

Etude du Citadis 402

Torre Delphine, L2 Génie Mécanique, delphine.torre@gmail.com

Steffanus Paul, L2 Génie Electrique, blindj@free.fr

Dedieu Sylvain, L2 Physique Géoscience, matt038@live.fr

Abstract:

Our article is based about the Alstom Citadis 402, the actual driving tramway in Grenoble.

We wanted to know if during the conception and the building process, the tramway had some "eco parts" in the specifications.

In the first place, we must learn some information about what's exactly "eco-conception" and after that we were able to compare the old one (TFS) and the new one (CITADIS) and eventually seen if the CITADIS 402 is more "green" than his predecessor and know if Alstom's point of view about ecological problem etc..

Mots clefs: *Citadis 402, TFS, éco-conception, environnement, opinion publique.*

Introduction :

Notre sujet d'étude pour ce projet concerne le tramway de Grenoble, le Citadis 402, et aborde le thème de l'éco-conception. En d'autres termes nous nous sommes demandé si le Citadis 402 avait fait l'office d'une recherche écologique dans sa conception, notamment au niveau des matériaux, et du moteur, étude de fin de vie... Pour réaliser cette étude nous avons fait appel aux différentes parties prenantes de cette technologie, c'est à dire les différents corps d'ingénieries, le chef de projet, le client (la Métro), ou encore les utilisateurs (l'aspect écologique du tramway leur tient t'il à coeur ?...).

La problématique de cette étude est donc de se demander si un produit dit "écologique", "bon pour l'environnement" l'est vraiment dès le début de son cycle de production jusqu' à sa fin de vie (matériaux recyclables par exemple?...).

Pour ce faire nous avons divisé notre étude en trois parties majeures :

1/ En quoi consiste le concept de l'éco-conception ?

Exposition des principes de l'éco-conception, qu'est ce que l'éco-conception ?

Qu'est ce que cela implique ?

2/ Le concurrent: Bombardier

Comparaison avec une autre entreprise: Bombardier. Avec sa nouvelle politique

environnementale et son tramway concurrent direct du Citadis 420 d'Alstom.

3/ Le Citadis 402 : un produit "propre" mais entièrement ?

Etude détaillée des matériaux, du moteur... du Citadis 402 (comparaison avec l'ancien tramway TFS).

Exposition de notre sondage auprès des utilisateurs.

Exposition de nos rencontres avec les autres parties prenantes...

4/Conclusion du projet

Méthodologie:

Pour aborder ce sujet, nous nous sommes tout d'abord intéressés au principe de l'éco-conception, à l'aide du cours mais aussi à l'aide de recherches personnelles.

Le sujet que nous avons choisi s'est avéré être un sujet complexe notamment pour la recherche de sources d'informations. Malgré nos effort nous n'avons pu entrer en contact direct avec les parties prenantes du projet tels que des ingénieurs en Génie Mécanique, ou en Génie électrique, ayant participé au projet du Citadis 402. Ou encore avec le client, c'est à dire la Ville de Grenoble.

Nous avons donc basé notre rapport sur nos recherches personnelles, faites la plupart du temps sur internet, mais aussi sur l'analyse des données que nous avons pu récupérer auprès des utilisateurs de cette technologie.

1/ En quoi consiste le concept de l'éco-conception?

L'éco-conception est le thème principal de notre projet, mais en quoi cela consiste t'il ?

1.1 Définition

Selon les normes ISO : c'est intégrer les paramètres environnementaux sur le cycle de vie, d'un nouveau produit lors de la conception .[2] Globalement cela consiste à intégrer "l'écologie d'un produit" dès le début de son cycle de vie (donc dans sa conception), mais aussi par le choix de certains matériaux (qui se recyclent plus facilement, ou par l'utilisation de matériaux recyclés...), tout en respectant les normes (européennes) imposées.[cours][3]

Historiquement, l'éco-conception fait ses débuts vers les années 1990, s'appliquant en premier lieu aux domaines de l'automobile, de l'emballage et de l'électronique. Ce n'est qu'à partir des années 2000 que l'on a intégré des secteurs comme le textile, les transports en communs (trains...) etc.

1.2 Principes

L'éco-conception se base avant tout sur le cycle de vie du produit, c'est là le coeur de cette démarche. Le cycle de vie prend en compte les différents aspects environnementaux liés à la conception-fabrication-distribution du produit (on effectue une recherche multi-critères). Ceci depuis l'extraction de matière première (ou utilisation de matériaux recyclés) en passant par le transport et l'utilisation du produit, jusqu'à sa fin de vie. Il s'agit d'éviter au maximum les déchets dits ultimes...[1][2][3][cours]



Figure 1 : cycle de vie d'un produit

1.3 Méthodologie et stratégie

Pour pouvoir appliquer ce principe d'éco-conception, il existe divers outils dans tous les domaines qui s'appliquent à ce concept : tout d'abord des logiciels pour effectuer une Analyse du Cycle de Vie (ACV) comme SimaPro par exemple, des logiciels de CAO (conception assistée par ordinateur) spécialisés dans ce domaine tel que EIME... Mais également des cahiers des charges fournis par les clients, des données comptables... [2]

Mais pourquoi faire de l'éco-conception ? Car cela implique malgré tout un certain coût ! Les entreprises intégrant le domaine de l'éco-conception le font pour plusieurs facteurs. Des facteurs externes à l'entreprise comme une pression sociétale impliquant l'image de l'entreprise (exemple : Greenpeace qui publie un baromètre écologique sur les industriels...), une pression au niveau de la clientèle (demande), ou encore une réglementation de plus en plus sévère... Et des facteurs internes à l'entreprise comme : un argument de vente, une amélioration de la qualité des produits, une certaine baisse des coûts (qui vient après investissement dans les technologies de ce domaine), mais aussi (pourquoi pas ?) des subventions de l'Etat (qui réduisent alors les taxes de l'entreprise) et également un moyen de motiver les personnels... [2] [cours]

Cependant la stratégie de l'éco-conception de s'arrête pas à des motifs pûrement "financiers", elle implique également le choix de matériaux peu impactant, ou renouvelables, une amélioration des procédés de fabrication, une prévention de la pollution, un désassemblage du produit facilité (afin que certaines pièces puissent être recyclé par exemple...).[cours]

1.4 Fin de vie d'un produit

C'est l'une des étapes les plus importantes dans le cycle de vie d'un produit, notamment quand il s'agit d'éco-conception... Mais en quoi cela consiste t'il ?

La fin de vie consiste à la réduction à la source du produit, à améliorer sa recyclabilité...

Pour illustrer cet aspect du cycle de vie d'un produit, un exemple sur le fin de vie d'un produit DEEE (produit type PC, portables...):

Première étape : extraire tout les polluants du produit (dans notre cas la batterie, LCD, carte...).

Deuxième étape : recyclage de toutes les parties recyclables (dans notre cas les capots des téléphones...). On identifie deux types de plastiques les plastiques dits "ABS" et ceux dits "PC ABS"

=> Ces deux étapes constituent 73% de la valorisation du produit en fin de vie.

Troisième étape: la mise en décharge de tout les autres éléments non recyclables (ici LCD, les touches...).[cours]

1.5 Conclusion

L'éco-conception est un moyen innovant et ayant fait ses preuves, il permet d'appliquer des principes proches de ceux du développement durable, afin de diminuer la production de déchets ultimes (déchets polluants ou dangereux n'étant plus à même d'être réduits d'avantage) et de valoriser la fin de vie de chaque produit éco-conçu.

Pour finir quelques exemples de bon candidats à l'éco-conception :

-> Renault: avec la Renault Modus, qui contient 23 kg de plastique recyclé sur son poids total d'une tonne (soit 10% du poids total). [cours][3]

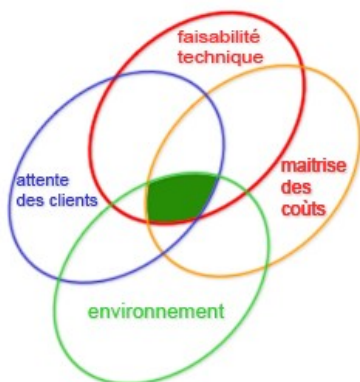


Figure 2 : Schéma global du principe de l'éco-conception

2/ Le concurrent: Bombardier

Alstom tout comme son concurrent Bombardier avance le facteur écologie au premier plan dans ses critères marketing. En effet cet aspect est devenu incontournable

pour bien vendre le produit.

Les tramways nouvelles générations (dont fait partie le Citadis) sont optimisés pour se « fondre » dans le décor et ne pas dénaturer le patrimoine alentour. Les perspectives d'Alstom sont basées sur le développement d'alimentation par rail et non plus par caténaires réduisant ainsi les aménagements ferroviaires.

Un autre axe de travail des ingénieurs de l'entreprise est d'optimiser la récolte d'énergie lors du freinage (projet HESOP).[10]

Bombardier a quand à lui, nommé sa nouvelle technologie en terme d'économie d'énergie, ECO 4.[9]

La politique de ce projet étant d'économiser 50% de l'énergie normalement dépensée, et ce sur quatre axes:

- optimiser l'utilisation de l'énergie en diminuant les pertes;
- minimiser les émissions de CO₂;
- accroître la valeur économique;
- améliorer la performance totale des trains.

A ces fins, de nouveaux bogies ont été pensés, un moteur à aimant permanent a été conçu et l'on retrouve ici aussi l'idée de suppression de la caténaire.

Un tramway réunissant toutes ces nouvelles technologies va donc voir le jour, Le BOMBARDIER FLEXITY 2. [8]



La ville de Grenoble a fait le choix Alstom, possédant déjà des appareils TFS de la même compagnie. Elle a ainsi choisi lors de la sortie du Citadis 402 (en 2005), de reprendre de nouveaux appareils supplémentaires au moment de l'ouverture de la nouvelle ligne C.[6]

3/ Le Citadis 402 : Un produit "propre" mais entièrement ?

3.1 Les matériaux

On s'intéresse maintenant à notre sujet : le Citadis 402. Nous allons dans un premier temps comparer les matériaux principaux du Citadis 402 à ceux de l'ancien tramway de Grenoble (TFS). Commençons par les dimensions :

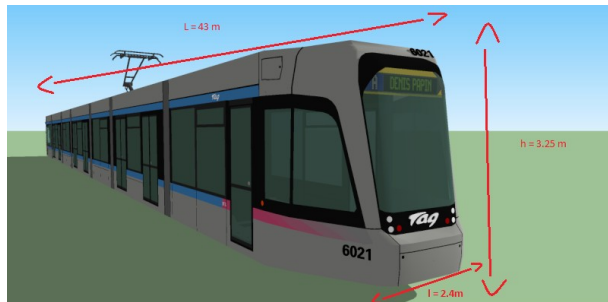


Figure 3 : Mesures du CITADIS 402

Avec le Citadis 402, on a un gain de 14,37 m en longueur, et la rame est plus basse (au dessus des rails) de 0,115m (on a donc une meilleure tenue au sol).

Côté masse, on a un "surplus" de 8300kg (à vide) par rapport au TFS, mais une capacité de 93 places en plus (confondu assis et debout soit 345 passagers au total). Cependant, un TFS pesant 43 900 kg à vide, pour 252 places (maximum), on peut alors négliger ce "surplus" de masse.

3.2 Le Matériel roulant

Nous allons maintenant analyser les nouvelles caractéristiques du matériel roulant. C'est à dire tout ce qui concerne les freins, roues, châssis...

Pour le chaudron : on a remplacé, au niveau du châssis, une partie de l'acier par de l'aluminium (plus léger), c'est à dire qu'au niveau des bogies on a de l'acier, mais dans les

autres zones on a de l'aluminium. La caisse a également été remplacée par de l'aluminium. De plus on a maintenant une protection anti-crashes !



Figure 4: illustration d'un chaudron de tramway

Pour les bogies : le châssis reste inchangé, cependant on a une amélioration au niveau des suspensions secondaires : ce sont maintenant des ressorts hélicoïdaux à la place de plots en caoutchouc et en acier



Figure 5 : bogies moteur du TFS



Figure 6 : bogies moteur du CITADIS

Pour ce qui concerne les roues et les freins : les roues sont beaucoup plus petites (diminution de 70mm de diamètre sur roues neuves) ceci peut être par choix de la hauteur (cf plus haut). Sur les tramways il y a deux types de freins, des freins mécaniques et des freins électrodynamiques. Les freins électrodynamiques sont inchangés mais leur capacité de freinage a augmenté de 144kW à la jante, quant aux freins mécaniques, on a désormais des freins hydrauliques (au lieu de ressorts).

3.3 Le Moteur électrique

TFS : Moteur CC (275kW) (3310 tr/min) à excitation séparée , alimentation 750VCC , convertisseur puissance : thyristor (ancienne technologie , moins bon rendement que transistors IGBT)

Citadis : Moteur triphasé (nouvelle technologie , gain place/puissance , très bon rendement) 175 kW (moins puissant que le premier offrant les mêmes performances à 10 km/h près (tenir compte du rapport de poids des deux trams), refroidissement liquide (meilleur que le refroidissement air qui induit des surchauffes moteur et une consommation électrique encore plus importante) , Ondulateur IGBT (très bon rendement et excellent convertisseur en terme de pollution du signal , filtrage etc...)

Les différences entre le TFS et le Citadis 402 sont assez nombreuses, tout d'abord la première génération de TFS était construite avec des moteurs à courant continu excitation séparée de 275 kW qui de nos jours est une technologie totalement dépassée (utilisée à l'époque pour les couples de démarrage très importants) qui est sujette à un rapport encombrement/performance très mauvais. De plus le système d'électronique de puissance utilisant des thyristors est également obsolète (Le thyristor offre un rendement beaucoup plus faible que celui d'un transistor IGBT, son seul avantage étant de permettre de « convertir » de grosses puissances) comparé à l'onduleur à transistors IGBT présent dans le Citadis 402.

Quant au Citadis, il utilise des technologies beaucoup plus récentes, son moteur asynchrone triphasé de 175kW refroidit par liquide (moins puissant que son prédécesseur tout en conservant les mêmes performances à 10 km/h près, donc rapport poids/puissance bien supérieur) , une gestion de la puissance à base d'ondulateur triphasé à transistors IGBT offrant un rendement optimal et une pollution du signal électrique bien meilleure (technologie de filtrage embarqué etc..).

3.4 Sondage auprès des utilisateurs

Dans cette partie, nous nous intéresserons moins à la partie technique du Citadis, et nous vous parlerons de notre rencontre avec une des parties prenantes du projet à savoir les utilisateurs.

Nous avons souhaité connaître leur avis en ce qui concerne ce nouveau tramway, ses nouvelles technologies, leur connaissance des principes de fin de vie d'un produit...

Après avoir fait quelques recherches sur les améliorations faites par Alstom sur le Citadis 402 par rapport au TFS, nous nous sommes posés la question de l'avis des utilisateurs sur le sujet.

En effet, les consommateurs s'intéressent ils ou sont ils informés de la question écologie sur les tramways ?

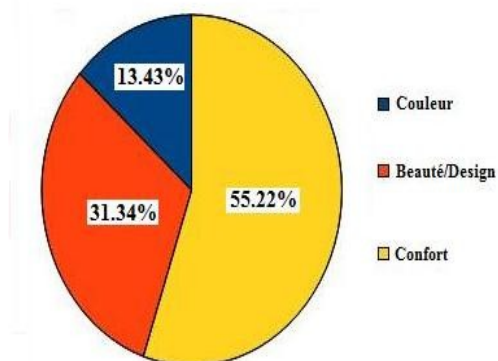
Nous avons donc pris la liberté d'effectuer un sondage en ville.

Les questions posées étaient les suivantes:

- Selon vous le Citadis est il mieux que le TFS ?
- Pourquoi ?
- Est-il important selon vous qu'il soit plus écologique ?
- Selon vous, en quoi serait-il plus écologique, sur quoi cela joue ?
- Savez vous ce que devient un tramway en fin de vie ?

Nous avons pu ainsi constater que sur 70 personnes sondées, personne n'évoque le facteur écologie dans les points positifs.

Pourquoi le Citadis est mieux que le TFS ?



En revanche 5 d'entre elles ne trouvent pas (dans la question suivante) ce facteur important.

Etude du Citadis 402:

Ensuite, pour la plus grande partie des utilisateurs, l'écologie se joue sur la consommation de la machine. Quelques uns seulement ont évoqué les matériaux utilisés. D'autres ont évoqué le fait qu'en règle générale, la pollution (qu'elle soit sonore, visuelle, ou énergétique) était au final diminuée. Et certains ont émis l'avis que ce qui était plus récent (au vu des avancées de la science et des technologies) était aussi plus propre.

Pour conclure cette partie, nous pouvons donc dire que le facteur écologique de cette technologie intéresse le public, cependant, ils ne sont que très rares à être au courant des principes de fin de vie de ce produit, mais ils se sentent cependant concernés par ce dispositif et trouvent important que l'on puisse valoriser (en fin de vie) certaines parties du Citadis que tout n'aille pas en décharge (bien que ce soit une image).

4/ Conclusion :

4.1 Réponse à la question de recherche

Notre question de recherche était de savoir si le tramway de Grenoble, le Citadis 402, avait fait l'objet d'une recherche écologique dans sa conception (à l'aide des méthodes d'écoconception). Nous ne pouvons répondre que partiellement à cette question, car n'ayant pas pu entrer en contact avec les parties prenantes au projet comme la ville de Grenoble ou la société Alstom... Ces derniers ne divulguant pas d'informations publiques sur le sujet...

Cependant nous pouvons, grâce à la politique d'Alstom, à l'analyse des différents matériaux etc, confirmer (partiellement) que le Citadis 402 a fait l'objet d'une étude écologique dans sa conception, sa production... Comme par exemple la politique de mobilité durable (cité dans le paragraphe concernant Alstom), l'utilisation de matériaux comme l'aluminium (malgré le fait que cela soit peut être plus polluant pour le produire, utiliser ce métal est très avantageux au vu du rapport

Bibliographie :

Eco-conception :

Wikipédia [1]: <http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89co-conception>

Ecopédia [2]: <http://fr.ekopedia.org/%C3%89coconception>

Eco-conception.fr [3]: <http://www.eco-conception.fr/>

Cours du 21/03/2011 sur l'éco-conception (UET : "Evaluation et gestion des impacts environnementaux des activités humaines").

Le Citadis 402 :

Wikipédia[4]:

http://fr.wikipedia.org/wiki/Alstom_Citadis

Site officiel Alstom (projet Citadis dans le monde) [5]:

http://www.alstom.com/transport/fr/produits-et-services/mat%C3%A9riel_roulant/tramways-citadis/

Site du musée des transports [6]:

http://www.amtuir.org/05_htu_tw_citadis/05_h tu_tw_citadis.htm

Site officiel Bombardier (politique) [7]:

<http://www.bombardier.com/fr/transport/produits-et-services/vehicules-sur-rail/metros?docID=0901260d800122a7>

Site officiel Bombardier (projet Flexity 2) [8]:

<http://www.bombardier.com/fr/transport/produits-et-services/vehicules-sur-rail/vehicules-legers-sur-rail/tramway-flexity-2?docID=0901260d800a0fcd>

Site officiel Bombardier (eco4) [9]:

<http://www.bombardier.com/fr/transport/durabilite/technologie?docID=0901260d80048db5>

Site officiel Alstom (mobilité durable) [10]:

<http://www.cleanmobility.alstom.com/index.html>

Fiches techniques:

Fiche technique TFS [11]:

<http://florent.brisou.pagesperso-orange.fr/Fiche%20Grenoble.htm>

Fiche technique Citadis 402 [12]:

<http://florent.brisou.pagesperso-orange.fr/Fiche%20Grenoble2.htm>