

Tramway écolomique sans fil

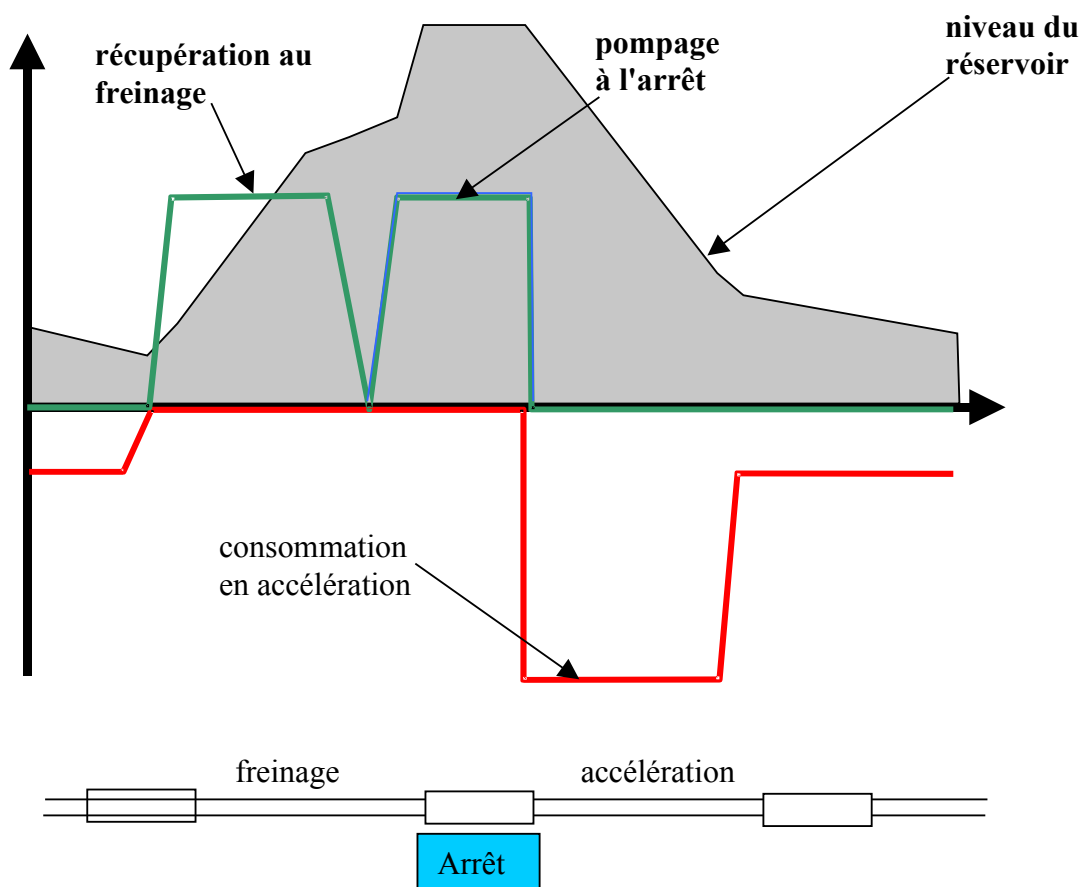
Difficile d'admettre que les fils du tramway sont esthétiques. Leurs supports encombrant les trottoirs, le ciel des places est encombré des stries noires des câbles qui survolent toutes les trajectoires. La sécurité et la fiabilité sont faibles.

Difficile aussi de voir partir en chaleur l'énergie dissipée lors des freinages qui sont par nature très nombreux.

L'idée est simple: Equipons le tramway d'un réservoir d'énergie, qui sera rempli lors des arrêts en station et par la récupération de l'énergie de freinage. L'énergie stockée servira alors au démarrage et au maintien de la vitesse en section courante.

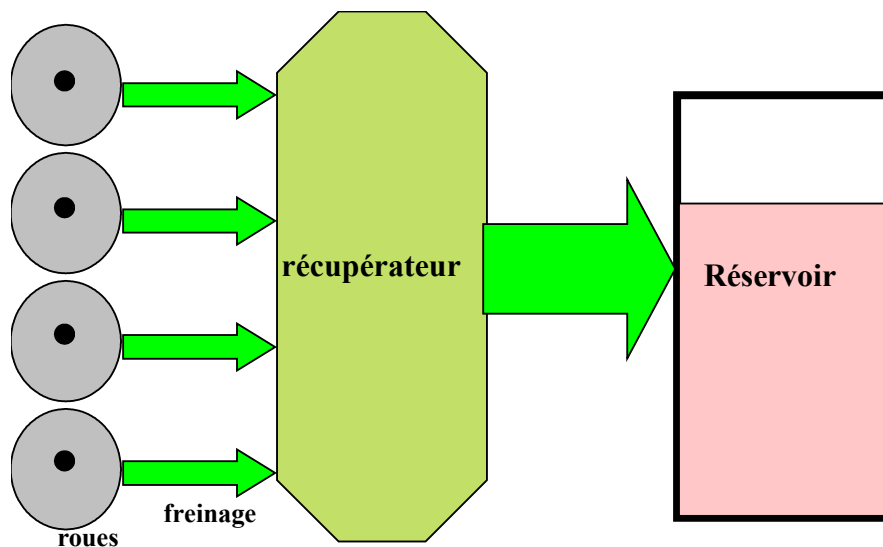
1 Récupération au freinage

L'énergie cinétique d'un tramway à 50km/h est considérable. Le tour de force a été de créer la puissance nécessaire pour accélérer le tramway de 0 à 50 km/h dans un délai à peu égal à celui du freinage de 50km/h à 0. Le deuxième tour de force serait donc de récupérer cette énergie actuellement dissipée en chaleur. C'est aujourd'hui un impératif écologique et économique, qui se chiffre en millions de kWh à l'échelle d'une seule ville.



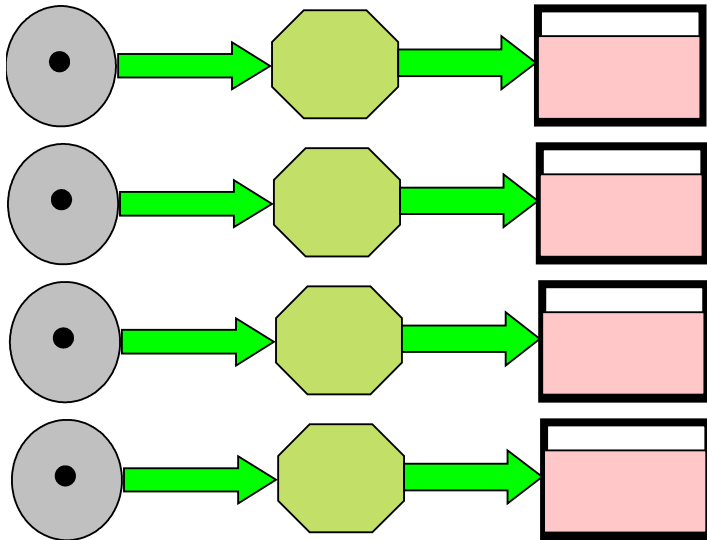
Le mot réservoir est utilisé ici pour mentionner le ou les dispositifs de stockage d'énergie. L'énergie peut être électrique, par exemple avec des supercapacités¹, mécanique par volant d'inertie, ou par système à ressorts, à fluide comprimé...

Une première idée à donner aux techniciens-chercheurs est que cette énergie récupérée n'a pas besoin d'être stockée dans un réservoir "sans fuites", puisqu'elle sera réutilisée quelques secondes seulement après avoir été récupérée. Par exemple, les volants d'inertie actuels sont conçus pour que la vitesse de rotation décroisse très lentement, obligeant à une chasse délicate au moindre frottement. Ici, on peut tolérer que l'axe de rotation ne soit pas parfait, que le volant soit plus massif et tourne moins vite si cela peut faciliter la récupération de beaucoup d'énergie en peu de temps. Autre exemple, les supercapacités peuvent admettre de laisser fuir 10% de leur charge par minute, si cela peut permettre de les charger complètement en quelques secondes.



La deuxième idée est que la récupération de toute l'énergie de freinage par un système unique est sans doute plus difficile que la récupération de l'énergie par plusieurs systèmes en parallèle. Cela rejoint le problème de l'énergie de traction. Aujourd'hui, on sait faire des moteurs-roues électriques ou hydrauliques. Chaque roue est motrice. Pourquoi ne pas imaginer que chaque roue soit autonome en traction et en récupération?

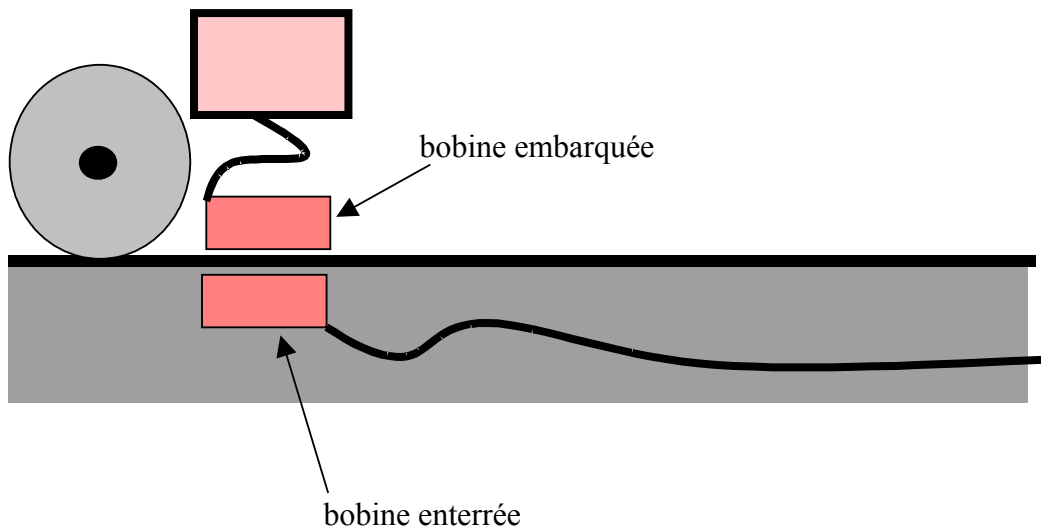
¹ Les batteries ne semblent pas adaptées: problème pour les charge rapide, rendement déplorable du cycle charge-décharge



2 Pompage d'énergie à l'arrêt

Le tramway est à l'arrêt environ 20% de son temps d'exploitation (sections de 500m, arrêts de 20s, vitesse maximale de 10m/s, accélération de 0,5m/s/s)

En restant dans le domaine de l'énergie électrique, le couplage inductif est réalisable, à condition que le tramway puisse s'arrêter avec grande précision. Il est équipée d'une bobine agissant comme le secondaire d'un transformateur au-dessus d'une bobine enterrée agissant comme le primaire de ce transformateur ainsi constitué.



Lorsque le tramway est arrêté, on note qu'il ne se sert plus des systèmes de récupération d'énergie. Ceux-ci peuvent, si la technologie le permet, être aussi utilisés pour continuer à remplir les réservoirs d'énergie (mécanique, inductive, hydraulique, à compression de fluide, ...).

L'énergie à pomper n'est pas énorme, puisqu'elle ne servira qu'à entretenir la vitesse en section courante et à compenser les pertes de la phase d'accélération, et les pertes du système de récupération d'énergie.

Le couplage inductif à partir de la chaussée est intéressant au niveau de la sécurité, puisque l'énergie n'est distribuée qu'en présence d'une bobine de transformation.

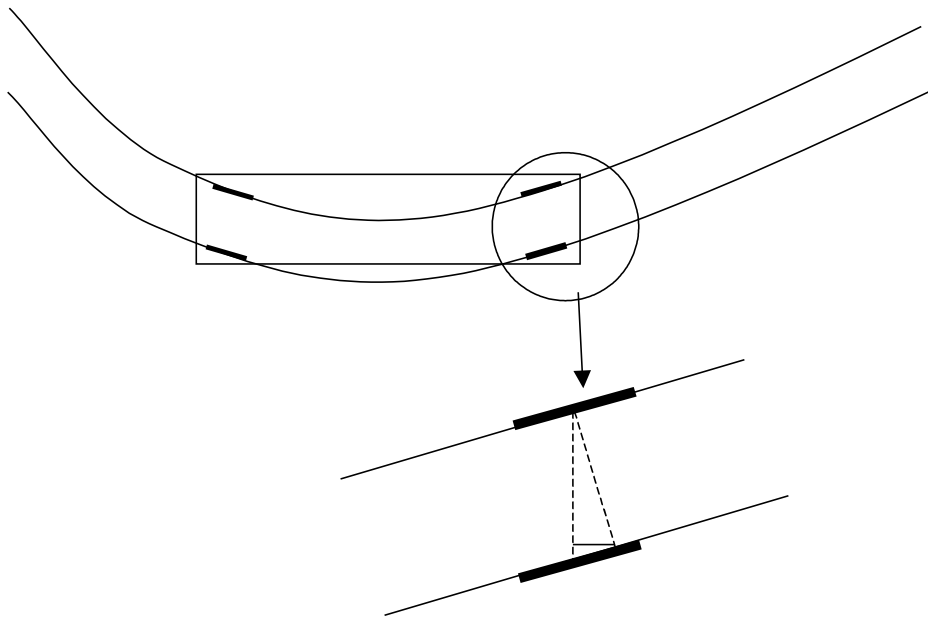
Là encore, on peut imaginer un couplage inductif par roue.

3 Essieux nécessaires?

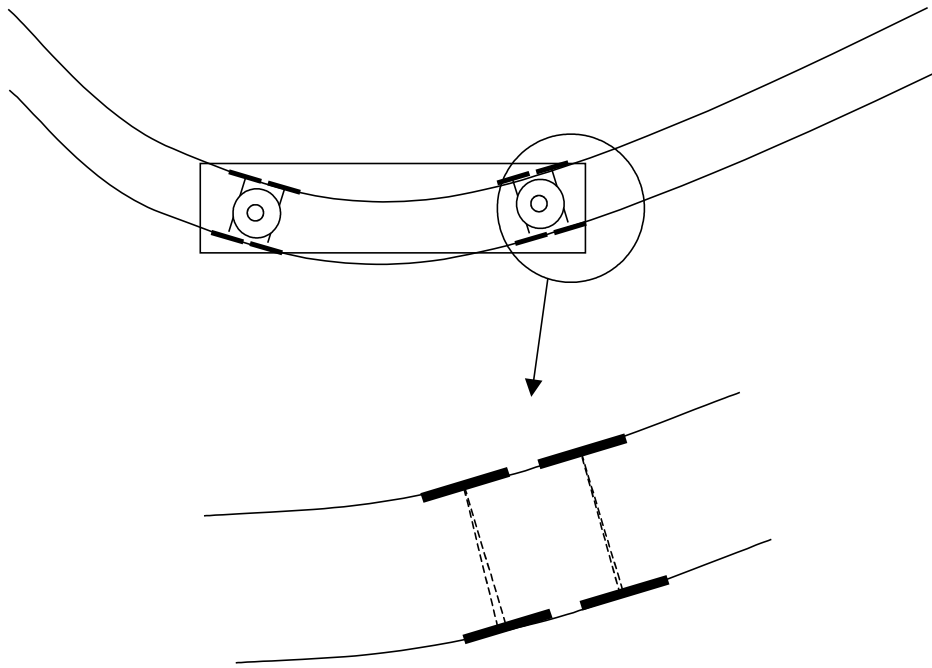
Si la traction se fait à raison d'un moteur dans chaque roue, d'un système de récupération de l'énergie de freinage dans chaque roue et d'un système de pompage d'énergie à l'arrêt dans chaque roue, on peut imaginer un système intégré où l'essieu n'a plus sa raison d'être, à condition de résoudre le problème des virages.

Si l'axe vertical qui tient la roue est libre, la roue peut-être guidée simplement par la gorge du rail.

Lorsque les roues sont sur un essieu, celui-ci est constamment perpendiculaire aux deux rails. Si l'essieu est fixe par rapport à la caisse, les roues sont alors soumises à un glissement latéral. Le système des roues sans essieu (et sans bogie) pose un problème de glissement de grande amplitude, incompatible avec les rayons de giration des tramways.



Le problème est résolu par le double essieu orientable qui réduit au minimum les contraintes géométriques.



L'inconvénient du bogie est qu'il rehausse le plancher. Si l'on veut que le plancher soit surbaissé sur l'ensemble de la rame, par exemple pour permettre des rames à deux étages, il faut cependant se passer de bogie.

La solution est alors de supprimer les rails au profit du pneu.

4 Guidage

Un tramway sur pneu n'est pas un bus. Il circule sur un site privilégié et n'a pas à se déporter sur le côté lors des arrêts. Roulant toujours au même endroit, sa plate-forme peut être la plus plane possible pour éviter les secousses et permettre d'abaisser sa garde au sol. Le plancher bas facilite les échanges des voyageurs.

Au guidage latéral, on peut ajouter le guidage des arrêts, pour que le tramway s'arrête précisément en face des repères de montée où se groupent les voyageurs en attente.

Parmi les systèmes de guidage², notons le guidage par piste de ferrite magnétique douce. Le détecteur placé à bord du véhicule détecte la position de cette ferrite sélectivement de toute ferraille.

La ferrite peut être en poudre noyée dans une peinture que l'on marque sur la chaussée. Cette marque peut servir à délimiter l'emprise du tramway³. Cette poudre peut aussi être incluse dans un liant bitumineux que l'on coule dans une saignée longitudinale.

La ferrite peut aussi être déposée sous forme de barreaux frittés insérés en pointillés dans la chaussée avec une inter-distance fonction de la vitesse maximale admissible.

On voit que ce type de piste passive ne réclame aucune continuité mécanique ou électrique⁴.

² Le guidage par station GPS paraît difficile à réaliser, sauf à multiplier les stations, car la rue est siège d'ombres hertziennes fixes (immeubles, arbres) et mobiles.

³ Il est important que le tramway affirme sa priorité sur la voiture, par le biais d'une trajectoire non modifiable respectée par les automobilistes, particulièrement dans les carrefours ou les étroitures.

⁴ Ce principe a été utilisé lors des essais de l'autoroute automatique à San Diego. La technologie est brevetée en France par MTM Leader, initialement pour le guidage des aveugles. Elle a été expérimentée pour le guidage des chasse-neige. Cette expérimentation a été abandonnée pour des raisons de développement industriel.

A noter aussi que l'avantage d'un tramway par rapport à un bus est sa capacité à emprunter des rues étroites, avec des balayages plus faibles dans les virages serrés, du fait que les roues arrières sont astreintes à la même trajectoire que les roues avant. Le tramway sur pneu ne doit pas déroger à la règle. Le chemin de roulement peut être aussi précis que celui des rails.

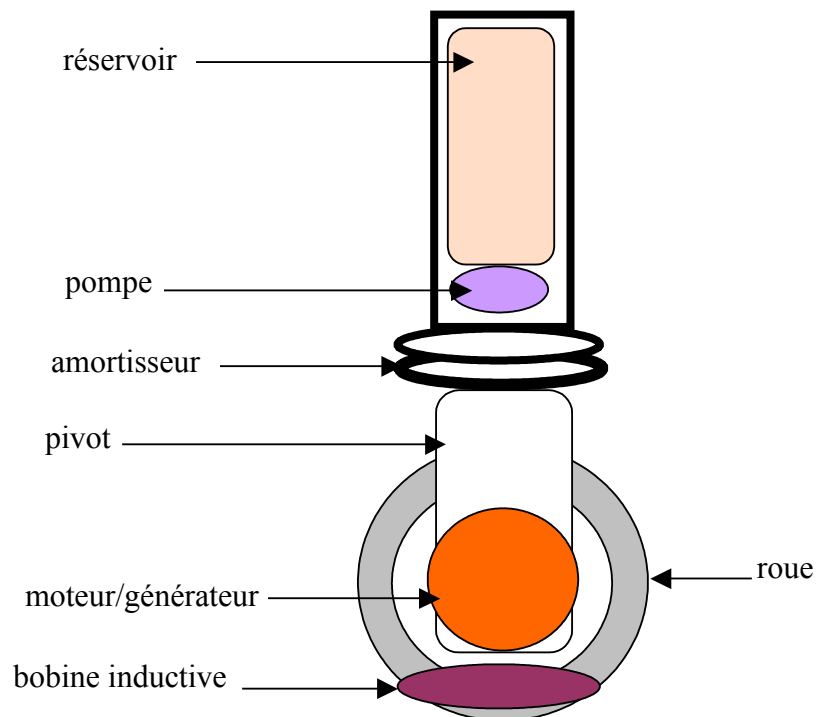
5 Conclusion

Un tramway sur pneu, guidé par une piste de ferrite semi-magnétique passive avec un arrêt précis au centimètre près.



Chaque roue appartient à un bloc autonome comportant:

- l'interface amortisseur entre la roue et la caisse,
- le pivot vertical de direction,
- le moteur/générateur de traction et de récupération d'énergie au freinage,
- la pompe d'énergie électrique au sol,
- le ou les réservoirs d'énergie.



6 Plate-forme de roulement

Les plate-formes de tramway sur rails sont très couteuses. En général, pour obtenir l'assise la plus plane possible pour les rails et pour assurer la sécurité électrique, la chaussée est défoncée en profondeur, avec reprise de la continuité de tous les réseaux souterrains, très

nombreux et divers en ville (EdF, Gdf, Eau, égout, pluvial, eau d'arrosage, téléphone, câbles data, air pulsé, éclairage,...).

Un tramway sur pneu ne devrait pas nécessiter de reprise de la chaussée. Il convient seulement de rendre visible le chemin de roulement, afin que les automobilistes, les cyclistes et les piétons comprennent où circulent le tramways, sauf à vouloir un tramway en site propre.⁵

On peut imaginer un enduit granuleux ou un tapis polymère collé ayant la largeur d'un pneu, posé après un arasage de quelques millimètres pour éviter une saillie préjudiciable à la viabilité hivernale.

En section courante, il n'y a pas de problème de sécurité électrique, puisque la recharge en énergie électrique se fait uniquement aux arrêts, à partir d'un simple compteur domestique.

Une puissance de 36kVA délivrée pendant 20 sec sur chacune des quatre roues fournira 800Wh, énergie moyenne suffisante pour compenser les pertes entre deux stations.

⁵Le site propre conduit à des dépenses collatérales démesurées. La rue doit rester un espace de partage simple, à taille humaine.