



ACTUATE

*Formation continue pour une conduite sûre
et économique des matériels roulants électriques
– Tramway –*

www.actuate-ecodriving.eu



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union

actuate



ACTUATE

un projet pour favoriser l'éco-conduite et réduire la consommation énergétique

Dans le cadre du projet ACTUATE financé par l'Union européenne, des programmes de formation et des mesures de formation d'ordre général favorisant une éco-conduite des matériels roulants à traction électrique utilisés dans les transports publics à courte distance ont été mis au point, testés et adoptés avec succès.

L'introduction de programmes de formation continue visant à développer l'éco-conduite peut réduire la consommation d'énergie des moyens de transport électriques (tramways, autobus hybrides ou trolleybus, par exemple), et promouvoir ainsi l'efficacité et le déploiement de ces types de transports.

Le conducteur est au cœur du projet ACTUATE, dont l'objectif est de favoriser cette éco-conduite. Des campagnes incitatives accompagnant le projet visent à pérenniser les pratiques acquises par les conducteurs dans le cadre de la formation continue.

Objectifs du projet d'optimisation du style de conduite...

- Favoriser une conduite plus sûre et plus économique des véhicules électriques utilisés dans les transports publics de voyageurs
- Améliorer la rentabilité de ces véhicules dans les transports publics de voyageurs
 - Développer et tester des programmes de formation pour rendre leur conduite plus sûre et plus économique
 - Mettre en œuvre des campagnes de sensibilisation destinées aux conducteurs de tramways, de trolleybus et d'autobus hybrides

La brochure Formation ci-jointe a été élaborée pour le tramway dans le cadre du projet ACTUATE.

SOMMAIRE

1	Introduction	4
1.1	Éco-conduite	5
1.2	À qui profite l'éco-conduite ?	6
1.3	Matériels roulants électriques – développement et perspectives	7
2	Facteurs influençant la consommation d'énergie	8
2.1	Facteur humain	9
2.2	Facteur infrastructure et topographie	10
2.3	Facteur résistance de la voie et du véhicule	11
2.4	Rôle de la vitesse de déplacement	14
3	Commande de véhicule et alimentation électrique	15
3.1	Commandes de véhicules	15
3.2	Alimentation électrique	18
3.3	Mesures de consommation électrique	18
3.4	Évaluation des résultats des mesures	20
4	Incidents	24
5	École de conduite de tramways	25
6	Éco-conduite et horaires	27
7	Formation	28
8	Conclusion	30

1 Introduction

Pourquoi réduire la consommation énergétique ? L'énergie est devenue précieuse. Le pétrole ne suffira pas sur le long terme à la production de carburants. Bien que nos automobiles à moteur diesel ou essence soient devenues bien moins nocives qu'il y a encore quelques années, grâce à des systèmes comme les pots catalytiques et les filtres à particules, par exemple, elles n'en demeurent pas moins polluantes pour l'environnement. Il faut donc réfléchir à des solutions alternatives et plus propres, comme l'électricité.

Différents types de production sont en outre encore possibles, comme les centrales à charbon qui restent très répandues. Néanmoins, les réserves de charbon ne sont pas, elles non plus, infinies et la combustion du charbon produit des particules polluantes. C'est pourquoi l'énergie sera de plus en plus produite à partir de sources renouvelables respectueuses de l'environnement, comme le vent, le soleil ou l'eau. Ce type de production électrique est 100 % écologique et gagne en importance.

Il faudra toutefois résoudre de très nombreux problèmes avant que les besoins énergétiques ne soient totalement couverts par les énergies renouvelables. L'énergie devra d'une part être transportée depuis son lieu de production jusqu'au consommateur, ce qui nécessitera de développer les réseaux électriques. D'autre part, dans la mesure où le vent ne souffle pas en permanence et que le soleil ne brille pas toujours, l'approvisionnement en électricité devra être stable. Le stockage de l'énergie pose également un défi. Il n'existe pas encore suffisamment de centrales de pompage-turbinage pour le stockage.

L'électricité est un bien précieux dont nous ne pouvons plus nous passer. Nous devons donc adopter des comportements privés et publics pour une gestion raisonnée des ressources dont nous disposons. Les transports publics de voyageurs jouent à ce titre un rôle prépondérant. Les technologies modernes, ainsi que la pratique d'une conduite économique par les conducteurs, peuvent contribuer de façon significative à réduire la consommation énergétique.

Tous les matériels roulants, qui réinjectent leur énergie de freinage dans le réseau, nous aident à réduire la consommation énergétique.

Eine Straßenbahn vom Typ NGT 8 vor dem Neuen Rathaus in Leipzig



Der Fahrer macht den Unterschied!

1.1 Éco-conduite

L'éco-conduite ne s'applique pas qu'aux tramways, mais aussi à d'autres véhicules « propres », tels que les véhicules légers sur rail, les métros, les trolleybus, les autobus électriques et les autobus hybrides. Une conduite optimale doit répondre aux critères suivants:

Sécurité

Rentabilité

Ponctualité

Convivialité

Qu'est-ce que cela signifie en détail ?

Sécurité

La sécurité est le critère numéro un. Tout dépend d'elle. Sécurité vient du latin « securitas » qui signifie « sollicitude » ou « sans souci ». Elle désigne un état qui est considéré comme dépourvu de danger. Les passagers doivent se déplacer dans une rame de transports publics « sans souci », et être transportés « avec sollicitude » jusqu'à leur destination. Adopter une éco-conduite signifie également de conduire de plus en plus en anticipant, ce qui constitue l'alpha et l'oméga de la sécurité dans les transports publics.

Rentabilité

La rentabilité correspond à la mesure générale de l'efficacité et de la gestion raisonnée des ressources. L'objectif consiste donc à consommer le moins d'énergie possible pour se rendre d'un point A à un point B. Une conduite équilibrée, réfléchie et peu énergivore permet également de minimiser l'usure des véhicules et des infrastructures (voies ferrées et caténaires). Réduire la consommation d'énergie, c'est réduire les dépenses.

Ponctualité

Les usagers s'attendent à ce que les transports publics soient ponctuels et qu'ils ne quittent en aucun cas un arrêt avant leur horaire. La ponctualité du métro doit être respectée, car il fonctionne dans un système fermé où il ne dérange aucun autre moyen de transport. Pour les tramways, et notamment les véhicules légers sur rail, les retards sur les trajets de transports de passagers sont malheureusement souvent inévitables.

De nombreux usagers s'en remettent quotidiennement aux transports en commun.



La ponctualité ne peut en aucun cas primer sur la sécurité (par une conduite risquée). Une conduite « sportive » et non réfléchie compromet non seulement la sécurité, mais entraîne par ailleurs l'usure des véhicules et des infrastructures. Une éco-conduite anticipative n'est pas synonyme de temps de trajet plus longs, comme le prouvent les expériences qui ont été effectuées dans le volet pratique des formations à l'éco-conduite, dans les villes partenaires du projet ACTUATE (p. ex., à Brno en République tchèque pour le tram, ou à Salzbourg en Autriche, pour le trolleybus).

Convivialité

Le service client est un élément important, qui contribue à améliorer la réputation d'une entreprise de transport. Il est souvent désigné par le terme service (customer service, en anglais). Il permet dans un cas particulier de satisfaire les attentes des usagers lors de la prestation de service de « transport de personnes ». Il s'agit de services, comme l'aide à la montée ou la descente d'un passager à mobilité réduite, ou la communication d'informations telles que le tarif d'un trajet.

Les passagers s'attendent à trouver des interlocuteurs compétents et non pas des conducteurs stressés et épuisés, qui râlent à la moindre question. Ils souhaitent se sentir en sécurité (voir ce terme plus haut).

Un conducteur qui a adopté une conduite équilibrée et économique, est moins stressé et peut mieux s'occuper de ses clients (passagers). Grâce à une éco-conduite plus souple, le conducteur et le passager ont le sentiment d'un meilleur confort et d'une plus grande sécurité.

À qui profite l'éco-conduite ?

Au conducteur

Il conduit de façon plus détendue et ressent moins de stress.

Au passager

Il se sent davantage en sécurité, car il ressent le calme du conducteur, dont la conduite est anticipative et plus souple.

À l'infrastructure

Elle est moins sollicitée par la conduite anticipative et plus souple du conducteur, ce qui réduit l'usure au niveau des aiguillages et des franchissements de croisements et se traduit par une forte baisse des dépenses d'infrastructure sur le long terme.

Au véhicule

La marche sur l'erre permet un fonctionnement plus silencieux et moins contraignant du véhicule, par exemple, en réduisant l'usure des bandages ou les sollicitations des dispositifs de réglage (protection anti-patinage et anti-glisserment).

À l'entreprise

Elle réalise des économies considérables sur le long terme en consommant moins d'énergie, en réparant moins fréquemment ses véhicules et ses infrastructures, voire parfois en réduisant ses coûts de main-d'œuvre. En effet, dans la mesure où l'éco-conduite génère moins de stress et les conducteurs sont davantage satisfaits de leur travail, cela se traduit par un nombre de jours d'arrêt maladie moins élevé et une plus grande disponibilité du personnel.

1.2 Matériels roulants électriques – développement et perspectives

Les matériels roulants électriques sont en fait plus anciens que les automobiles à moteur à essence. Le premier véhicule électrique a été créé par le français Gustave Trouvé, qui sillonnait Paris à bord de son engin dès 1881.

Ce tricycle, équipé d'un électromoteur et d'accumulateurs en plomb, roulait à 12 km/h et affichait une autonomie de 14 à 26 km. La première automobile électrique allemande a été fabriquée en 1888 par l'entreprise Maschinenfabrik A. Flocken implantée à Cobourg. Il s'agissait de la première automobile électrique à quatre roues. La première voiture à essence a été mise au point en 1886 par Karl Benz.

„eco driving“:
entspannter und
stressärmer durch
ausgeglichene
Fahrweise

Première caténaire créée par W. von Siemens



Les premiers tramways électriques datent également de 1881. Le développement des réseaux de tramways a été rendu possible avec l'invention des caténaires par J. C. Henry en 1884, lesquelles étaient très similaires à celles utilisées aujourd'hui.

Après avoir été remplacés par les autobus dans de nombreuses villes européennes dans les années 1950, les tramways réinvestissent aujourd'hui les zones urbaines, notamment en France. Les véhicules électriques présentent des avantages qui sont généralement admis. Ils sont plus propres et plus silencieux que les véhicules à essence ou diesel. Ils sont également bien plus efficaces et économiques à exploiter, car ils sont équipés de nouveaux systèmes de traction à frein récupératif (l'énergie libérée lors du freinage est réinjectée dans le réseau électrique).

En tant que moyens de transport collectifs dans les grandes villes, tous les types de tramways présentent l'avantage qu'ils peuvent transporter bien plus de passagers que les autobus. En les alimentant en électricité verte, les tramways, les véhicules légers sur rail et les métros constituent alors les moyens de transport les plus propres et les plus écologiques qui puissent exister.

Peut-on faire des économies autrement que de façon intelligente?

Christiane « Tissy » Bruns
(journaliste)

2 Facteurs influençant la consommation d'énergie

Malgré tous les avantages qui ont été mentionnés plus haut et les technologies les plus avancées, l'exploitation des tramways doit idéalement s'accompagner d'une consommation électrique la plus faible possible. En effet, la production d'électricité coûte cher, et le passage aux énergies renouvelables entraîne de nouveaux coûts. Une conduite qui respecte l'environnement et réduit la consommation d'énergie dépend de plusieurs facteurs. D'une part, il existe des facteurs externes sur lesquels le personnel technique **n'a pas** d'influence. Il s'agit, par exemple, de l'état de la voie et des bandages, de l'intensité du trafic, de la topographie, du type de véhicule (les performances du moteur), de la distribution du véhicule et, bien sûr, de la présence ou non de freins récupératifs. Il existe toutefois d'autres facteurs sur lesquels le personnel technique peut parfaitement agir, comme la **maîtrise raisonnée de l'accélération** (plus simplement appelée **conduite anticipative**), qui permet au conducteur de réduire la consommation d'énergie.

Un conducteur de tramway doit se poser en permanence les questions suivantes et y répondre en toute honnêteté:

- Est-il toujours judicieux de choisir l'accélération de départ la plus élevée, si les conditions ferroviaires ne sont pas optimales?
- Est-ce que je gagne vraiment du temps en accélérant avec la valeur de consigne/le rapport de départ le plus élevé, alors que je devrais de nouveau m'arrêter au signal bloqué?
- Est-ce que je dois d'abord accélérer fortement, alors que j'aperçois un aiguillage qui m'oblige à rouler lentement?

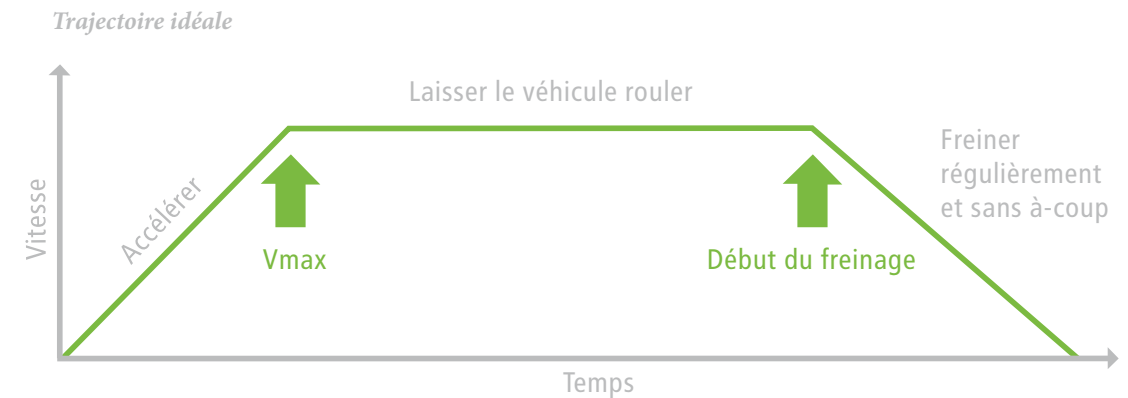
Honnêtement, la réponse à toutes ces questions est « NON », sans équivoque. Dans une montée, il convient d'évaluer s'il vaut mieux choisir de marcher sur l'erre, c'est-à-dire conserver sa vitesse en consommant moins d'énergie, ou plutôt d'accélérer et d'avancer. Il faut, dans ce cas, prendre en compte l'angle de la pente et la technologie de commande du tramway.

Voici un exemple d'éco-conduite : si environ 30 m après avoir desservi un arrêt, un conducteur aperçoit un aiguillage qu'il doit franchir à 15km/h uniquement, il est judicieux d'accélérer à environ 18 km/h (à condition que la voie soit rectiligne). Il doit ensuite laisser le véhicule franchir l'aiguillage, puis accélérer en fonction des conditions de la voie. Une fois la vitesse atteinte, il convient de marcher sur l'erre et de freiner de façon régulière à l'approche de l'arrêt suivant.

Blick aus dem Cockpit auf eine modernisierte Trasse



2.1 Facteur humain



Le personnel technique doit être conscient qu'il a tout à gagner à adopter une éco-conduite. L'approche idéale sur un parcours urbain sans montée ni descente serait la suivante : fournir une accélération élevée mais régulière, en fonction des conditions météorologiques, du trafic et des rails, jusqu'à la vitesse maximale requise ou autorisée, marcher sur l'erre, puis donner un coup de frein long, avec une valeur de consigne/un palier de freinage moyen jusqu'à l'arrêt, tout en veillant au confort des passagers.

Cette conduite s'applique aux véhicules équipés ou non de freins récupératifs. L'avantage des véhicules qui en sont équipés est qu'ils réinjectent l'énergie de freinage dans le réseau électrique lorsque le conducteur donne un long coup de frein. Dans ce cas, chez la plupart des entreprises de transport, l'électricité est acheminée jusqu'à une sous-station par la barre de collecte, et peut être utilisée par toutes les voies qui en dérivent. L'énergie récupérée peut ainsi être réutilisée par près de 90 % des autres véhicules en service.

Tôt le matin ou tard dans la soirée, lorsque la fréquence des services est plus faible, l'énergie

récupérée ne peut pas être réutilisée de façon aussi intensive. Des accumulateurs sont toutefois déjà installés dans les sous-stations pour restituer cette énergie sur des plages où le trafic est moins dense. L'entreprise de transport doit toutefois vérifier si ses coûts d'exploitation sont compensés par cette réutilisation. Cela vaut également pour les batteries des véhicules qui peuvent également stocker de l'énergie, mais qui augmentent la charge par essieu et ont donc un effet négatif sur les infrastructures.

Si la sous-station ou le tramway n'a pas d'accumulateur ou si le réseau n'est pas réceptif, l'électricité récupérée lors du freinage du véhicule est éliminée par les résistances. Certaines villes européennes sont également équipées de tramways à commande par résistance.

Il convient alors de toujours choisir une accélération la plus élevée possible et adaptée à la voie et à l'adhérence, afin de supprimer rapidement les résistances (voir l'explication au point 3.1). D'une manière générale, l'éco-conduite idéale peut se pratiquer au mieux sur un site propre ou indépendant.

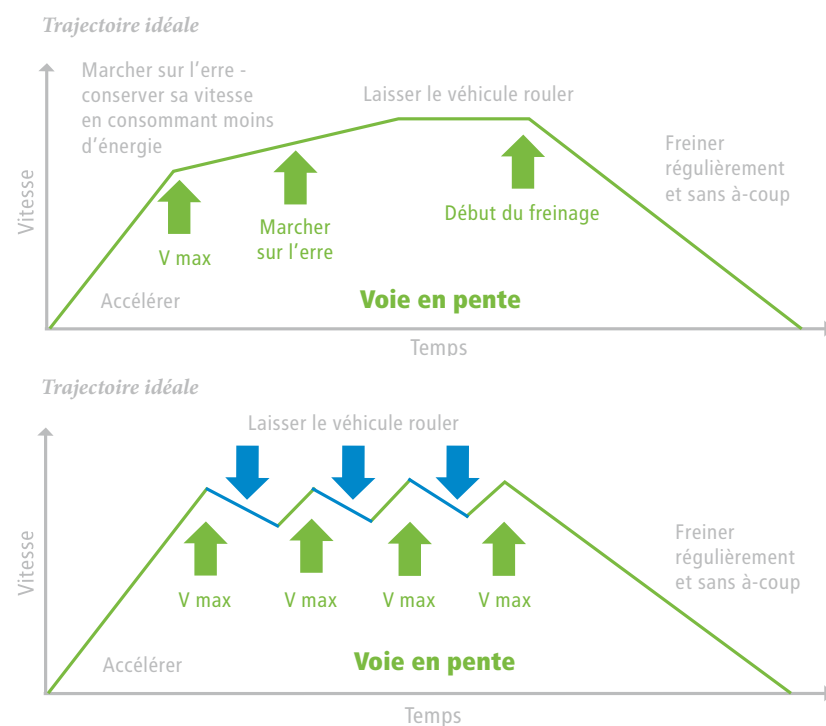
Si un tramway circule au milieu du trafic individuel, il rencontre en permanence de nouvelles situations de trafic qui l'empêchent de conserver une « trajectoire idéale ». Seule une conduite anticipative peut alors aider le conducteur à respecter son horaire. Le conducteur doit également penser à lui-même, car l'éco-conduite suppose d'être équilibré, et induit un comportement plus calme et moins de stress.

En prenant du recul dans toutes les situations et avec une « bonne dose » de calme, il est possible de réduire considérablement la consommation énergétique par extension. Cela se traduit non seulement par des kW/h en moins, mais aussi par une plus grande tranquillité d'esprit pour le conducteur.

2.2 Facteur infrastructure et topographie

Plusieurs facteurs que l'on ne peut influencer sont liés à la mise en pratique de l'éco-conduite. D'une part, la topographie urbaine (pentes et descentes raides) et d'autre part, du moins du point de vue du conducteur, la configuration des voies ferrées (site propre ou intégré à la chaussée).

Dans les villes de montagne qui exploitent un réseau de tramways, les montées appellent deux « approches de conduite idéales » selon le système de commande du véhicule. Si le véhicule est équipé d'un régulateur de vitesse,



il est plus économique de ne pas accélérer lorsque le transmetteur de la valeur de consigne ou la pédale se trouve dans une certaine position, pour conserver la vitesse au niveau requis en consommant moins d'énergie. Cette approche serait particulièrement efficace si, par exemple, le véhicule était en phase ascendante et qu'il devait en même temps freiner de façon lente et régulière.

L'énergie de freinage pourrait ainsi être réutilisée dans son intégralité en descente, à condition bien sûr que le véhicule soit équipé d'un frein récupérateur. Si le véhicule n'est équipé que d'un frein rhéostatique, l'énergie de freinage est dissipée par les résistances, comme c'est le cas, par exemple, avec le système de commande d'accélérateur (Akzelerator = accélérateur) de l'ancien modèle Tatra, ou sur les véhicules à commande par résistances en série. Sur ces tramways, le conducteur doit accélérer au maximum le plus vite possible, afin de couper les résistances et d'utiliser l'énergie des moteurs (voir la section 3.1 sur les commandes de véhicules). L'approche idéale en montée dépend également de la longueur de la voie, de la vitesse autorisée et du système de commande du véhicule, comme cela a été souligné à plusieurs reprises. Il convient donc d'essayer de trouver la meilleure approche en fonction de la situation rencontrée sur une voie installée en site urbain, en adoptant avant tout une éco-conduite et en ayant une bonne connaissance du parcours.

Pour le conducteur de métro et de véhicule léger sur rail qui emprunte une voie à signalisation, il est plus facile de suivre cette approche de conduite idéale, dans la mesure où il n'est pas gêné par le transport individuel. L'établissement d'un horaire optimal peut dans ce cas contribuer à réduire la consommation d'énergie (p. ex., en observant le franchissement des croisements, l'activation des signaux, etc.).

2.3 Facteur résistance de la voie et du véhicule

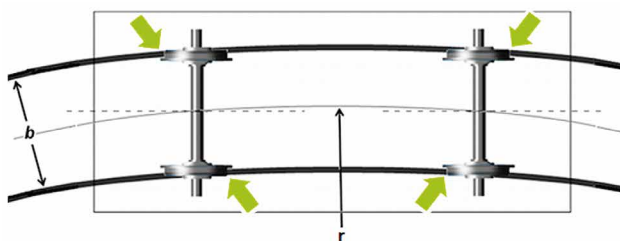
La force de traction ...

... est indispensable à la création et au maintien de l'état de mouvement.

... effectue un travail qui s'oppose aux forces d'inertie et de résistance.

.. dépend d'une adhérence suffisante entre la roue et le rail.

La force F ne doit pas être supérieure à la force d'adhérence (entre la roue et le rail), car cela provoquerait le patinage ou le glissement des roues. Différentes forces positives et négatives, ainsi que des résistances, s'appliquent au véhicule selon les principes de la dynamique. La trajectoire est à l'origine de la force due à l'inclinaison, la résistance due aux courbes et la résistance due aux aiguillages. Il faut comprendre la résistance due à l'inclinaison, comme celle qui dépend des conditions topographiques. Elle peut se transformer en énergie cinétique et inversement.



La résistance (ou force) due à l'inclinaison peut conserver l'énergie (en descente) ou l'inhiber (en montée). L'inclinaison est exprimée en ‰ (pour mille). La résistance due aux courbes correspond au « passage » des essieux sur le champignon du rail. Il se crée des mouvements de glissement des roues qui sont provoqués par les différents chemins qu'elles doivent parcourir entre l'intérieur et l'extérieur des courbes. Contrairement à un véhicule à traction, les roues d'un tramway ne sont pas mobiles autour de l'essieu. Le boudin de roue est incliné dans l'âme du rail ou frotte contre le champignon. Plus le rayon de courbure est faible, plus la résistance est élevée. Ce frottement entraîne un crissement typique des roues, qui est atténué aujourd'hui par des systèmes de graissage fixés dans les courbes ou des graisseurs de boudin de roue. La résistance des aiguillages est faible et peut être négligée dans les calculs. Elle est due aux chocs et aux frictions entre les roues et les contre-rails, c'est-à-dire les principaux

éléments de l'aiguillage. Outre les résistances dues à la voie, il existe d'autres forces qui sont dues au véhicule lui-même, comme la résistance à l'avancement, la résistance au vent et la résistance au roulement. La résistance à l'avancement repose sur l'inertie physique.

« Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve ». Cette formule que l'on doit à Isaac Newton dès 1687 définit le principe d'inertie. Si l'on se réfère à la dynamique de déplacement, cela signifie que la force provenant du moteur doit être supérieure aux autres « résistances internes » qui sont, par exemple, dues à l'entraînement, différents roulements et la force d'appui (roue/rail), pour que le véhicule se mette en mouvement (force = masse x accélération).

La résistance du vent désigne la force que le véhicule doit déployer pour repousser l'air. Elle est proportionnelle au carré de la vitesse. Dans la mesure où la plupart des tramways n'ont pas de forme aérodynamique, la résistance du vent est plus élevée que pour les trains à grande vitesse (Thalys, ICE ou TGV, par exemple,) qui ont été conçus pour fendre l'air. De plus, un tramway roulant en moyenne à des vitesses relativement basses, la résistance du vent ne joue pas un rôle primordial. La résistance au roulement est la dernière à prendre en compte. Si l'on compare les roues d'un tramway ou d'un matériel roulant sur rail à celles d'un véhicule automobile, on remarque d'emblée que les roues du matériel roulant offrent une faible surface d'appui, et donc une faible résistance au roulement.

Sur un parcours plat, après une brève accélération, le matériel roulant continue de rouler sur une longue distance, à quasiment la même vitesse. Ce phénomène est l'un des plus importants à

Der Rollwiderstand von Schienenfahrzeugen ist durch die geringe Auflagefläche der Räder sehr niedrig.

comprendre pour pratiquer l'éco-conduite. Par contre, les pneus de poids lourds qui entrent en contact avec la chaussée offrent une large surface d'appui. Si on laissait rouler un poids lourd « en roue libre/au point mort » sur une route plate, il décélérerait bien plus vite qu'un tramway, en raison du frottement élevé entre ses pneus et la chaussée. Il faut également tenir compte des matériaux entrant en contact. Les surfaces lisses de la roue et du rail, tous deux en acier, expliquent la faiblesse de la résistance au roulement.

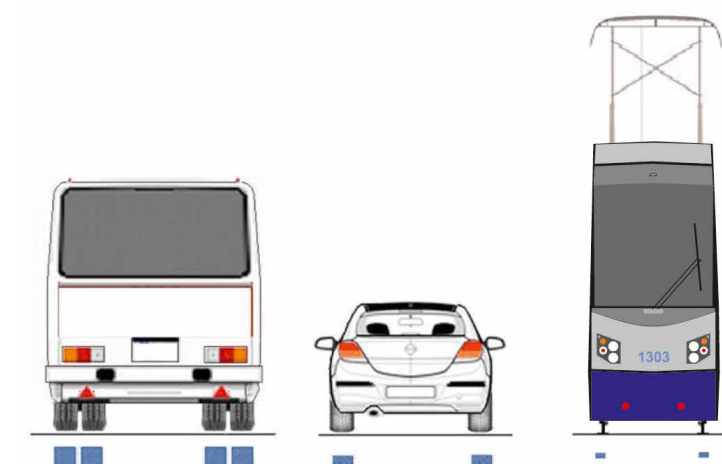
La gomme antidérapante adhère quant à elle correctement à l'asphalte rugueux et s'avère efficace lors du freinage. La faible surface d'appui du tramway a pour effet qu'il commence à glisser plus rapidement, si le conducteur ne tient pas suffisamment compte des facteurs d'influence. Des bandages de roues neufs ou venant d'être remplacés sont encore légèrement obliques et un champignon de rail est légèrement bombé, ce qui diminue d'autant le frottement par roulement et l'adhérence.

Les « éléments dits intermédiaires » ont également une grande importance. La présence de sable sur un rail agit comme un frein. L'adhérence entre la roue et le rail augmente, le véhicule avance correctement et ne glisse pas en cas de freinage. Sur les véhicules plus récents, la sablière n'est plus activée par le conducteur, mais déclenchée automatiquement par un boîtier électronique de contrôle lorsque ce dernier détecte des différences de vitesse d'axes dans le bogie ou le train de roulement. Le conducteur peut et doit naturellement déclencher la sablière de sa propre

initiative. S'il constate, à l'approche d'un arrêt, que la voie comporte des patches de bitume fraîchement déversé, il doit activer la sablière dès le début du freinage sans attendre que le boîtier électronique s'en charge.

De même, le feuillage, le pollen et d'autres objets de ce genre fraîchement tombés sur la voie diminuent fortement l'adhérence, de sorte que le véhicule peut se mettre à glisser plus vite en cas de freinage et à patiner au démarrage. La compensation du manque d'adhérence par une protection électronique anti-glissement et anti-patinage permet d'obtenir une adhérence toujours satisfaisante si les axes tournent à des vitesses différentes, si minime que soit cet écart. Cette technique de sablage automatique a également un impact sur les aiguillages qui, parce qu'ils sont littéralement « ensablés », ne peuvent plus être actionnés électriquement et doivent être nettoyés plus fréquemment. Toutefois, le conducteur doit également réfléchir dans ces cas-là à la meilleure approche à adopter pour consommer moins d'énergie.

S'il ne peut pas actionner l'aiguillage électriquement, il doit s'arrêter, pousser manuellement le levier de l'aiguillage et redémarrer.



Vergleich des Rollwiderstand: Bus, Kfz und Straßenbahn

Cela a des incidences sur le trafic et la consommation électrique lors du redémarrage. En outre, la perte de temps est source de stress. Il est donc toujours préférable de ne pas interrompre un trajet au passage d'un aiguillage et, par conséquent, d'éviter de le sabler. Dans des circonstances normales, où il ne court aucun risque, le conducteur doit laisser rouler le véhicule sur l'erre en position zéro au passage d'un aiguillage. Lorsque la traction est coupée, le véhicule ne sable pas, car les roues ne peuvent ni glisser ni patiner. Ce ne sont que de petits détails, mais qui, au final, méritent qu'on y prête attention.

Sur les modèles plus anciens, le conducteur doit empêcher le glissement ou le patinage en déclenchant manuellement la sablière au bon moment. Le patinage et le glissement provoquent en outre une forte usure des matériaux des roues et des rails. Les roues s'usent lorsqu'elles patinent et les méplats qui se forment en cas de glissement, obligent à reprofiler les bandages de roues. Les rails sont dans un cas comme dans l'autre plus fortement sollicités. Tout cela à un coût qui peut être réduit grâce à une conduite plus intelligente et plus anticipative.

2.4 Rôle de la vitesse de déplacement

La vitesse de déplacement et la distance de freinage sont des paramètres indissociables et interdépendants. En plus des résistances dues à la voie et au véhicule, le choix de la vitesse dépend de nombreux autres facteurs d'influence dont il faut tenir compte. Il s'agit par exemple des conditions de visibilité, de l'occupation du véhicule, des conditions de trafic, ainsi que des aptitudes propres à chaque conducteur.

Le conducteur doit sélectionner une vitesse de déplacement qui lui permet non seulement de maîtriser son véhicule en permanence, mais aussi de l'arrêter à temps et sans danger dans toutes les situations. La distance de freinage dépend également de nombreux facteurs. La vitesse, les conditions de rails, les conditions de voie, le mode de traction ou la présence d'une remorque, et le type de système de freinage jouent un rôle qu'il ne faut pas sous-estimer. La vitesse constitue le facteur le plus important, car la distance de freinage est proportionnelle au carré de la vitesse. Autrement dit,

« si l'on double la vitesse, il faut multiplier par quatre la distance de freinage! »

Le temps de réaction du conducteur doit également être pris en compte dans le calcul de la distance d'arrêt complète, qui correspond à la somme de la distance de réaction et de la distance de freinage. Si un conducteur a un temps de réaction d'une seconde, son véhicule parcourt 13,9 m à 50 km/h. Il ne faut pas oublier cette donnée. Si un conducteur est distrait ou déconcentré pendant trois secondes, son véhicule parcourt 41,7 m « à l'aveugle » dans la circulation.

Si l'on double la vitesse, il faut multiplier par quatre la distance de freinage.



Das Leipziger Streckennetz umfasst insgesamt 319,1 km.

In Leipzig werden 98 % der zurück gespeisten Energie genutzt!

3 Commande de véhicule et alimentation électrique

Pourquoi la commande des véhicules roulants sur rail est-elle si importante? Les réseaux électriques des tramways sont des réseaux de courant continu. La commande de hachage, par exemple, est une commande pour électromoteurs qui génère peu de pertes (voir la section 3.1) et dont le taux de rendement est élevé. Lors du freinage, il est possible de collecter l'énergie de récupération (freinage par récupération) et de la réinjecter dans le réseau.

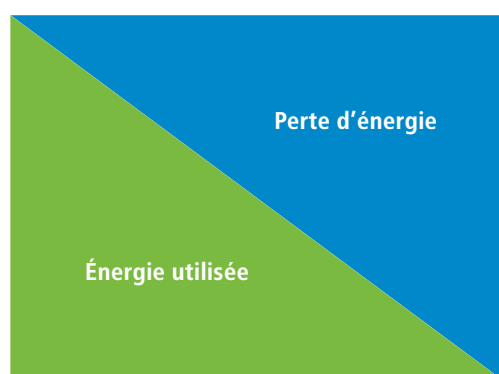
Pour réduire davantage la consommation électrique, des constructeurs de tramways ont mis au point des accumulateurs d'énergie qui permettent de stocker l'énergie de freinage lorsque le réseau n'est pas réceptif. Dans ce cas, des condensateurs à double couche ou des batteries sont intégrés au véhicule.

En phase d'accélération, les moteurs peuvent être alimentés par les accumulateurs et en phase de freinage, l'énergie générée est récupérée pour recharger les condensateurs. Il est ainsi tout à fait possible d'utiliser 100 % de l'énergie, mais les coûts restent très élevés. La rentabilité de cette technologie dépend dans une large mesure du réseau disponible, de la fréquence des tramways et du taux de rendement de l'énergie réinjectée dans le réseau.



3.1 Commandes de véhicules

Il convient également de tenir compte des différents types de commandes de véhicules en matière d'éco-conduite. Comme cela a déjà été indiqué à la section Infrastructure et topographie, la commande par résistances n'est pas économique.



Pour que l'électricité soit acheminée lentement jusqu'aux moteurs, elle traverse des résistances (résistances de série) qui sont désactivées les unes après les autres, jusqu'à ce que l'électricité parvienne aux moteurs. Autrefois, le conducteur tournait une manivelle ou une roue de commande pour convertir en chaleur l'électricité accumulée dans les résistances. Toutefois, seuls 50 % de l'énergie absorbée est effectivement utilisée. Le conducteur doit alors souvent activer les ventilateurs pour refroidir les résistances. Il utilise aussi souvent un affaiblissement de champ pour augmenter la vitesse. Cet affaiblissement de champ, également appelé shunt (branchement en parallèle) passe par une résistance qui est raccordée après déconnexion de toutes les résistances de série, branchées parallèlement au champ du moteur concerné (il peut y avoir 2 résistances connectées en parallèle l'une après l'autre).

L'intensité du courant du champ principal se partage ainsi au niveau du moteur, alors que le courant induit conserve toute son intensité. Cela

entraîne un affaiblissement du champ magnétique des bobines inductrices principales, alors que le champ magnétique de l'induit conserve sa force. L'induit peut ainsi tourner plus rapidement et la vitesse augmente. Les commandes par résistances et les affaiblissements de champ sont encore utilisés parfois pour des technologies des tramways reposant sur des moteurs à courant continu et connexion série. Les véhicules équipés d'une commande par résistance n'ont pas de frein récupératif. Comme la commande par résistances lors du déplacement, il dissipe autant l'énergie lors du freinage. L'énergie créée lors du freinage est convertie en chaleur et inhibée par les résistances.

Afin de mieux utiliser les moteurs à courant continu mis au point avec la modernisation des véhicules, la commande par hachage (de l'anglais « chopper ») offre aux véhicules une toute nouvelle qualité. Dans ce type de commande, le champ et l'induit des moteurs sont commandés séparément. Le dispositif de hachage découpe le courant continu en petites impulsions et les fournit directement au champ et/ou à l'induit des moteurs à courant continu. Une diminution de la tension de champ assignée augmente la vitesse et une réduction de la tension de l'induit la diminue. Il est ainsi tout à fait possible d'accélérer et de freiner en consommant moins d'énergie.

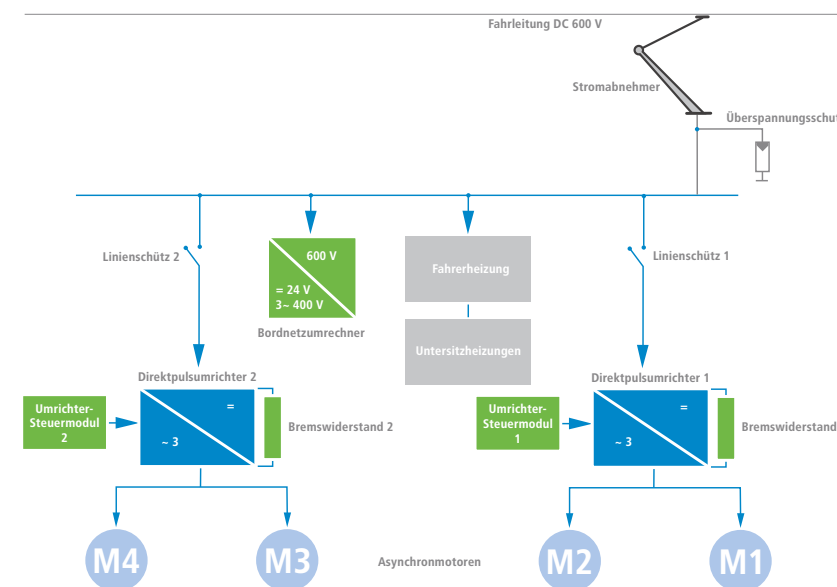
Le véhicule utilise alors uniquement l'énergie qu'il capte et le conducteur est responsable de sa consommation électrique de par sa conduite. En choisissant la valeur de consigne appropriée, il détermine l'intensité et la durée de l'accélération ou du freinage. Le frein générateur des véhicules à commande par hachage est un frein à récupération (ou frein régénératif). L'énergie de freinage non utilisée est acheminée par la barre de collecte jusqu'à la sous-station, avant d'être réinjectée

dans le réseau électrique du tramway. Sur différents modèles, l'énergie de freinage générée sert également à alimenter des appareils de chauffage lorsqu'il fait froid. Les véhicules à moteurs asynchrones triphasés représentent un autre progrès technologique. Le courant continu est capté à partir de la caténaire et converti en courant triphasé par un convertisseur de fréquence, puis acheminé au moteur aux fréquences correspondantes. La quantité de courant tirée de la caténaire, c'est-à-dire la hauteur de la fréquence de commande du moteur triphasé, est définie comme toujours par le conducteur, lorsqu'il donne, à l'aide du transmetteur de valeur de consigne, l'accélération requise, et donc la hauteur correspondante de la consommation électrique.

Quelle que soit la technologie de tramway, les économies d'énergie potentielles dépendent principalement du style de conduite du conducteur. Plus la valeur de consigne est élevée, plus le véhicule accélère et donc consomme de l'énergie. Lors du freinage, l'électricité à stocker est rééquilibrée par un redresseur dans le véhicule. Les moteurs asynchrones triphasés ne nécessitent de facto aucune maintenance.

Il s'agit d'une simple machine à induction (également appelée « cage à écureuil »). La commande est produite principalement par un convertisseur de pulsations directes. La protection anti-patinage et anti-glissement est configurée de façon très précise. Le logiciel du véhicule est adapté de manière optimale au véhicule et à l'infrastructure de chaque ville. Sur tous les tramways, le pantographe permet de capter l'électricité. As protection against a lightning strike, a lightning arrestor is installed immediately after the pantograph. The driver can even influence the 600 V auxiliary power circuits in the vehicle, at least to a certain extent.

Une protection contre les arcs électriques (conducteur de chute de cathode) est directement intégrée derrière le pantographe. Le conducteur peut également avoir une influence, du moins partielle, sur les circuits électriques auxiliaires à 600 V.



*Bremsenergie
wird in das
Bahnstromnetz
zurück gespeist.*

Der Fahrer gibt die gewünschte Beschleunigung und damit die Höhe der Stromaufnahme vor.

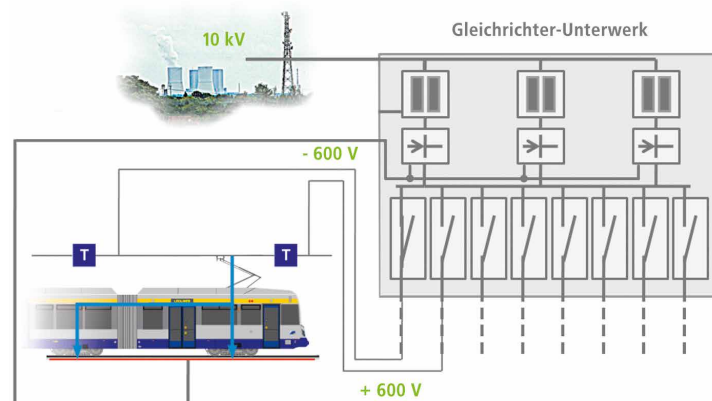


Il ne peut pas modifier la consommation du convertisseur, mais si la climatisation ou le chauffage à air frais doit être activé régulièrement en cabine, il peut le décider lui-même en toute connaissance de cause. Le convertisseur de pulsations directes et le transistor bipolaire à grille intégrée (IGBT) sont des éléments incontournables de la technologie de commande des tramways. Cette dernière fonctionne avec une grande précision et permet une consommation et une récupération d'énergie optimales.

3.2 Alimentation électrique

L'alimentation électrique s'effectue à partir de sous-stations. L'électricité produite par les centrales est transformée en tension plus basse, puis redressée. Ce courant continu est récupéré par une barre de collecte qui le réinjecte dans le réseau à l'aide de commutateurs, afin d'alimenter les véhicules.

Si un véhicule réinjecte de l'énergie de freinage, celle-ci suit la barre de collecte et peut être réutilisée sur toutes les voies qui dérivent de cette barre. Il existe également une connexion aux rails, sur lesquels se trouvent les câbles de renvoi, vers la sous-station.



L'adoption de véhicules à frein récupératif par les entreprises de transport et l'abandon des véhicules à commande par résistances permettent de faire baisser la consommation électrique globale. Là encore, un style de conduite raisonné et respectueux des passagers permet de réaliser des économies d'énergie supplémentaires.

3.3 Mesures de consommation électrique

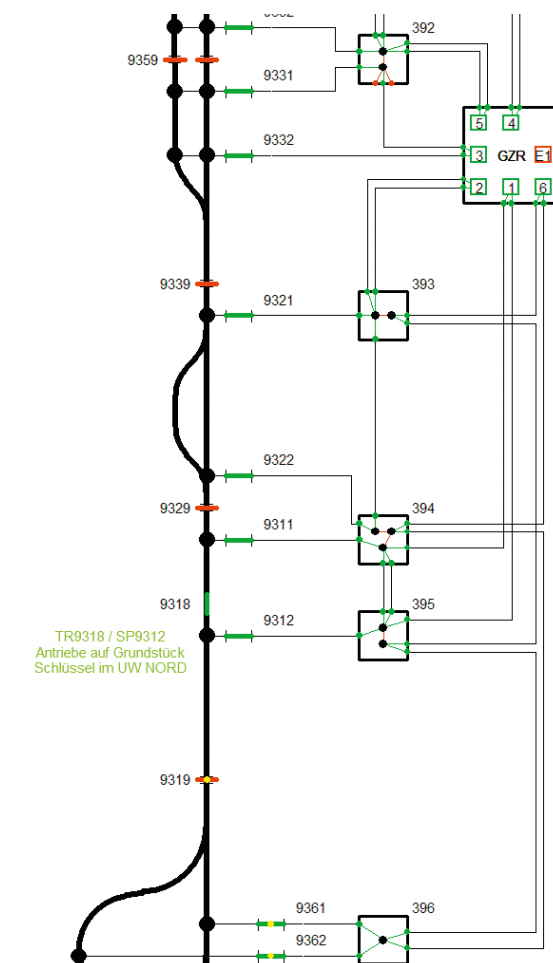
Le meilleur moyen de mesurer avec précision la consommation énergétique d'un conducteur consisterait à installer des appareils de mesure sur son véhicule. Il serait ainsi possible d'obtenir des valeurs de consommation en permanence. Cette méthode a le défaut d'être très coûteuse et n'est donc pas accessible à toutes les entreprises.

La protection des données constitue un autre obstacle dans certains pays, où la législation interdit de surveiller directement la consommation électrique d'un conducteur ou de ventiler des

La technologie la plus moderne reflète la qualité de celle qu'elle sert.

données le concernant. Si une entreprise envisage d'utiliser des appareils de mesure, elle doit donc vérifier à l'avance si cette démarche est autorisée par le cadre juridique ou son règlement intérieur (avec l'accord du comité d'entreprise). Un autre moyen, qui reste néanmoins onéreux et nécessite beaucoup de personnel, consiste à mesurer la consommation électrique aux points d'injection dans une sous-station. Toutefois, là encore, le conducteur ne doit pas être associé nommément à un trajet, selon le principe de la protection des données en vigueur dans de nombreuses entreprises, bien que cela soit théoriquement possible.

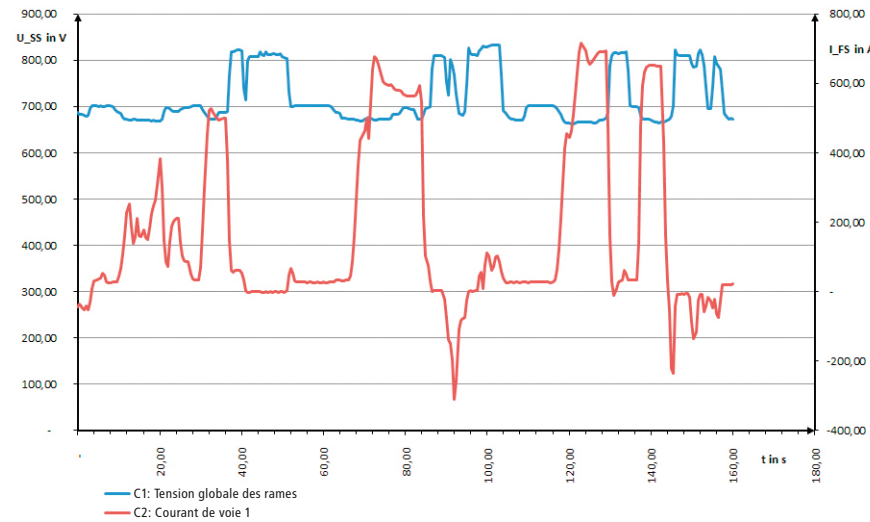
C'est cette solution qui a été choisie à Leipzig, par exemple. Une entreprise, qui fournit notamment un tronçon de voie monorail, a pris deux mesures : la première au début du projet avec un personnel non formé, et la seconde environ six mois plus tard avec un personnel formé. La quantité d'énergie de tous les tramways a été mesurée sur ce tronçon sur une journée entière. Chaque trajet a été mesuré manuellement au passage de deux points (un contacteur en début et fin de voie) à l'aide d'un déclencheur. 156 trajets ont ainsi été mesurés et évalués sur le tronçon monorail de la voie de mesure, d'une longueur d'environ 900 m (voir la photo de gauche). Des conclusions ont pu être tirées sur la consommation électrique par trajet à partir du diagramme illustré où figurent la tension, l'intensité, le type de voiture avec son numéro d'immatriculation, l'heure de passage, et le sens du trajet (à destination ou à partir du centre-ville).



Auf der Messstrecke wurden Spannungen und Stromstärken aufgezeichnet.



3.4 Évaluation des résultats des mesures dans l'exemple de Leipzig

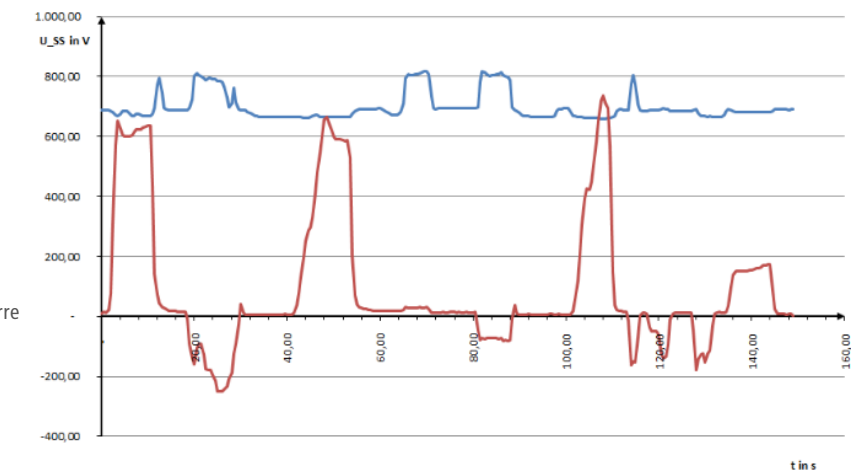


La courbe rouge représente l'activation du transmetteur de valeur de consigne par le conducteur. Elle indique qu'il a effectué un nombre très élevé d'accélération et très peu de marche sur l'erre. Le transmetteur de valeur de consigne n'a presque jamais été au point zéro. La courbe donne l'impression que le conducteur « joue » avec le transmetteur et qu'il le pousse et le tire en permanence pendant son trajet. Les parties où l'intensité du courant (courbe rouge) passe dans le négatif indiquent quand le conducteur freine. Si la tension (courbe bleue) s'élève dans le même temps, son véhicule peut utiliser l'énergie de freinage d'un autre tramway.

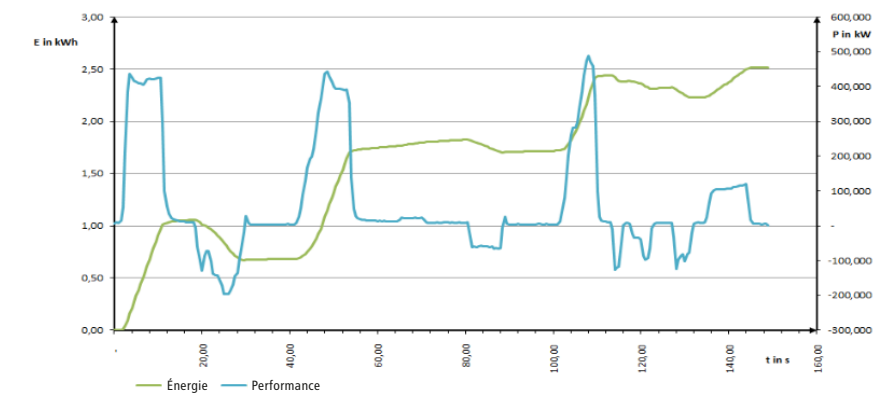
Selon cette courbe, **le conducteur a une conduite très peu économique!** La consommation électrique de ce trajet est de 5,1 kWh/km.

Les courbes de déplacement permettent de déterminer un style de conduite plus sobre en énergie pour l'entreprise, et de calculer la quantité d'électricité qu'elle pourrait économiser si tous les conducteurs respectaient cette « éco-conduite ». En outre, le temps passé à manipuler le déclencheur à la main est très important. L'exemple suivant illustre une tout autre situation que celle du diagramme illustré plus haut. La courbe obtenue est en effet totalement différente, alors que les conditions sont identiques. Elle montre distinctement que le conducteur accélère de façon raisonnée et marche sur l'erre de manière optimale.

Zéro = pas de marche sur l'erre

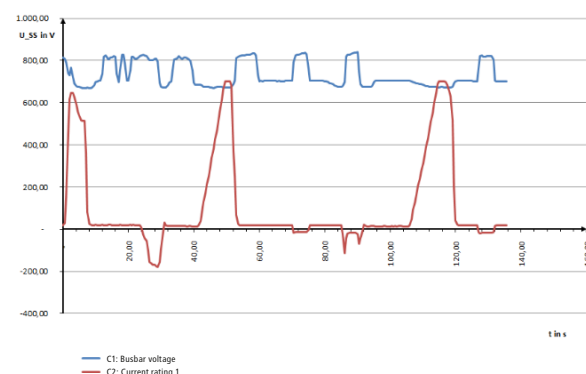


Zéro = pas de marche sur l'erre

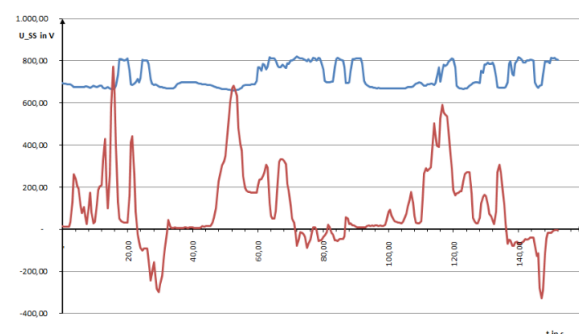


Son trajet a consommé 2,6 kWh/km (dans le diagramme ci-dessous, lire à droite → la courbe de déplacement (en bleu) et la courbe verte pour la consommation électrique). Cette comparaison montre qu'il est possible d'économiser encore plus d'énergie. La régie des transports de Leipzig s'est fixé un objectif réaliste de 3 % d'économie d'énergie en mettant en œuvre un programme d'éco-conduite.

Le parc roulant joue naturellement un rôle primordial. Il convient de noter que les véhicules les plus modernes sont malheureusement souvent les plus consommateurs d'énergie, le système de climatisation de la cabine passagers étant le plus énergivore. La climatisation de la cabine consomme près de 0,8 kWh par trajet mesuré. Il est certes possible techniquement de couper le système, mais c'est irréalisable dans la pratique, car les fenêtres de la cabine ne peuvent pas s'ouvrir. La plupart des passagers souhaite aujourd'hui bénéficier de la climatisation. L'entreprise d'exploitation doit donc peser le pour et le contre de ce service, si elle souhaite le proposer à sa clientèle.



Courbe du Tatra (commande à pédale)

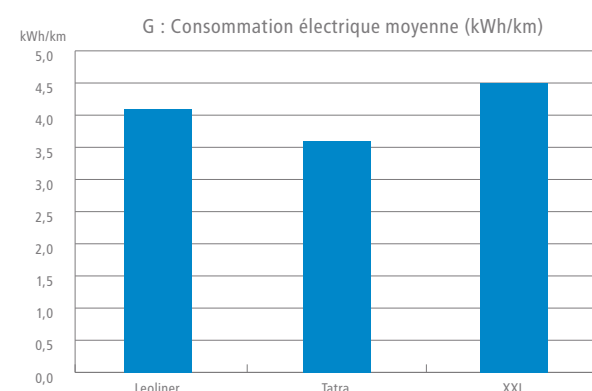


Commande du NGT 12 (transmetteur de valeur de consigne)

La comparaison entre les types de véhicules à Leipzig souligne que le modèle T4D-M à commande par hachage et à pédale est celui qui consomme le moins d'énergie. Il est frappant, voire curieux, de constater que les courbes de conduite du T4D-M (à commande à pédale) et celles des tramways à transmetteur de valeur de consigne sont extrêmement différentes. La plupart des conducteurs ont un style de conduite plus propre lorsqu'ils actionnent une pédale de traction et de frein. Ils accélèrent et roulent à la vitesse atteinte à l'aide de la pédale, pour laisser rouler le véhicule. Quasiment aucun style de conduite incorrect avec la commande à pédale n'a été observé.

En revanche, il a été constaté que la conduite sur tous les tramways à commande manuelle (manette) n'était « pas optimale » pour environ 40 % des conducteurs, ce qui naturellement est tout à fait contraire à une éco-conduite. Les courbes montrent que de nombreux conducteurs « jouent » avec la manette sans réfléchir (notamment avec la manette très sensible du modèle XXL NGT 12). Les résultats des mesures effectuées à Leipzig soulignent qu'il est important de sensibiliser les conducteurs afin qu'ils adoptent une éco-conduite.

Le diagramme en barres compare trois tramways en service à Leipzig. Le T4D-M (Tatra) de CKD Prag (exclusivement à commande à pédale, sans climatisation dans la cabine passagers) et dont une version plus moderne avec commande de hachage a été réalisée en 1994, le Leoliner NGT 6 (sans climatisation dans la cabine passagers) livré en 2006 par Heiterblick GmbH, et le NGT 12 (avec climatisation dans la cabine passagers), livré en 2006 par Bombardier.



Der Fahrgast nimmt eine vorausschauende und gleichmäßige Fahrt mit hohem Rollanteil positiv wahr.



Toute énergie consommée doit être payée!



Ces résultats suscitent les interrogations suivantes pour les agents d'exploitation des tramways en ce qui concerne l'éco-conduite : faudrait-il davantage insister à nouveau sur la commande à pédale? La commande à pédale pourrait-elle à elle seule contribuer à réduire la consommation électrique? Siemens fabrique par exemple le modèle « Avenio » avec commande à pédale, à la demande expresse d'un client en Belgique.

Dans le cadre de sa politique de développement durable, la régie des transports de Leipzig propose à ses conducteurs de tramways une formation de service pratique.

Un pack de formation leur est remis, comprenant un stylo à bille, un bloc-notes et un livret décrivant les consignes les plus importantes à respecter pour résoudre les incidents sur tout type de matériel. Les conducteurs obtiennent leur « permis d'éco-conduite responsable » et participent à un tirage au sort à la fin de l'année. Ils remplissent également un questionnaire à propos de leur formation en fin de session.

Le projet « ACTUATE » a été présenté à d'autres écoles de conduite de tramways. Trois ateliers de formation aux multiplicateurs ont été proposés à des instructeurs de conduite de tramways. L'éco-conduite est un sujet qui doit être étendu à toute l'Europe, car des économies d'énergie doivent être réalisées partout.



4 Incidents

De par la diversité des technologies mises en œuvre pour les tramways en Europe, il est impossible d'établir des généralités sur leurs dysfonctionnements. Chaque ville où est déployé un réseau de tramway a ses propres rames qui ont été fabriquées pour elle. Chaque rame est différente et adaptée aux besoins du client. Il est donc impossible de standardiser les rames dans le secteur des tramways. Chaque ville et chaque régie de transport ont leurs propres exigences.

Quelle que soit l'entreprise de transport, en cas d'incident, un principe prévaut toutefois : sécuriser, sauver, informer. En cas de dommages sur une caténaire, il faut faire attention aux parties en suspension qui sont toujours sous tension. Le site de l'incident doit être sécurisé pour éviter tout contact avec des pièces. Le courant continu est particulièrement dangereux car il peut provoquer un réflexe de non-lâcher et entraîner la mort s'il n'est pas immédiatement coupé. Dans une sous-station, l'interrupteur de voie permet normalement de couper le courant immédiatement. Toutefois, si la caténaire n'est pas en contact avec la terre, elle peut encore être sous tension.

C'est lorsqu'il touche cette dernière que le corps humain crée un contact avec la terre. L'interrupteur de voie peut alors mettre hors tension le tronçon, mais il est parfois déjà trop tard. La plus grande prudence est donc recommandée dans un environnement électrique. Les consignes de sécurité électrique en vigueur dans les différents pays doivent être respectées e

*Der Fahrer
handelt nach dem
Grundsatz:
SICHERN
RETTEN
MELDEN*



5 Rôle de l'école de conduite de tramways

Les écoles de conduite de tramways sont soumises à toutes les dispositions réglementaires en vigueur dans leurs pays respectifs et doivent proposer aux conducteurs une formation initiale et continue répondant aux plus hautes exigences de qualité.

Afin de proposer une formation à l'« éco-conduite » efficace, il faut d'abord s'intéresser au parc de matériel roulant existant. Comment les conducteurs vont-ils maîtriser leur véhicule? Les incidents sont-ils gérés en toute sécurité par les conducteurs? Quelle est la consommation électrique actuelle des tramways et quel objectif la formation permettra-t-elle d'atteindre?

Il faut veiller à définir un objectif réaliste, comme une diminution de la consommation de 3 % à Leipzig. Il faut également définir clairement les postes sur lesquels doivent porter cette réduction et une échéance pour atteindre l'objectif.

Il faut par ailleurs communiquer sur cet objectif, ce qui nécessite l'appui de l'équipe de direction de l'entreprise d'exploitation. L'objectif une fois atteint ne doit pas susciter l'indifférence. Il est également important de veiller à la pérennité de l'éco-conduite qui a été apprise.



*Es gibt nur eins,
was auf Dauer
teurer ist als Bildung:
keine Bildung!*

John F. Kennedy

Un programme d'e-learning, une nouvelle formation ou un quiz sous forme de carte postale peuvent y contribuer. Les expériences menées dans le cadre du projet ACTUATE ont démontré que des objets publicitaires (mug, lunchbox, stylo, etc.) offerts aux conducteurs des entreprises ayant participé au projet, pour les remercier de leur participation et leur rappeler leur formation, ont été très appréciés.

*La formation
correspond à la capacité
de pouvoir quasiment tout
réaliser, sans perdre son
calme ni sa confiance
en so*

La réussite de la formation dépend de la qualité de l'équipement du centre de formation et des compétences de l'instructeur, qui doit lui-même être convaincu de son sujet et se poser comme modèle et autorité. Une école de conduite doit avoir pour objectif d'exécuter toutes les tâches demandées avec une qualité optimale et selon les normes les plus strictes. Les instructeurs de conduite doivent eux-mêmes avoir été correctement formés et, dans la mesure du possible, avoir suivi une formation reconnue (maître, formateur, technicien). Ils doivent mettre à jour leurs connaissances et leur méthodologie en participant régulièrement à des formations continues.

Une formation de qualité dépend non seulement des véhicules disponibles et de la technologie de mesure, mais aussi des équipements du centre de formation. Ce dernier doit mettre à disposition des technologies modernes comme:

- un ordinateur portable
- un pointeur laser
- un tableau blanc ou noir
- un panneau d'affichage
- un tableau à feuilles mobiles

*Moderne Technik
in den Unterrichtsräumen:
Beamer, Laptop
Whiteboard, Flipchart,
Pinnwand*



6 Éco-conduite et horaire

Le conducteur doit être sensibilisé à l'éco-conduite décrite ici dès sa formation initiale. Il « oublie » par la suite cette éco-conduite pour différentes raisons.

Certains oublient toutes leurs bonnes intentions à cause du « degré d'efficacité de la feuille de route ». Pour établir une feuille de route efficace, l'entreprise de transport veut proposer le moins de services possible pour des raisons économiques. Moins de services, c'est aussi moins de conducteurs. Pour y parvenir, les périodes de service et de rotation au terminus doivent être les plus courtes possibles.

En cas d'itinéraire lent, d'embouteillage et d'incidents de service, certains conducteurs veulent rattraper leur retard de façon inconsidérée. Ils ne font qu'accélérer et freiner en roulant à peine sur l'erre. L'éco-conduite a-t-elle des conséquences si graves sur un horaire de tramway qu'il faille jeter toutes les bonnes intentions par-dessus bord? Non, car le conducteur ne conduit pas plus lentement, mais simplement de façon plus économique. Pour pouvoir mettre en œuvre une telle conduite, il est toutefois indispensable d'adopter une conduite anticipative.

Le conducteur doit apprécier les cas où il vaut mieux accélérer ou rouler sur l'erre, ce qui n'est pas toujours très simple. S'il ne peut éviter un embouteillage aux heures de pointe, il peut toujours essayer de conduire son véhicule à vitesse régulière et le plus longtemps possible. L'éco-conduite peut également se pratiquer à faible vitesse.

Elle doit également s'appuyer sur des composants techniques. Il est judicieux de définir les impacts des équipements de signalisation pour qu'un tramway puisse franchir un croisement sans s'arrêter. Le conducteur peut également profiter d'un dispositif intégré au tramway, qui lui indique si sa conduite est déjà efficace ou non (comme la consommation instantanée dans une automobile). Certains dispositifs indiquent également au conducteur s'il doit accélérer ou rouler sur l'erre.

Il n'est toutefois pas toujours simple de mettre d'accord tous les intéressés. En dernier ressort, chaque entreprise doit décider quelle série de mesures elle veut mettre en œuvre pour former son personnel à l'éco-conduite et la pérenniser.

*In der
Ruhe liegt
die Kraft!*



7 Formation

Il existe deux options pour la formation à l'éco-conduite. La première consiste à envoyer tous les conducteurs dans une école de conduite pour qu'ils soient formés par un instructeur. Cette option dépend de la taille de l'entreprise et du nombre d'instructeurs, ainsi que du taux de fréquentation de l'école de conduite pour des formations initiales. Cette décision doit également être prise par l'entreprise elle-même.

La deuxième option consiste à faire appel à des collaborateurs (par exemple, des instructeurs) pour qu'ils dispensent une formation intensive de base à l'éco-conduite, appuyée par des éléments de méthodologie. Ce personnel, qui a reçu la formation appropriée et qui est alors qualifié de « multiplicateurs », transmet ensuite ses connaissances aux agents de conduite. Le plan de formation doit être établi par l'école de conduite. Il doit tenir compte du parc de matériel roulant, de la topographie, des conditions de circulation en ville et des horaires de service (degré d'efficacité de la feuille de route existant dans l'entreprise). Le descriptif de la formation ne peut donc être que général. La formation aux multiplicateurs se déroule en deux étapes. La première correspond à la formation théorique des multiplicateurs à l'école de conduite. Elle couvre les thèmes suivants:

- ▶ Sécurité
- ▶ Dynamique de conduite
- ▶ Impacts de la dynamique de conduite
- ▶ Technologie du matériel roulant
- ▶ Alimentation électrique
- ▶ Protection de l'environnement de travail
- ▶ Résolution d'incidents
- ▶ Habitudes de conduite et économies d'énergie
- ▶ Pédagogie et conseils pour la transmission didactique du style de conduite

Le volet pratique consiste à s'entraîner à pratiquer une « éco-conduite ». Il s'effectue sous le contrôle et la direction de l'instructeur et permet de mettre en pratique les aspects théoriques (répétés) qui ont été appris. L'instructeur fournit à ce sujet des remarques méthodiques. Les multiplicateurs ainsi formés instruisent les apprentis-conducteurs en les accompagnant sur leur ligne de service. Cette conduite accompagnée doit durer un ou deux service(s) entier(s) (selon la longueur de la ligne).



Pour finir, les « règles d'or » de l'éco-conduite peuvent être communiquées aux conducteurs, sous la forme d'un livret dont le titre ferait référence à ces règles et dont le contenu expliquerait comment résoudre des incidents sur le parc roulant en activité. Afin de motiver les agents de conduite et les multiplicateurs, un système de classement des équipes de conduite peut être instauré, lesquelles peuvent être réparties entre un ou deux multiplicateurs. Le meilleur groupe du mois et ses multiplicateurs reçoivent alors une récompense. Autrement, la formation par les multiplicateurs ne pourra pas atteindre complètement le résultat escompté.

Règles d'or:

1. **Accélérer lentement et de façon régulière**
2. **Veiller à l'adhérence**
3. **Une fois la vitesse requise atteinte
passer en position zéro et marcher sur l'erre**
4. **Conduire systématiquement de façon anticipative**
5. **Commencer à freiner au moment approprié**
6. **Freiner sans à-coup**

Pour ancrer de façon pérenne l'éco-conduite chez les conducteurs, il faut toujours leur rappeler l'importance des économies d'énergie, par exemple à l'occasion d'une courte formation pratique programmée l'année suivante. À l'issue de leur formation d'un an divisée en modules de 3 heures, les conducteurs passent un test pratique dans leur école de conduite. L'apprentissage de l'éco-conduite est ainsi à nouveau contrôlé toujours dans un groupe de 4 à 5 personnes.

Les impacts sur la consommation énergétique doivent également être répétés dans la formation aux services:

- ▶ Style de conduite
- ▶ Conduite anticipative
- ▶ Entretien et maintenance du véhicule
- ▶ Impact de la circulation
- ▶ Topographie
- ▶ État des rails
- ▶ Type de véhicule
- ▶ Impact des passagers
- ▶ Motivation



8 Conclusion

Les économies d'énergie sont devenues un enjeu majeur dans toute l'Europe. Beaucoup de villes et de fabricants de tramways investissent énormément dans la recherche et le développement sur les mesures d'économie d'énergie et les énergies renouvelables. Ces investissements sont justifiés, car ils sont réalisés pour l'avenir et pour l'intérêt de tous. En effet, réduire la consommation d'énergie, c'est dépenser moins et protéger l'environnement. Comme dans les entreprises de transports, nous pouvons consommer moins d'énergie à titre privé. Utilisez-vous des appareils électriques basse consommation? Éteignez-vous toujours la lumière lorsque vous quittez une pièce? Laissez-vous votre téléviseur allumé même lorsque vous n'êtes pas devant? Vérifiez vous-même!

Extraits des médias et de la presse sur Internet:
Citation: Vienne, 10 juillet 2014
Contact presse: Veronika Gasser

«Plus de 13 % d'économie d'énergie
Objectif atteint pour le projet de recherche Ecotram

Le tramway « Energiespar » (Économie d'énergie) de la régie des transports de tramways de Vienne, en Autriche, était de service sur la ligne 62 dans le cadre du projet de recherche « Ecotram ». Son objectif : déterminer les économies d'énergie réalisables sur les équipements de chauffage, de ventilation et de climatisation des tramways à plancher surbaissé. Au cours des 10 derniers mois, l'EcoTram a recueilli des données importantes sur la consommation électrique lors des services avec passagers. Durant cette période, l'EcoTram a économisé près de 4 200 kilowatts-heure, soit une économie d'énergie de plus de 13 %, sur la ventilation, le chauffage et le refroidissement, ce qui correspond à la consommation annuelle d'un foyer autrichien moyen »

Cet article tiré de la presse locale montre combien cette thématique est importante pour tous et souligne dans quelle mesure chacun peut contribuer à économiser de l'énergie et à épargner les ressources. L'énergie doit être gérée avec soin et aucun gaspillage ne doit être toléré. Le chemin est long de la production jusqu'au consommateur.

Les résultats des mesures prises dans l'exemple de Leipzig donnent une idée des économies d'énergie qui peuvent être réalisées grâce à l'éco-conduite. Si votre entreprise souhaite réduire sa consommation électrique en formant son personnel dans ce sens, elle peut utiliser cette brochure, déterminer les caractéristiques de sa ville et mettre en pratique ce concept de formation.

Ce document, élaboré sous la direction des partenaires du projet ACTUATE à Leipzig, permet à votre entreprise d'initier une démarche d'économie d'énergie, en sensibilisant son personnel à l'éco-conduite.

Nous vous souhaitons beaucoup de succès !



Éditeur :



Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH
Georgiring 3, 04103 Leipzig - Allemagne
Téléphone : +49 (0341) 492-0
Télécopie : +49 (0341) 492-1005
E-Mail : info@lvb.de
Internet : www.lvb.de

Conception et rédaction :

Frank Hausmann
Renate Backmann

Version :

Décembre 2014
Sous réserve d'erreurs et de fautes d'impression.

Contact du projet :

Rupprecht Consult – Forschung & Beratung GmbH
Dr. Wolfgang Backhaus
Clever Straße 13 – 15
50668 Cologne - Allemagne
Téléphone : +49 (221) 60 60 55-19
E-Mail : w.backhaus@rupprecht-consult.eu
Internet : www.rupprecht-consult.eu

Conception graphique, mise en page et mise en œuvre :

HOFFMANN SCHAFT – Agentur für Werbung
Dufourstraße 4, 04107 Leipzig - Allemagne
Interne : www.hoffmannschaft.de

Crédits photographiques :

Joachim Donath, Archives LVB

Le contenu de cette publication n'engage que la responsabilité de ses auteurs. Il ne reflète pas nécessairement l'opinion de l'Union européenne. Ni l'EASME, ni la Commission européenne ne sont responsables de l'utilisation des informations contenues dans ce document.

Les partenaires du projet ACTUATE :



Le consortium ACTUATE réunit cinq opérateurs de transport à courte distance à Salzbourg (Salzburg AG, Autriche), Brno (DPMB, République tchèque, Parma (TEP S.p.A, Italie), Leipzig (LVB, Allemagne) et Eberswalde (BBG, Allemagne), qui utilisent déjà des tramways électriques, ainsi que le Bureau de la formation initiale et continue de Leipzig (LAB), le fabricant d'auto bus belge Van Hool et trolley:motion, une association internationale pour la promotion de systèmes de transports en autobus électriques innovants et non polluants (Autriche). La coordination du projet est assurée par le cabinet Rupprecht Consult GmbH (Allemagne).

*La formation
correspond à la
capacité de pouvoir
quasiment tout réaliser,
sans perdre son calme
ni sa confiance en so*



www.lvb.de
www.actuate-ecodriving.eu



Co-funded by the Intelligent Energy Europe
Programme of the European Union

actuate

