage, son ravitaillement et la conduite du véhicule dans les garages.

13.1 Points appréciés



De façon générale, le personnel des sociétés a considéré que les activités de maintenance de l'autobus Citelis se faisaient sans trop de problème. L'accessibilité du moteur thermique et électrique ainsi que celle des batteries 24V ont été appréciée. L'accès aux trois essieux a également été jugé très bien. L'outil de diagnostic et de programmation « E.A.S.Y » a été unanimement apprécié, particulièrement par le personnel de la STM, qui l'a trouvé facile

à utiliser et complet. La connexion « Blue Tooth » a ravi les utilisateurs.

La facilité des activités de nettoyage a également été appréciée. La largeur des portes aidait au lavage du plancher et les matériaux utilisés à l'intérieur du véhicule facilitaient son nettoyage.

Finalement, la conduite du véhicule dans les garages a été grandement appréciée. Le personnel a trouvé le véhicule facile à manœuvrer et a apprécié que l'essieu central n'ait pas tendance à dérapier lorsque le véhicule est sur une surface glissante, comme à la sortie du laveur d'autobus.

13.2 Suggestions d'amélioration

Les difficultés rencontrées avec les connecteurs du module de batteries du système hybride ont laissé le personnel des sociétés, et plus particulièrement celui de la STM, soucieux. Ils recommandent conséquemment d'apporter une attention particulière aux connecteurs et au câble haut voltage. L'amélioration du pare-choc arrière a également été soulignée pour éviter le risque de dommages importants au compartiment moteur en cas d'accident.

Le personnel des sociétés recommande également d'améliorer l'accessibilité des réservoirs de carburant et d'urée qui ont causés certains problèmes. De façon générale, le ravitaillement du véhicule a été difficile. Nonobstant le fait que le ravitaillement en carburant du Citelis se fait du côté inverse de tous les autres autobus de la STM et du RTL, le personnel a trouvé l'accessibilité aux différents panneaux et goulots difficile. D'une part, le panneau moteur était lourd et d'autre part, les goulots de carburant étaient trop hauts. Ces points pourraient faire l'objet d'amélioration selon le personnel des sociétés.

Le personnel des sociétés a aussi conclu que l'entretien des radiateurs sur le toit et l'accessibilité des batteries du système hybride risquaient d'être difficiles en raison de l'absence de « plate-forme » sur le toit qui permettrait à un employé de se tenir debout pour accéder aux équipements.

Au niveau des améliorations requises pour permettre au véhicule d'affronter les rigueurs de l'hiver québécois, d'une part, les employés d'entretien du RTL suggèrent d'améliorer la disposition des compartiments et des équipements sur le toit entre l'articulation et le refroidisseur BAE pour éviter les problèmes causés par l'accumulation de glace dans la cheminée de la toile d'articulation. D'autre part, plusieurs ont aussi souligné la nécessité d'améliorer la protection du moteur électrique contre les intempéries pour supporter les hivers québécois. De plus, bien que le Citelis bénéficie d'une protection antirouille, des doutes ont été soulevés quant à sa performance face aux rigueurs de nos conditions climatiques.

Finalement, les mécaniciens ont noté la densité élevée des composantes dans le compartiment moteur.

Section 14 APPRÉCIATION DE LA CLIENTÈLE

Un sondage a été effectué par divers moyens auprès de la clientèle, notamment à l'aide de commis-enquêteurs à bord du Citelis, pour mesurer leur appréciation selon différents critères comme le niveau sonore, le confort de roulement, l'aménagement intérieur (circulation, visibilité confort des sièges...).

De façon générale, 93% de la clientèle sondée a apprécié le Citelis. Les aspects les plus appréciés sont les suivants :

- 97% se sentent en sécurité à l'intérieur de ce bus
- 95% apprécient le niveau de confort lors de l'accélération
- 94% sont satisfaits du niveau de confort lors de la décélération
- 92% considèrent satisfaisante la température ambiante
- 86% disent pouvoir circuler facilement à l'intérieur de ce bus
- 79% apprécient l'éclairage ambiant
- 77% apprécient le type de fenêtre
- 76% apprécient la hauteur des sièges

Les aspects les moins appréciés du véhicule se situent au niveau des sièges, c'est-à-dire :

- 37% apprécient moins l'espacement entre les sièges
- 43% n'apprécient pas la disposition des sièges.

La clientèle du RTL ont jugé plus sévèrement l'espacement et la disposition des sièges de l'autobus Citelis. Cela s'explique probablement par le fait que le circuit sur lequel circulait le Citelis au RTL est un circuit de plus longue durée. La clientèle souhaite conséquemment être assise durant le trajet. La disposition des sièges du Citelis fait en sorte qu'il y a moins de places assises, ce qui était moins apprécié de la part des clients du RTL.

Section 15 CONFORMITÉ AUX DEVIS D'ACQUISITION ACTUELS

Une étude a été réalisée afin de comparer le Citelis aux exigences du devis d'acquisition d'autobus des sociétés de transport en commun du Québec. Les sociétés n'ayant jamais acheté d'autobus articulés hybride dans le passé, l'autobus a été comparé au devis

d'acquisition d'autobus de 12 mètres hybrides qui a servi à l'appel d'offre le plus récent (2011).

D'emblée, la comparaison s'avère difficile à effectuer dans les délais alloués car il est impossible d'évaluer l'équivalence des composants inconnus à si court terme. Il est toutefois possible de noter les évidences.

Le premier critère est la composition de la structure et sa protection contre la corrosion. Les exigences des sociétés québécoises sont plus élevées qu'ailleurs dans le monde car on y retrouve des conditions propices à la corrosion, soit des températures hivernales variables, des chutes de neige fréquentes ainsi que l'utilisation abondantes de fondants et d'abrasifs sur les routes. Ces derniers attaquent la couche protectrice des métaux et favorisent la propagation rapide de la corrosion aux endroits vulnérables. Tout comme la structure, actuellement, la protection des composants et des câblages situés sous le Citelis testé ne rencontrent pas les requis des sociétés de transport québécoises. Comme le Citelis testé ne comportait pas l'option « d'hivernisation », nous ignorons si un autobus conçu par Irisbus- Iveco pour circuler dans un climat nordique adresse ces problèmes.

Le Citelis a été conçu et construit selon les normes en vigueur dans la CEE. On retrouve donc certaines déviations par rapport aux normes canadiennes (Loi et Règlement canadien sur la sécurité des véhicules automobiles NSVAC). De plus, la loi canadienne sur l'environnement, basée sur les normes de l'agence américaine de la protection de l'environnement EPA, exige la certification du moteur thermique au diesel. Tel que mentionné à la section 10, le Citelis répond plutôt à la norme EURO V en vigueur dans la CEE.

Les dimensions plus courtes du Citelis ne correspondent pas aux exigences actuelles. La largeur minimale demandée par les sociétés québécoises a pour objectif de maximiser l'espace de circulation intérieure. Cependant, ces dimensions réduites procurent un avantage marqué au niveau de la manœuvrabilité avec des rayons de braquages améliorés.

Alors que les sociétés préconisent la localisation de la rampe d'accès des fauteuils roulant à la porte avant, le Citelis a une rampe d'accès à la porte centrale. Toutefois une proportion importante du parc d'autobus de 12 mètres est encore munie de la rampe à la porte arrière.

L'enjeu majeur au niveau de la performance globale se situe au niveau de la vitesse maximale. Plusieurs sociétés québécoises exigent une vitesse maximale de 105 km/h. Tel que mentionné précédemment, la conception du Citelis ne permet pas une vitesse plus élevée que 70 km/h. Ce choix a été fait en raison de la réglementation en vigueur en Europe.

Le concept du poste de conduite est totalement différent de ce qui est exigé par les sociétés québécoises. Par exemple, une pédale de commande d'avertisseurs clignotants est requise au plancher.

Il est évident que le Citelis n'a pas été conçu et fabriqué en fonction des exigences du devis technique des sociétés de transport en commun du Québec. Néanmoins, d'une part, plusieurs points notés peuvent être adressés au moment de la conception du véhicule. D'autre part, une étude plus poussée pourrait également permettre de déterminer si certains composants ou sous-systèmes du Citelis peuvent être déterminés équivalents au requis. Finalement, bien que certains points requis par les sociétés québécoises dans leur devis sont immuables et doivent nécessairement être respectés, d'autres points sont plus évolutifs et pourraient éventuellement faire l'objet d'une plus grande ouverture, tout en s'assurant que cela répond aux besoins des sociétés québécoises.

Section 16 ÉVOLUTION DE LA MOTORISATION HYBRIDE

L'essai du Citelis a permis de nous familiariser avec les paramètres de fonctionnement du système hybride de BAE. Il a aussi permis de constater les avenues d'amélioration potentielle dans le contexte d'exploitation des sociétés de transport en commun du Québec.

La première avenue serait une utilisation accrue du stockage d'énergie. Pour des raisons commerciales, celui-ci est présentement limité à 10%. Il serait intéressant de pouvoir évaluer les possibilités d'utilisation dans les températures moyennes plus froide du Québec.

Ensuite, une optimisation de l'utilisation du stockage d'énergie basée sur les paramètres des circuits d'autobus permettrait d'augmenter l'économie de carburant. Par exemple,

lorsqu'une pente prononcée est imminente, on vide le stockage d'énergie et inversement, on le maximise en prévision d'une montée.

Une autre avenue est l'électrification des accessoires entraînés par le moteur thermique par voie d'engrenage ou de poulie. Ces accessoires obligent l'utilisation du moteur thermique au régime ralenti. Tel que vu précédemment, les moteurs thermiques sont moins efficaces en régime ralenti. Il y aurait donc un gain intéressant à remplacer les plages d'utilisation en régime ralenti par des plages plus économiques. Cela peut être accompli en développant des accessoires qui sont alimentés par le stockage d'énergie. Cette solution pourrait aussi permettre d'augmenter la fréquence et la durée maximale de la fonction « Start & Stop » (mouvement du véhicule avec moteur thermique à l'arrêt).

En combinant les solutions précédentes à plus long terme, une évolution vers une hybridation plus « forte » devrait être envisagée. Une économie plus importante sera obtenue en remplaçant le moteur thermique par une génératrice compacte moins énergivore et en augmentant la capacité et l'utilisation du stockage d'énergie.

Section 17 CONCLUSIONS

L'évaluation comparative de l'autobus articulé Citelis d'Irisbus-Iveco avec les autobus articulés diesel Nova Artic a permis de constater l'efficacité de la motorisation hybride de série du Citelis. L'analyse de la consommation moyenne de carburant en situation de service sur les réseaux de la STM et du RTL a démontré une économie de 32,3% en faveur de la motorisation hybride de série. Les meilleurs résultats d'économie de carburant ont été enregistrés sur les circuits de la STM où il y a de nombreux arrêts/départs. Une économie de 37.5% a alors été enregistrée en faveur du Citelis. Bien que moins importants que les résultats de la STM, les résultats d'économie de carburant de 30.1 % sur le circuit plus rapide du RTL ont tout de même été au-delà des attentes des participants.

Plusieurs facteurs ont été considérés pour tenter d'expliquer l'excellente performance énergétique du Citelis. La qualité de l'intégration technologique de la motorisation hybride par Irisbus-Iveco s'est avéré le facteur le plus significatif. Cette intégration a été réalisée en gardant l'objectif d'obtenir une économie maximale de carburant tout en assurant une durée de vie optimale des batteries. Pour ce faire, le moteur Tector du Citelis est très majoritairement utilisé dans sa plage d'efficacité optimale afin de régénérer les batteries,

ce qui permet de réduire la consommation de carburant. De plus, l'intégration de la motorisation hybride de série s'est faite sans ajout important de poids.

Néanmoins, en raison de la technologie de batterie utilisée et pour s'assurer d'atteindre l'objectif de vie utile desdites batteries, le niveau de sollicitation des batteries est très limité. Le climat plus froid du Québec serait possiblement propice pour une utilisation plus intensive de la batterie afin d'économiser davantage de carburant. Les données recueillies permettent aussi de constater qu'il y aurait également une économie potentielle à réduire ou éliminer l'utilisation du moteur thermique en régime ralenti, en utilisant encore une fois plus intensivement les batteries.

L'essai en service de l'autobus Citelis sur les circuits de la STM et du RTL a permis aux sociétés québécoises et à Irisbus-Iveco de constater que lors de l'ouverture des marchés publics entre le Canada et l'Europe, la firme Irisbus-Iveco pourrait, si elle le souhaite, participer aux appels d'offres des sociétés québécoises pour l'acquisition d'autobus urbains. Avec certaines modifications, le Citelis pourrait répondre aux besoins des sociétés de transport en commun québécoises. Le comportement du véhicule dans des conditions hivernales devrait toutefois fait l'objet de validations additionnelles.

À l'exception des pannes causées par les connexions défectueuses sur le module de batteries (ESS), le Citelis s'est bien comporté dans des conditions d'opérations québécoises.

Le projet a également permis de conforter les sociétés de transport en commun québécoises dans le virage qu'elles ont entrepris vers l'électrification de leur parc, dont la première étape consiste à acquérir des autobus avec une motorisation hybride de série. Les circuits comportant de nombreux arrêts/départs demeurent ceux où les autobus hybrides performant le mieux. Toutefois, avec un autobus ayant une bonne intégration technologique comme le Citelis, même des circuits plus rapides peuvent être intéressants pour un autobus avec une motorisation hybride de série.

Quant à Irisbus-Iveco, ils ont indiqué avoir aujourd'hui une meilleure connaissance des conditions d'opération nord-américaines et des requis techniques des sociétés de transport québécoises.

Section 18 REMERCIEMENTS

AVT, la STM et le RTL souhaite remercier Irisbus-Iveco pour l'opportunité unique qui leur a été offerte de faire l'essai pour une période aussi longue d'un des fleurons de sa nouvelle gamme de produits. Les ressources consenties et les efforts déployés par Irisbus-Iveco et son équipe de projet ont suscité le respect de tous les participants au projet. L'appui de la direction d'Irisbus-Iveco a été inconditionnel afin de dégager toutes les ressources nécessaires à la réalisation du projet.

AVT souhaite également remercier la direction et le personnel de la STM et du RTL pour leur implication et son engagement exemplaire au projet. L'appui de la direction, la coordination serrée du projet et l'excellente collaboration de tous les intervenants ont permis le succès du projet. La mise en place d'un tel projet a un degré de difficulté élevé. Il n'est pas facile d'insérer en service en clientèle un autobus européen et d'y appairer des véhicules témoins. L'ensemble des secteurs d'activités des deux sociétés ont été impliqués, que ce soit le service d'exploitation, l'ingénierie, l'entretien, les chauffeurs, la coordination de projet et l'ensemble de la chaîne de soutien nécessaire à la réussite du projet (marketing, service à la clientèle...).

Une mention spéciale doit être accordée à la STM qui comme premier participant au projet a eu un travail additionnel d'intégration du véhicule. Le RTL a eu la chance de bénéficier de leur expérience et expertise lorsqu'ils ont reçu le véhicule. Pour assurer le succès du projet, la STM a déployé une très bonne stratégie d'implication et de reconnaissance de son personnel et a pu compter sur des employés engagés. AVT tient à les remercier.

