

Pour une expérimentation d'un TER au GNV

Depuis quelques semaines, la sortie d'un autorail ALSTOM en Allemagne fonctionnant à l'hydrogène, occupe beaucoup les conversations.

Comme d'habitude, beaucoup d'élus, prêts à sauter à pieds joints sur la moindre nouveauté, s'enflamment, et sans rien y connaître, décrètent que le Graal de la transition énergétique, c'est à dire l'Hydrogène, va rapidement s'imposer dans les transports.

Récemment, au cours d'une réunion dans les locaux de RFF à Marseille, alors que nous évoquions de possibles électrifications de lignes souhaitables en PACA, n'avions nous pas rencontré 2 ingénieurs qui nous répliquèrent, le plus sérieusement du monde :

**" Les électrifications ? C'est fini !
Les trains vont s'électrifier eux mêmes grâce à l'Hydrogène ! "**

Il est donc facile de comprendre pourquoi la sortie de cet autorail ALSTOM a pu échauffer les esprits à ce point.

Quelles solutions pour "verdir" les TER ?

D'autres élus, d'autres techniciens, n'ont pas voulu mettre la charrue avant les bœufs et ont commencé par étudier la question, et la plupart du temps, leur conclusion n'est pas du tout favorable à l'Hydrogène.

La FNTV, Fédération Nationale des Transports de Voyageurs - en fait le syndicat professionnel des autocaristes en France - s'est posée les mêmes questions sur le verdissement des autocars, spécialement sur des distances importantes de l'ordre de 1000 km.

Certes, il peut exister des autocars électriques, mais l'autonomie est encore limitée, même au prix d'un surpoids de batteries assez important.

Coté Hydrogène, l'obligation de manipuler des pressions très importantes, de l'ordre de 700 bars sur les autocars pour garantir 1000 km [1], sans compter le coût réel de production de l'hydrogène, qui provient dans plus de 90 % des cas des énergies fossiles par le procédé de reformage du méthane, fait reculer beaucoup de monde.

Dans un magnifique document consacré à toutes les solutions possibles pour verdir les autocars, le choix de la FNTV est sans ambiguïté : elle conseille vivement le GNV - Gaz Naturel pour Véhicules ! [2]

Dans un éditorial de Rail-Passion ? N° 304 de Février 2023, Philippe Hérisse reprenait une étude de Reinhard Christeller, ingénieur bien connu dans le monde ferroviaire, et publie les pourcentages d'énergie initiale arrivant à la roue, selon les différentes technologies utilisées.

Ces chiffres représentent certes une valeur moyenne, quelque peu variable selon les conditions, mais ils n'en sont pas moins éloquents :

- 75 % de l'énergie initiale parvient à la roue dans le cas de la caténaire;
- 63 % dans celui des batteries avec charge intermédiaire;
- 56 % dans celui des batteries avec charge en extrémité de ligne;
- 20 % dans celui de l'hydrogène avec pile à combustible; et seulement
- 16 % dans celui de l'hydrogène avec moteur thermique.

En d'autres termes, il faut consommer quatre fois plus d'énergie pour la traction d'un train à hydrogène que pour celle d'un train sous caténaire ! Quant à l'acheminement de l'hydrogène nécessaire sur le lieu de stockage, il nécessitera 12 semi-remorques là où un seul aurait suffi avec un carburant fossile ...

1 - Contre 350 bars sur un autorail où il y a davantage de volume et où le surpoids est plus tolérable

2 Document FNTV - Quelles filières énergétiques pour les autocars ?

<https://www.fntv.fr/communication/communiqués-de-presse/article/transition-energetique-quelles-filieres-pour-les-autocars>

Il apparait comme évident que l'autorail à Hydrogène ne sera pas la solution pour "verdir" la traction ferroviaire, à moins d'admettre un rendement "du puits à la roue" déplorable [3], ainsi que des coûts d'acquisitions et d'exploitation particulièrement élevés, ce qui n'est pas vraiment le but recherché en ce qui concerne les petites lignes dont le ratio dépenses / recettes n'est déjà pas du tout favorable.

Les moteurs des TER et des autocars sont en fait très voisins, même si la plupart du temps les TER disposent d'une puissance beaucoup plus importante, mais en fait, ce surcroît de puissance ne provient pas seulement de la puissance unitaire des moteurs, mais plutôt de la multiplication du nombre de moteurs.

Si l'on considère les matériels TER suivants (partie thermique uniquement) :

- X 72500 : 4 moteurs MTU D 2866 LUE 602 6 cylindres en ligne de 300 kW pour 2 caisses, soit 1200 kW pour la traction (+ 1 moteur auxiliaire par caisse Perkins/Mecalte de 135 kW pour la climatisation)
- X 73500 : 2 moteurs MTU D 2866 LUH 21 12 L 6 cylindres en ligne de 257 kW pour une seule caisse de 50 t
- AGC Bombardier : 2 moteurs MTU de 622 kW pour 4 mini-caisses
- Régiolis ALSTOM : 1 power-pack avec moteur MTU de 300 kW situé en toiture de chaque caisse, dont le nombre peut être de 3, 4 ou 6.

On remarquera la remarquable communalité de tous ces moteurs, différents sur le plan de la puissance, mais avec l'architecture du même constructeur allemand.

Les transports sont souvent cités en priorité en ce qui concerne la pollution et la production de CO2. Il est clair que les principaux coupables sont les transports routiers, que ce soit les voitures particulières (près de 30 millions en France) ou les camions pour le transport des marchandises (environ 300 000 en France).

Pourtant, certains ne manquent pas d'accuser le chemin de fer diesel, alors qu'avec les électrifications, plus de 80 % du trafic est assuré avec un mode de traction "propre".

En conséquence, les esprits s'agitent pour "verdir" la traction diesel, et comme les élus ne sont sensibles qu'à la nouveauté, les constructeurs en profitent pour glisser les solutions présentées comme les plus "innovantes", par exemple l'Hydrogène (coût et rendement catastrophique) ou la marche sur batteries (coût élevé et autonomie assez faible, mais envisageable entre 2 îlots électriques).

Dans les 2 cas, ces technologies n'offrent pas des puissances ou des autonomies suffisantes pour répondre **à elles seules** aux besoins des lignes de la région PACA, sauf pour quelques lignes au profil favorable, par exemple la Côte Bleue.

On peut citer également le cas de la RATP en région parisienne, qui après avoir annoncé des commandes très importantes de blue-bus électriques Bolloré, opère un sacré retour en arrière pour cause de coûts trop élevés au regard d'un service intensif, mais aussi quelques cas d'incendies spontanés en plein Paris dus à des défauts de jeunesse des batteries au lithium, avec destruction totale du bus.

La RATP opère donc un virage vers le GNV, et c'est exactement la position que défend la FNTV, suite à son intéressante étude comparative déjà citée [4]

Vive le GNV ! Mais GNC ou GNL ?

Le GNV, composé d'au moins 85 % de méthane est principalement d'origine fossile, souvent en parallèle avec des gisements de pétrole. Il existe aussi du gaz issu de fermentation de matières

3 Voir sur le site de la FNAUT-PACA : 137CJ A - Autorail hydrogène ALSTOM et 137CJ B - Hydrogène : du puits à la roue

4 Pour Rappel, l'électricité et l'Hydrogène ne sont pas des énergies, mais des vecteurs, car il faut les produire avant de les utiliser. Ce sont donc des modes dits "propres" uniquement si leur mode de production l'est également. Or, 96 % de l'Hydrogène est produite à partir d'énergies fossiles, en particulier le méthane.

organiques, souvent agricoles, donc renouvelable, alors que son pseudo caractère écologique est fortement remis en cause.

L'agriculture a pour mission de nourrir les hommes, mais on assiste à des détournements peu soutenables, comme cet éleveur de vaches laitières qui gagne aujourd'hui plus d'argent avec son "digestat" et qui annonce sans scrupule que bientôt, il jettera le lait !

En Allemagne, plus de 2 millions d'hectares sont consacrés à la production agricole énergétique.

Le GNV est plus léger que l'air, c'est pourquoi les réservoirs seront toujours situés en toiture.

Dans la famille du GNV, on trouve 2 modes d'utilisation différentes, pratiquement équivalents en termes écologiques :

- le GNC, **Gaz Naturel Comprimé** :

Le pouvoir calorifique d'1m³ de gaz à pression atmosphérique et à température ambiante est sensiblement équivalent à celui d'un litre de gazole. Ceci impose un stockage sur le véhicule sous haute pression, par exemple 200 bars sur une automobile, mais jusqu'à 700 bars sur un autocar afin d'avoir une autonomie suffisante (1000 km).

Il s'agit d'une technologie mature et c'est le mode d'utilisation du GNV le plus développé.

Le Conseil Régional PACA ainsi que la Métropole AMP se sont fortement engagés dans un programme d'expérimentation d'autocars au GNC.



Photo prise au sommet du Mont Ventoux lors de l'expérimentation réalisée dans le Vaucluse en juin 2017 avec un autocar MAN

© Grégory Grandel

(Document FNTV)

- le GNL, **Gaz Naturel Liquéfié**, qui permet à des Poids Lourds d'atteindre une autonomie de 1000 km. Le gaz est à - 161°C à la pression atmosphérique, mais l'une des difficultés est de le maintenir à cette température sur un véhicule. Étant donné que dans notre étude il s'agit de l'adaptation de matériels ferroviaires existants au GNV, les réelles difficultés d'installation de réservoirs cryogéniques à double paroi, ainsi que les procédures complexes pour le ravitaillement (par exemple personnel spécialement formé et revêtu d'une tenue spéciale) nous incite à écarter le GNL. D'autre part, les coûts de transports et de stockage spécifiques au GNL, sont vraisemblablement bien plus élevés que ceux du GNC

Pour une expérimentation d'un TER au GNV

Il nous semble donc indispensable de mener une expérimentation pour l'adaptation d'un moteur diesel de TER au GNV. Il ne s'agira que d'une installation prototype, destinée à évaluer cette solution dans un environnement ferroviaire, mais étant donné la grande communalité des différents moteurs diesel des TER SNCF, elle pourra bénéficier à l'ensemble des TER thermiques, afin de décider ensuite de l'ampleur de la transformation éventuelle d'une partie du parc.

Rame tricaïsse X 72500 expérimentale (voir schéma page 5)

Il nous semble que ce type de rame est idéal pour notre expérimentation :

- une rame bicaïsse offre 4 grandes salles voyageurs alors que la rame tricaïsse en offre 6, dont l'une - dans la remorque centrale - peut être réservée à l'implantation d'un petit laboratoire
- ce même laboratoire peut comprendre un local isolé fermé contenant les réservoirs de gaz, près d'une fenêtre dont la vitre aura été remplacée par des ouïes d'aération communiquant avec l'extérieur
- la motrice 1 sera entièrement convertie au mode GNV (sauf moteur Perkins de climatisation), soit 2 moteurs de traction, mais de types différents, le premier étant un moteur retourné chez le constructeur pour adaptation au GNV, le second étant un moteur neuf appartenant au catalogue des moteurs GNV de MAN, choisi dans la gamme la plus proche du premier
- la motrice 2 sera conservée en l'état avec ses 2 moteurs diesel d'origine
- tous les moteurs de la rame effectueront donc strictement le même programme de traction, permettant ainsi d'utiles comparaisons entre les 2 modes

Bien entendu, le but n'est pas d'envisager la transformation d'une partie du parc des X 72500 au GNV - car beaucoup de ces rames, mal aimées de la clientèle et peu fiables, sont proches de la réforme - mais seulement de tirer tous les enseignements possible de la technologie du GNV dans un milieu ferroviaire.

En fait, le matériel le plus probable devant bénéficier d'une adaptation au GNV serait plutôt le X 73500, seul matériel monocaïsse de la SNCF, très bien adapté à l'exploitation des petites lignes, donc les moins susceptibles de bénéficier un jour d'une électrification.

Certes, il ne s'agit pas d'une solution totalement décarbonée, mais la fin du diesel au profit du GNV serait déjà une importante avancée écologique et technique, dont on rappellera brièvement tous les avantages :

- suppression des particules fines
- production de CO₂ un peu plus faible
- diminution du bruit moteur (près de 50%),
- plus faible usure des moteurs
- espacement des vidanges
- énergie en passe de connaître un fort développement dans les milieux routiers : bus urbains, autocars, camions
- rechargement en carburant facile

Les inconvénients sont relativement mineurs, dont le principal est une diminution de la puissance d'environ 10 %, mais adapter un autorail au GNV ne consiste pas seulement à installer un réservoir et à transformer un moteur, il ne faut pas oublier toute une chaîne de petits équipements de sécurité.

Il faut tenir compte également des contraintes assez sévères liées à la législation.

Par exemple, voir : INRS - *Véhicules fonctionnant au gaz naturel, intervenir en sécurité.*

ED 6003 - mars 2010

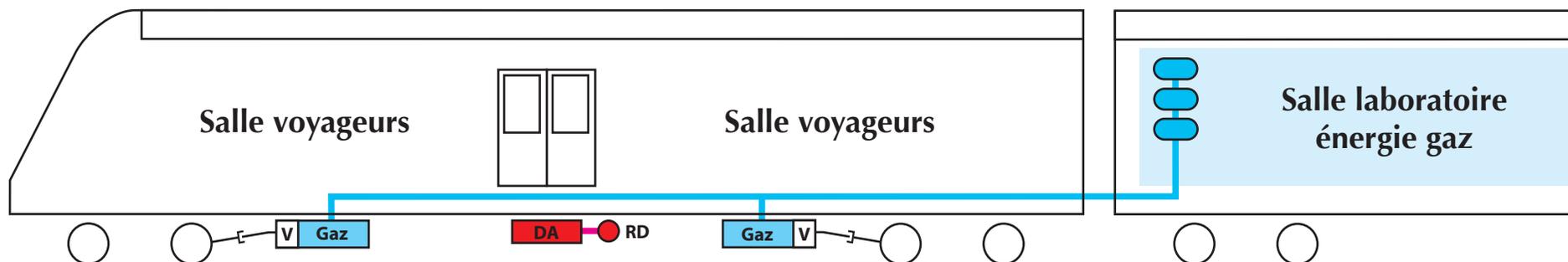
Il y a même aujourd'hui des normes européennes.

Les ateliers de maintenance demandent des mesures de sécurité spécifiques (voir document FNTV).

Dans la suite du document, on trouvera un schéma de la rame tricaïsse expérimentale, puis quelques réflexions sur l'adaptation du X 73500 au GNV.

Rame tri-caisses X 72500 expérimentale

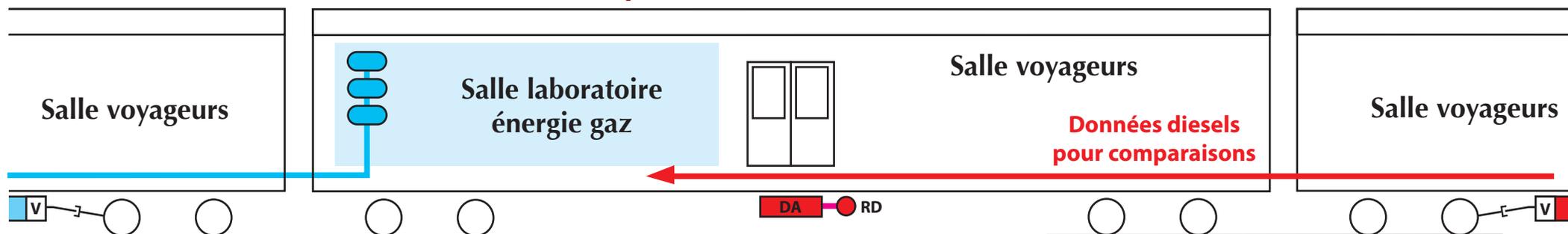
Motrice 1 mode GNV



Motrice 1 GNV

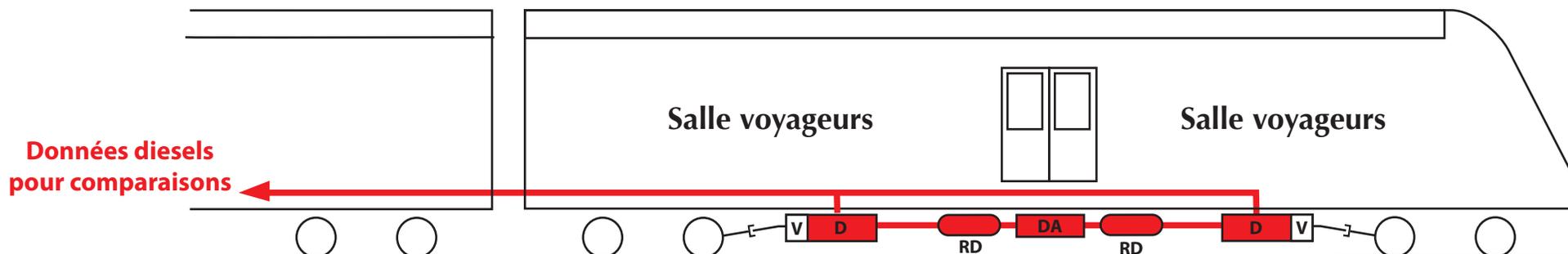
Remorque centrale avec laboratoire GNV

Motrice 2 diesel



Remorque centrale

Motrice 2 mode diesel



Moteur de traction GNV avec boîte Voith



Moteur diesel pour les auxilliaires + son réservoir



Moteur de traction diesel avec boîte Voith

Adaptation du X 73500 à l'énergie gaz

L'automoteur X 73500 est le seul matériel monocaisse de la SNCF, bien que pour de sombres histoires de shuntage, il circule maintenant presque toujours par 2 unités.

Forte de 318 unités, auxquels il faut ajouter les 19 X 73900 aptes à circuler sur le réseau allemand de la DB, cette grosse série d'appareils désignés ATER est la plus importante jamais acquise par la SNCF.

Construits par Alstom-De Dietrich et Alstom LHB (Linke-Hofmann-Busch) cotraitant du précédent, cet autorail, d'une **longueur hors norme de 28,90 m**, montés sur deux bogies avec deux portes de 1,30 m par faces à accès surbaissé favorisant le transport des personnes handicapées, est mus par deux moteurs diesels MAN D 2866 LUH 21 à six cylindres en ligne, de 257 kW, développant ensemble 514 kW, et disposés transversalement sous les cabines de conduite.

La transmission au seul essieu voisin du bogie se fait par une boîte hydrodynamique Voith, ce qui donne une disposition A1 + 1A. Cet engin dispose de la climatisation, et sa suspension bien étudiée le rend très confortable.

Sa vitesse limite est de 140 km/h, soit bien au delà des besoins de la majorité des petites lignes.



Les 2 moteurs sont situés chacun sous une cabine de conduite.

On voit distinctement sur les cotés les ouïes d'aération.

Le bruit des moteurs est donc rejeté loin des salles voyageurs.

Le confort du X 73500 est supérieur à celui du X 72500, et même de l'AGC, phénomène encore plus discernable sur mauvaises voies.

Longueur : 28,9 m

Masse : 48 t à vide, 54,48 t en ordre de marche

Bogie : Y 265 avec roues neuves de 920 mm

Suspension primaire à ressorts, secondaire coussin pneumatique

Réservoir : 900 l

Moteur MAN D 2866

LUH21- 257 kW - 1020 kg, 2250 tr / mn

Attelage automatique intégral Scharfenberg avec coupleurs électriques et pneumatiques

Possibilité de marche en UM jusqu'à 3 unités

Ses 2 moteurs MAN de 257 kW le situe dans la classe de ceux des autocars les plus modernes.

Le constructeur MAN offre une très large gamme de moteurs au GNV, comme ceux de la gamme Lion's City.

**75 ANNÉES DE SAVOIR-FAIRE MAN
DANS LE GNV**



MAN Lion's City G : une alternative au diesel respectueuse de l'environnement.

Conçu pour répondre aux obligations environnementales de plus en plus strictes, à un trafic routier urbain en forte croissance et à l'idée d'une ville verte, le MAN Lion's City G offre une rentabilité maximale : plus efficace grâce au système MAN EfficientHybrid, plus silencieux pour un confort amélioré, possédant une autonomie minimale de 500 km et une transmission robuste.
Pour un avenir propre avec une technologie innovante et durable.

Le même constructeur qui a fourni les moteurs du X 73500 possède donc toute une gamme de moteurs GNV, dans des puissances voisines de celle de notre autorail, en n'oubliant surtout pas d'aller voir aussi dans la gamme des Poids Lourds.

L'adaptation de l'ATER au GNV est donc à priori une opération relativement facile à mettre en œuvre.

La vraie difficulté de l'adaptation de l'ATER au GNV ne se situe pas là.

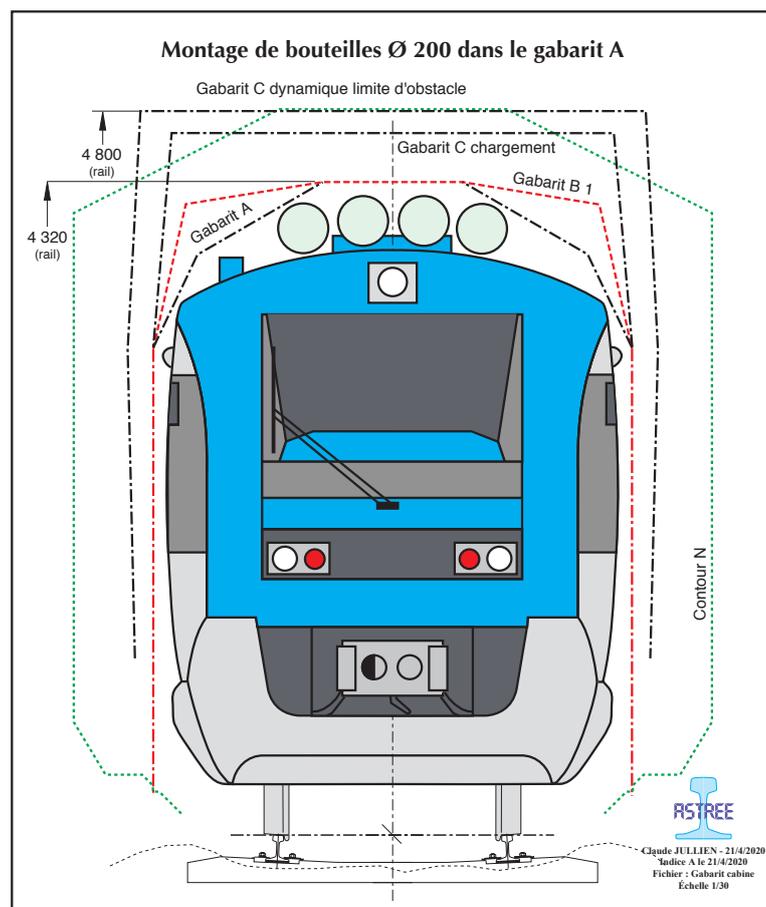
En effet, commandé à un grand nombre d'exemplaires, l'ATER arrose quasiment l'ensemble du territoire, et donc se trouve réparti sur un grand nombre de dépôts, voire d'annexes. Si une adaptation dans les plus grands dépôts est envisageable avec une rentabilité satisfaisante, qu'en sera-t-il des Technicentres possédant un faible effectif ?

Dans ces derniers dépôts, la rentabilité se mesurera également par rapport aux possibilités d'adaptation d'autres matériels, par exemple les AGC ou les Régiolis, mais aussi des locomotives de faible puissance à moteur unique.



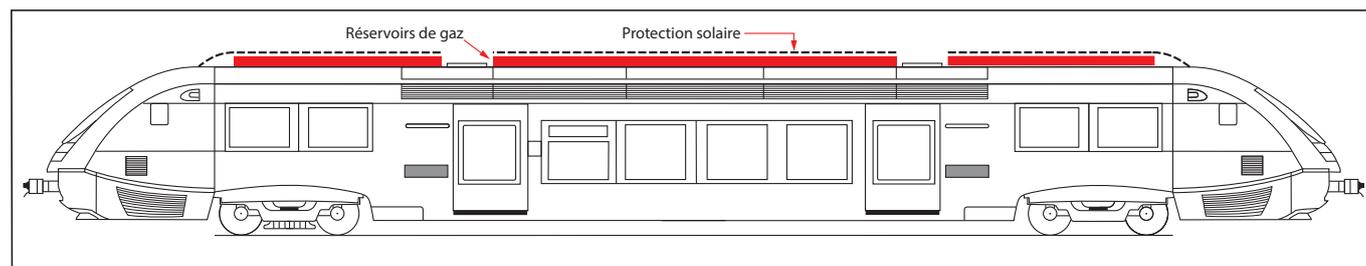
Il faudra aussi sans doute augmenter la capacité des réservoirs pour répondre à une autonomie supérieure à celle des autocars, mais la fragmentation des réservoirs GNV en plusieurs bouteilles rend leur insertion plus facile qu'un gros réservoir unique pour le Gasoil. Comme le montre la photo ci-contre, l'insertion des bouteilles dans la toiture est facile sur un autocar neuf.

Dans notre cas ferroviaire, **il s'agit de l'adaptation d'un véhicule existant**, qui comporte déjà une magnifique toiture arrondie. Comble de malchance, le X 73500 est destiné à fréquenter beaucoup de petites lignes, sans aucun doute les plus péjoratives du point de vue des gabarits, et de fait, **nous devons étudier des solutions qui s'inscrivent obligatoirement dans le gabarit A**, le plus restrictif.



On pourrait envisager de créer une cavité prise sur l'espace entre le plafond de la grande salle voyageurs et le toit, mais cela imposerait de reconstruire une partie du toit, en s'attaquant aux arceaux de celui-ci, **ce qui coûterait beaucoup plus cher**, et immobiliserait chaque autorail pour transformation bien plus longtemps. La solution des bouteilles montées sur le toit est sans doute la meilleure, la plus facile et la plus économique, d'autant que nous pouvons profiter d'une grande longueur d'installation. Ces bouteilles en matériau composites, choisies sur catalogue à partir de celles offertes pour les autocars, seraient revêtues d'un carénage en matériaux composites, pour améliorer l'esthétique et l'aérodynamisme. Ce carénage, entièrement ventilé par le vent relatif de l'autorail, protégerait aussi les bouteilles du soleil.

L'ATER X 73500 est le plus long matériel de la SNCF. Il offre une très grande surface de toiture.



La question des effectifs pose également celui du ravitaillement en gaz, les stations spécialisées ne pouvant s'amortir que sur un nombre significatif de caisses. Le regroupement des autorails dans un nombre de Technicentre plus faible risquerait par ailleurs d'augmenter le nombre de déplacements HLP, alors qu'une certaine forme de décentralisation est souvent souhaitable pour être au plus près des besoins. Il faudra construire un prototype, qui sera alimenté au départ par un camion servant de station mobile.

Le sort de l'adaptation du X 73500 ne devra pas toujours se décider sur cette seule série d'autorails, mais sur les possibilités de basculement de tout un territoire vers les énergies nouvelles.