

Rapport IAT 831

Février 2024

Etudes préliminaires portant sur des travaux d'extension et d'augmentation de la vitesse du tapis roulant de la soufflerie à veine longue de l'institut aérotechnique (IAT)

Auteurs :

Stanislav PAN, bureau d'études IAT
Fayssal MEKAOUCHE, bureau d'études IAT
Clodoald ROBERT, directeur de l'IAT

Sommaire

1	Introduction	3
2	Solutions techniques concernant le nouveau tapis roulant	4
2.1	Système de tension et de contrôle de position du tapis	5
2.2	Matériau du tapis	7
2.3	Système d'aspiration du tapis	8
2.4	Planéité géométrique du support du tapis	9
2.5	Estimation des caractéristiques du moteur d'entraînement du tapis roulant	9
3	Solutions techniques concernant contrôle de la couche limite	10
3.1	Système d'aspiration de la couche limite	11
3.2	Plancher de la veine d'essai de la soufflerie	12
4	Installation	13
5	Annexe	15
5.1	Estimation des caractéristiques de la pompe du système d'aspiration de la C.L.	15
5.2	Réutilisation potentielle des moteurs et du ventilateur	16
5.3	Réutilisation potentielle de la structure existante.....	17

1 Introduction

La présente étude décrit les spécifications d'un point de vue aérodynamique portant sur la réalisation, l'installation et la mise en route d'un nouveau tapis roulant pour la Soufflerie à Veine Longue (SVL) de l'Institut AéroTechnique de Saint-Cyr (IAT).

La soufflerie SVL a été construite en 1972 avec un financement de la SNCF pour mesurer la traînée aérodynamique des trains, c-a-d la résistance à l'avancement générée par le déplacement du train dans l'air. L'actuel tapis roulant, mis en route en 1977, était, à son époque, le tapis « le plus important en Europe » (article *TGV actualité*, Christian Guiheu et Noël Neumann). Le présent projet d'extension vise à redonner à cet équipement des qualités et des caractéristiques de premier rang dans le paysage industriel européen. Les tapis roulants utilisés dans les souffleries ont beaucoup évolué depuis les années 70 et bien que le tapis actuel de la SVL ait accompagné le déploiement du TGV, certaines de ses caractéristiques, comme la vitesse et le control de sa planéité sont aujourd'hui dépassés. D'autre part, sa longueur actuelle de 6 mètres ne permet pas de tester des maquettes de train de plus de 4 véhicules.

Afin de mesurer en soufflerie la traînée d'une maquette de véhicules terrestres tels qu'un train ou une automobile, il est important de reproduire les conditions de l'écoulement de l'air au niveau du sol rencontrées dans la situation réelle. Pour simuler le déplacement d'un véhicule dans un air immobile en soufflerie, on déplace l'air autour du véhicule ou d'une maquette de celui-ci immobile. Or, dans une soufflerie standard, on observe alors une vitesse relative entre l'air et le sol qui entraîne le développement d'une couche limite, une pellicule d'air qui en frottant sur le sol perd de la vitesse, qui n'existe pas dans le cas réel.

Une des solutions possibles pour reproduire les conditions réelles au voisinage du sol, choisie à dans la soufflerie SVL, consiste à utiliser un tapis roulant pour déplacer le sol à la même vitesse que l'air. De plus, pour éliminer (ou à fortement réduire) la couche limite qui s'est créée en amont du tapis roulant, un système d'aspiration de cette couche limite amont (à travers une fente d'aspiration et/ou grâce à une tôle perméable placées juste en amont du tapis roulant) est utilisée.

Les deux premiers chapitres sont consacrés aux objectifs généraux de ce projet et aux solutions qui pourraient être apportées aux problématiques techniques qui se posent. Celles-ci sont de plusieurs nature et si certaines ne sont pas concernées par le présent appel d'offre, toutes doivent être parfaitement prises en compte dans la solution technique proposée. Ainsi, la rénovation du tapis roulant en tant que telle doit tenir compte du dispositif d'aspiration de la couche limite et être compatible avec la nouvelle configuration de la veine de la soufflerie. Le dernier chapitre évoque les objectifs d'installation du tapis. Enfin, en annexe, sont exposées l'estimation du débit d'aspiration de couche limite, ainsi que des données relatives à la machinerie et au bâti support du tapis de la configuration existante – l'un et l'autre pouvant éventuellement être réutilisés dans le cadre de la nouvelle configuration.

Les schémas simplifiés ci-dessous démontrent l'importance qu'il y a à piloter le réglage de ces dispositifs de manière dynamique durant les essais :

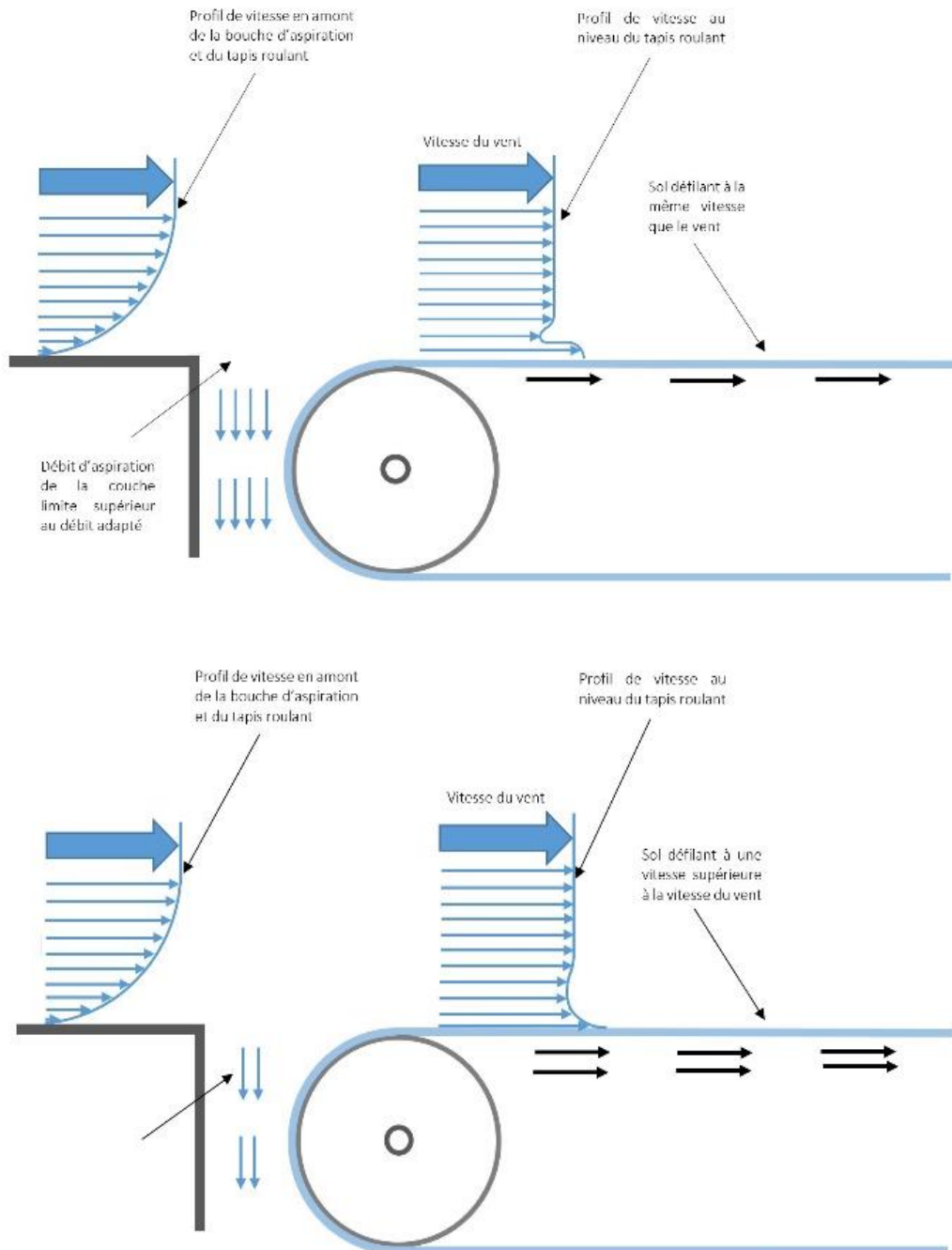


Figure 1. Schémas de profil de vitesses du vent dans les cas d'un débit d'aspiration de couche limite non adapté (à gauche) ou de la vitesse de défilement du tapis non adapté (à droite).

2 Solutions techniques concernant le nouveau tapis roulant

Pour mémoire, la configuration de la veine d'essai existante est aux dimensions suivantes :

- la longueur est de 15,18m
- la largeur est de 2,2m
- la hauteur du plafond est variable de 1,75m lorsque la veine est en « grande section » à 1,1m lorsqu'elle est en « petite section ».

Les principaux objectifs de ce projet concernant le nouveau tapis roulant sont les suivants :

La longueur utile du tapis passe à 12m

Les travaux à venir comprennent l'extension du tapis roulant qui passera de 6m de longueur utile actuelle (dont la bande est une courroie plate de 13,6m de longueur développée, 0,6m de largeur et de 3mm d'épaisseur) à 12m de longueur utile (en gardant la même largeur et une épaisseur similaire ou plus faible) afin de pouvoir tester des maquettes de train plus longues.

La vitesse du tapis maximale passe à 70m/s

La vitesse maximale du tapis roulant actuel est limitée à 42m/s. Mais il est possible d'atteindre, pour pratiquement la même puissance du ventilateur de soufflerie, une vitesse du vent dans la veine d'essai aux alentours de 60m/s lorsque la veine est configurée en « petite section ». Cette remarque est formulée étant entendu que notre objectif est d'atteindre une vitesse de 70m/s au terme de futurs travaux qui ne sont pas pris en charge au sein du présent appel d'offre. Donc, à réception de l'installation du tapis les tests doivent permettre d'atteindre 70m/s.

Les systèmes d'autorégulation de position du tapis

Afin d'assurer une excellente planéité et stabilité au nouveau tapis en fonctionnement, il y a lieu de faire un choix judicieux concernant les solutions techniques apportées pour les dispositifs de réglage de la tension et de l'alignement du tapis qui sont actuellement en mode manuel « passif ». Les améliorer suppose de les rendre automatiques par la mise en place de systèmes d'autorégulation pendant le fonctionnement du tapis roulant.

Le système d'aspiration du tapis

Certaines maquettes de véhicule peuvent créer une dépression entre leur plancher et le sol en mouvement. Ceci peut provoquer le soulèvement et même le battement du tapis pendant son fonctionnement. Pour contrer cet effet, et donc assurer la planéité et la stabilité du sol défilant, il est prévu de mettre en place un système « d'aspiration » installé sous le tapis roulant. Ce système permet de maintenir une dépression sous le tapis à tout instant plus basse que l'éventuelle dépression créée par la maquette à travers des orifices répartis sur une tôle perforée sur laquelle le tapis roulant glisse pendant son fonctionnement.

2.1 Système de tension et de contrôle de position du tapis

Un dispositif de tension dynamique doit être mis en place afin de compenser la déformation du tapis roulant en fonctionnement, principalement une élongation variant avec la vitesse de déplacement. Cette déformation est liée aux forces centrifuges et aux forces de frottement qui varient selon les vitesses d'avancement du tapis observées lors des essais. De même, afin d'éviter le glissement latéral du tapis pendant son fonctionnement, un système de contrôle autorégulé de positionnement du tapis doit être prévu.

Pour gérer la tension et contrôler la position du tapis selon différentes configurations, l'ensemble peut être constitué :

- De bras hydrauliques permettant de tendre le tapis et de bras hydrauliques qui corrigent la position latérale du tapis ;
- D'un capteur de position permettant de détecter le déplacement latéral du tapis et d'envoyer l'information aux bras hydrauliques pour correction.

Les figures 2 et 3 ci-dessous illustrent le principe de fonctionnement de ce dispositif. Ces schémas sont proposés à titre indicatif.

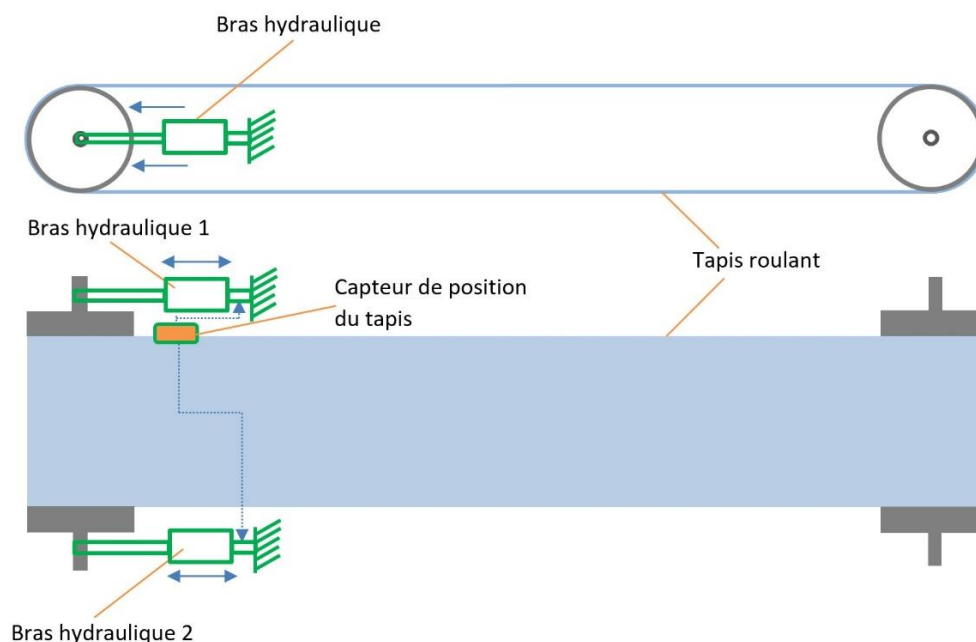


Figure 2. Schéma de système de tension et de guidage avec 2 tambours

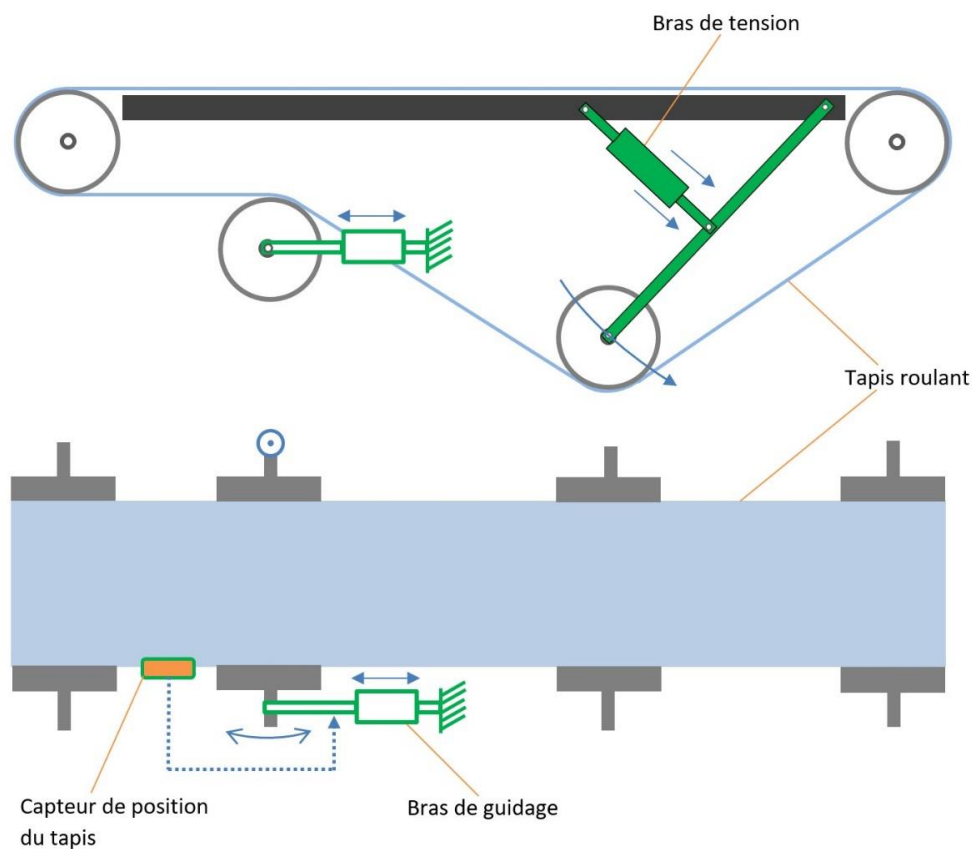


Figure 3. Schéma de système de tension et de guidage avec 4 tambours

A titre indicatif, exposons la problématique de la configuration présentée par la Figure 2 :

1. Le dispositif d'aspiration de la couche limite est positionné en amont du tapis roulant et n'a pas vocation à être déplacé. Les dispositifs de contrôle du tapis roulant ne peuvent donc pas entraver son bon fonctionnement. En ce sens, la configuration qui propose un positionnement du bras hydraulique vers l'entrée de la veine n'est pas viable en l'état (voir § 3 consacré au dispositif d'aspiration de couche limite).
2. Par ailleurs, il convient de noter que le tambour aval ne pourra pas être reculé de plus de 50mm sans dégrader la conformité aérodynamique de la veine.
3. Enfin, compte tenu des remarques précédentes, le bras hydraulique devant être installé sur le tambour aval, celui-ci ne pourra pas être a priori motorisé. Or, l'installation du moteur sur le tambour amont pourrait dégrader la planéité du tapis dans la veine puisque le brin tendu sera sous la veine et le brin mou dans la veine.

Le futur concepteur devra, le cas échéant, garantir une parfaite stabilité du tapis malgré les réserves formulées.

Il reviendra au concepteur du tapis roulant de proposer la solution qui lui semblera la plus efficiente.

2.2 Matériau du tapis

Atteindre le double objectif d'accroître la longueur et la vitesse du tapis induit de tenir compte des caractéristiques mécaniques de son matériau. La résistance mécanique aux forces centrifuges, le coefficient de frottement, la résistance à de hautes températures doivent être plus élevés par rapport au matériau du tapis existant (courroie plate type Speed Flex de Kleber). De même, les coefficients d'allongement et de dilatation thermique doivent rester faibles.

L'ensemble de ces contraintes nous amène à privilégier un matériau composite kevlar/téflon, comme ceux composant les tapis de la société néerlandaise HARDICK BV ou mieux disant. Les caractéristiques thermomécaniques de ce type de produit sont indiquées ci-dessous. Pour une bande type courroie plat de 60cm de largeur et de 1mm d'épaisseur « 2-ply kevlar laminate QG15P2 » :

1	Résistance à la rupture	11000N/5cm
2	Allongement sous l'action des forces 3000N/5cm	1,7%
3	Coefficient de frottement de glissement sec statique/dynamique Téflon / Métal polie (μ)	0,05/0,09
4	Masse linéaire pour une largeur de la bande de 60cm	0,9kg/m
5	Point de fusion	plus de 200°C
6	Coefficient de dilatation linéaire thermique	-----
7	Coefficient de dilatation linéaire thermique Téflon (α)	-160*10 ⁻⁶ (K ⁻¹)

La surface du tapis doit présenter une rugosité minime. De plus, la bande de tapis, pour faciliter d'éventuels démontages, doit être jonctionnable sur la machine, avec une jonction ne présentant pas de surépaisseur par rapport à la partie hors jointure du tapis.

La possibilité de montage/démontage d'un tapis joint n'est pas demandée, mais peut être proposée en option.

2.3 Système d'aspiration du tapis

Le principe de fonctionnement de ce dispositif est décrit par la figure ci-dessous.

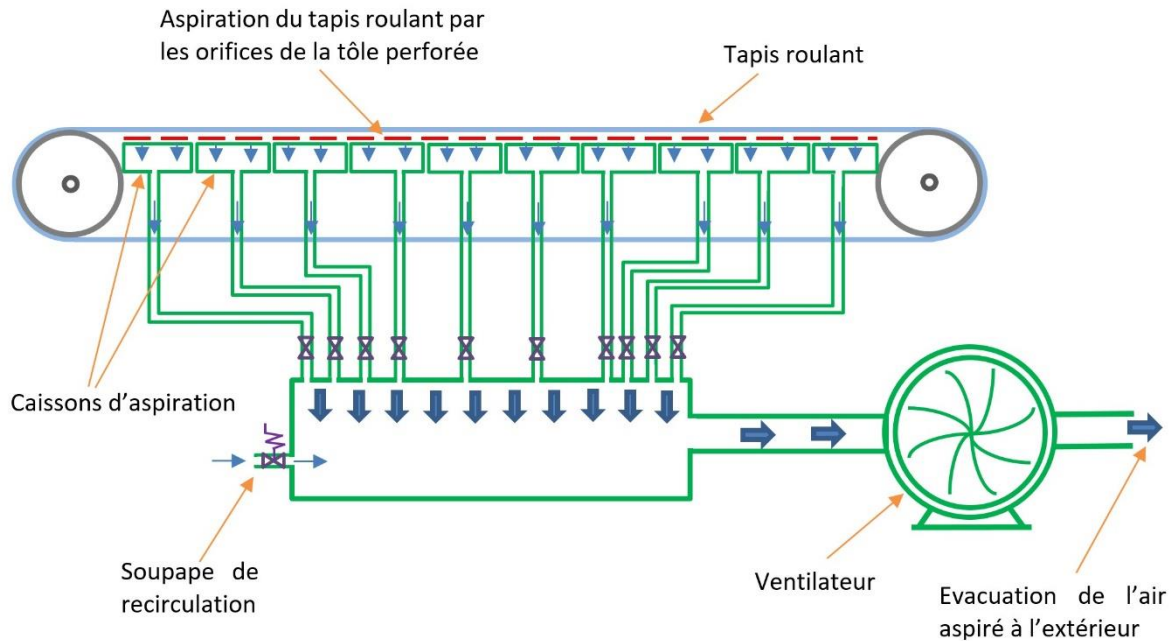


Figure 4. Schéma de système d'aspiration du nouveau tapis roulant

La taille de la rangée de caissons d'aspiration est imposée par celle du tapis roulant, soit une largeur de 60cm. Néanmoins, les caissons positionnés à chaque extrémité du tapis ne doivent pas gêner l'accès aux tambours du tapis.

Le nombre de caissons doit être compris entre 6 et 24 dans la rangée, chacun muni d'une vanne. En effet, cette configuration de système d'aspiration de tapis permet à l'opérateur de faire preuve de flexibilité afin d'adapter la soufflerie aux différentes tailles des maquettes à tester.

Estimation des caractéristiques du ventilateur du système d'aspiration du tapis :

Au vu de notre expérience en interne, les maquettes de train créent des dépressions Δp au-dessus du tapis d'un coefficient de pression de l'ordre de $C_p=0,2$

$$C_p = \frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho U_{réf}^2}$$

Donc, la dépression à maîtriser par la pompe du système d'aspiration du tapis roulant à la vitesse maximale du vent $U_{réf}=70m/s$ est de l'ordre de :

$$\Delta p = 588Pa$$

La capacité de la pompe en débit volumique n'est pas primordiale car le tapis, maintenu plaqué par la dépression bloque les orifices. Le circuit du système d'aspiration doit donc être muni d'une vanne

de recirculation d'air pour permettre un fonctionnement correct de la pompe lorsque le tapis est en contact avec la tôle perforée positionnée au sol.

Le dimensionnement et la distribution des orifices sur la tôle perforée sont un sujet de collaboration des candidats avec le Maître d'Ouvrage.

Concernant le dimensionnement des conduits, le candidat est invité à trouver le meilleur compromis entre les pertes de charges et l'encombrement.

Les essais de réception des travaux comprendront une vérification de la fonctionnalité du système d'aspiration du tapis roulant.

2.4 Planéité géométrique du support du tapis

La surface supérieure du support du tapis est constituée de la tôle perforée qui permet l'aspiration du tapis. Cette tôle peut être d'une pièce ou en plusieurs pièces ou même constituée des faces supérieures des caissons. L'ajustage entre chaque élément, constituant la surface supérieure du support du tapis roulant, doit avoir la tolérance $\pm 1 \text{ mm}$.

Entre les tambours d'extrémité et la tôle, pour éviter le frottement excessif du tapis au niveau des arrêtes, il faut prévoir un dispositif de réception du tapis. Ces dispositifs, nommés ici les plaques d'extrémité, doivent être conçus avec le matériau approprié (faible coefficient de frottement, résistance hautes températures, faible coefficient dilatation thermique, ...). Comme le montre la figure ci-dessous, ils doivent être ajustables.

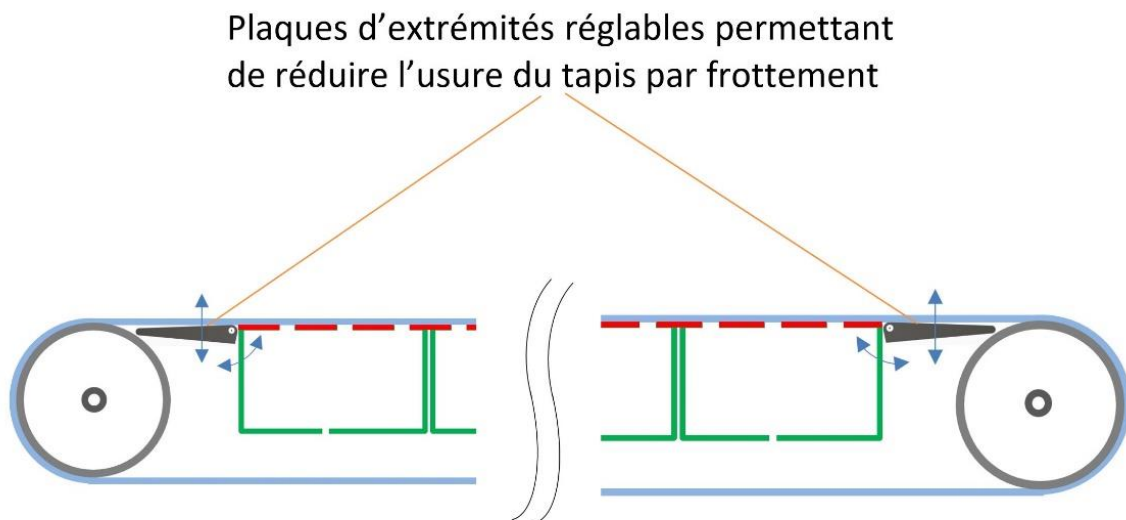


Figure 5. Schéma du support du tapis

2.5 Estimation des caractéristiques du moteur d'entraînement du tapis roulant

La puissance et le couple du moteur sont associés à l'effet de frottement exercé sur le tapis. On se propose de les quantifier en observant distinctement ces effets sur la partie du tapis qui constitue le plancher de la veine (brin supérieur) et la partie située sous la veine (brin inférieur).

Dans le cas où le brin supérieur est animé par la vitesse du tapis $U_{réf}$:

La face supérieure du brin supérieur du tapis est exposée à la même vitesse de vent dans la veine, donc l'effet de frottements est nul. Inversement, la face inférieure du brin supérieur du tapis se déplace en glissant sur la tôle perforée : il y a donc un phénomène de frottement sec dont l'importance dépend du choix des matériaux du tapis et du sol.

Par exemple, en appliquant le coefficient de frottement μ provoqué par le glissement Téflon / Métal polie (cf. §2.1), la force de frottement est de l'ordre :

$$F_{frott.sec} = \mu mg = 11,9N$$

La force de frottement dans le brin supérieur du tapis, grâce au choix des matériaux (coefficient de frottement et densité massique), est extrêmement faible.

Dans le cas où le brin inférieur est animé par la vitesse $-U_{réf}$:

L'air sous la veine est en repos. Il y a donc un phénomène de frottement aérodynamique qui affecte les deux faces, supérieure et inférieure, du brin inférieur du tapis.

Dans ce cas, en utilisant les relations issues de la théorie de la couche limite (CL) turbulente (profil de vitesse en puissance $1/7$). Le coefficient de frottement moyen est :

$$C_F = \frac{0,074}{(R_x)^{0,2}} = 0,0021$$

L'application de l'expression de la force de la traînée aérodynamique est :

$$F_{frott.aéro} = \frac{1}{2} \rho C_F S_{frott} U_{réf}^2 = 89N$$

Enfin, on peut quantifier le couple que doit fournir le moteur d'entraînement du tapis :

$$\zeta = \frac{F_{frott} \cdot \emptyset}{2} = 20,2Nm,$$

où \emptyset est le diamètre du tambour d'entraînement.

Et la puissance mécanique utile que doit fournir le moteur d'entraînement du tapis roulant est :

$$P = F_{frott} U_{réf} = 7,1kW$$

Néanmoins, du fait du fonctionnement du dispositif d'aspiration du tapis (cf. §2.3), le frottement sec va croître. Ainsi, en prenant en compte la puissance élevée nécessaire au démarrage et les pertes mécaniques causées par transmission de l'énergie, ces grandeurs vont être plus élevées que les calculs donnés ci-dessus.

3 Solutions techniques concernant contrôle de la couche limite

Les candidats sont informés que le bureau d'études de l'IAT Saint-Cyr a procédé à des évaluations fondées sur ses données d'exploitation (cf. Annexe 5.1). Sans être prescriptives, ces évaluations fixent des standards touchant au contrôle de la couche limite que les projets soumis dans le cadre du présent appel d'offres devront impérativement respecter.

3.1 Système d'aspiration de la couche limite

Le nouveau système d'aspiration de la couche limite sera installé à $1,5m$ en aval du convergent de la soufflerie et juste en amont du tapis roulant. Il est constitué des dispositifs suivants :

1) *Le piège à couche limite* est une fente d'aspiration naturelle désaffleurée à $40mm$ au-dessus du sol existant (au même titre que l'intégralité du tapis), d'une largeur identique à la largeur de la veine. Cette fente a pour but d'éliminer au maximum la couche limite générée dans le convergent de la soufflerie situé en amont. L'air est refoulé dans le circuit de retour de la soufflerie.

2) *Le caisson d'aspiration* est une fente d'aspiration motorisée, qui est doté en partie d'une tôle perméable. Ce caisson permet de contrôler la couche limite créée en aval de la fente d'aspiration et la couche limite créée par la rotation du tambour amont du tapis roulant. La largeur du caisson est identique ou supérieure à la largeur du tapis.

3) *La fente de réinjection* permet garder constant le débit de l'écoulement principal. L'air aspiré passe par un ventilateur puis est refoulé par une fente de réinjection placée en aval de tapis roulant. La largeur de cette fente est identique à la largeur de la veine

4) *Le ventilateur* avec le réseau des conduits.

Le principe de fonctionnement de ce dispositif est décrit par la figure ci-dessous.

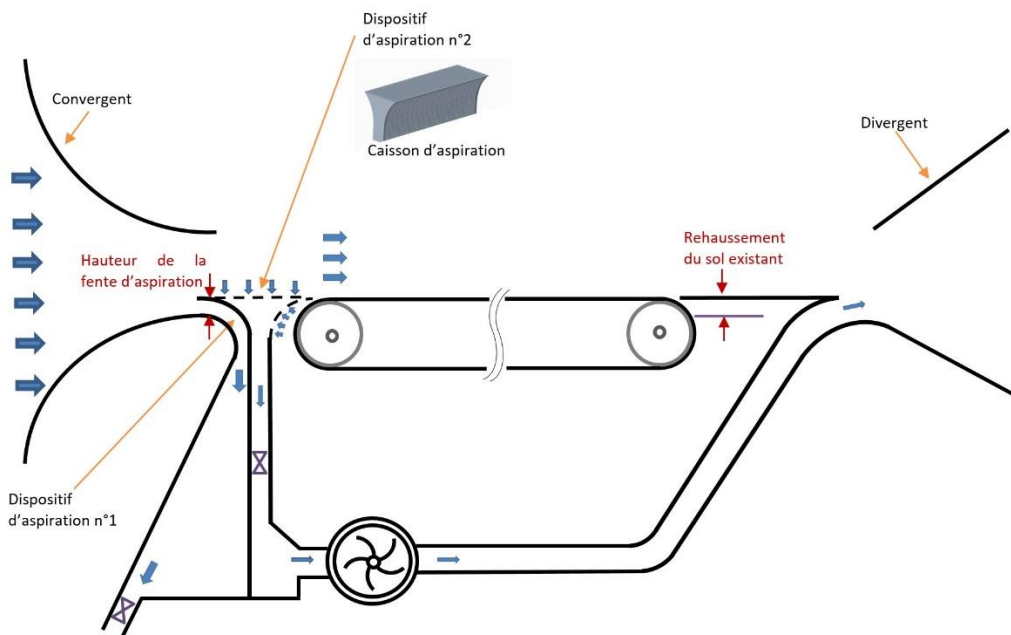


Figure 6. Schéma de système d'aspiration de la couche limite

Le dimensionnement, la fabrication et le financement de trois premiers dispositifs, numérotés ci-dessus, sont de la responsabilité du Maître d'Ouvrage. Ainsi, pour la nouvelle installation, on utilise le ventilateur de l'installation existante ainsi que son moteur (cf. Annexe 5.2)

L'installation du réseau des conduits et du ventilateur avec son moteur font le sujet du présent appel d'offres. Pour le dimensionnement de la taille des conduits, les candidats sont invités à trouver le meilleur compromis entre les pertes de charges et l'encombrement.

Ainsi, si le fonctionnement du dispositif de contrôle de la couche limite ne fera pas partie des essais de réception des travaux, l'étanchéité du réseau et la mise en route du ventilateur en feront partie.

3.2 Plancher de la veine d'essai de la soufflerie

Le positionnement des dispositifs évoqués dans le paragraphe précédent est déterminant pour la configuration du sol de la soufflerie. Comme le montre la figure ci-dessous, la partie du plancher de la soufflerie située entre le piège à couche limite et la fente de réinjection, va être rehaussée à 40mm par rapport à la configuration du sol existant.

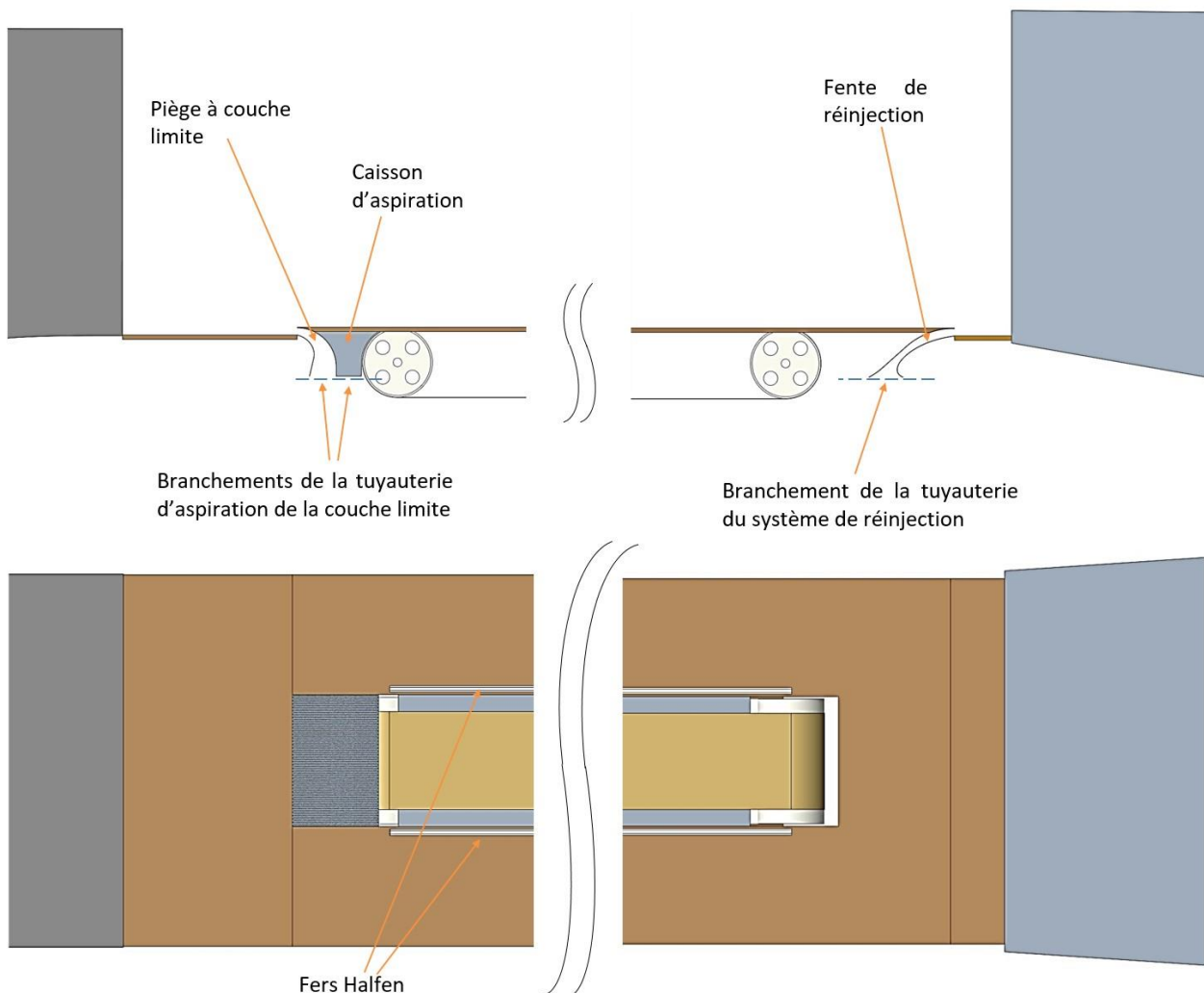


Figure 7. Plancher de la soufflerie

L'appel d'offres porte sur l'installation de la tuyauterie du réseau du système d'aspiration (cf. Fig.7) mais pas sur le dimensionnement des fentes d'aspiration et de réinjection qui reste à la charge du Maître d'Ouvrage. Le candidat doit donc s'assurer de l'étanchéité de la tuyauterie qui, une fois installée, permettra au Maître d'Ouvrage de procéder aux tests nécessaires pour déterminer la configuration exacte du circuit d'aspiration et de réinjection de l'air.

4 Installation



Figure 8. Zone d'intervention. Installation existante.

La zone d'intervention des travaux est constituée du sol de la soufflerie, de l'espace entre le sol de la soufflerie et le sol du bâtiment, de la salle de commande de la soufflerie et de son local électrique.

Les travaux se composent de :

1. Démontage de l'installation existante (cf. Fig. 8) ;
2. Installation et mise en route du nouveau tapis roulant muni de sa motorisation, de son bâti, de son système de tension automatique et de contrôle de position (cf. §2.1) ;
3. Installation et mise en route du système d'aspiration du tapis roulant muni de la tôle perforée, des caissons d'aspiration, d'un circuit de conduits avec son moteur et sa pompe (cf. §2.3) ;
4. Installation et mise en route du nouveau circuit de conduits du système d'aspiration de la couche limite avec son moteur et sa pompe (cf. §3) ;
5. Installation du nouveau plancher de la veine d'essai de la soufflerie avec ses rails Halfen (support maquettes) (cf. Fig. 7).

Indication sur quelques objectifs impératifs à propos du montage de l'installation et des conditions des travaux :

Diminution des vibrations et du bruit sonore

Afin de garantir un niveau de précision optimum des résultats d'essai et afin de préserver la qualité des conditions de travail des opérateurs, il est impératif de limiter, pendant le fonctionnement, les vibrations transmises par le tapis à la structure de la veine ainsi qu'au plancher et qu'à la maquette installée dessus. Des solutions consistent notamment à mettre en place des éléments amortisseurs ou anti-vibrateurs entre la structure de la veine de la SVL et le bâti du tapis roulant. Pour autant, tout autre système équivalent reste à étudier par les candidats.

Installation du matériel électrique et électromécanique :

Les armoires électriques, au regard de leur encombrement et de la pollution sonore et électromagnétique, doivent être localisées dans le local électrique de la soufflerie (cf. plan général de la soufflerie en CCTP).

Le matériel électrique et électromécanique doit répondre aux normes européennes de compatibilité électromagnétique (générer un minimum de phénomènes de parasites électriques et être compatible à l'environnement actuel de mesure scientifique).

Les commandes de tous les moteurs (démarrage, arrêt, régulation de vitesse) doivent fonctionner autant en mode manuel que par pilotage par ordinateur. Ainsi, elles doivent être doublées pour être accessibles en salle de contrôle et dans l'armoire électrique.

Maintenance et durée de vie de la nouvelle installation :

Les projets doivent impérativement comporter des protocoles de maintenance accessibles aux agents qualifiés de l'IAT Saint-Cyr. Aussi, le présent appel d'offres ne correspond en aucun cas à une délégation de la gestion quotidienne et future de l'installation. Cette remarque vaut en particulier pour les opérations de graissage, de démontage, d'accès aux diverses pièces sans que cette liste puisse être considérée comme limitative.

Néanmoins, le donneur d'ordre compte sur le fait que la durée de vie de la nouvelle installation est de plusieurs années d'exploitation sans réparation (hors des opérations de maintenance annuelle telles que décrites par le prestataire). L'objectif de la durée de vie du tapis roulant est ainsi fixé à 5000 heures. Le matériel (roulements, ... etc.) doit être dimensionné en conséquence.

Pour information, l'exploitation de la soufflerie répond au schéma suivant : chaque phase d'essai dure entre 10 et 15 minutes suivi de 30 minutes d'arrêt (changement de configuration de la maquette). Au total, chaque campagne d'essais dure entre deux et trois semaines.

Autres conditions :

L'architecture globale de la soufflerie (murs, plafond, portes, etc.) ne saurait en aucun cas être modifiée par les candidats. En l'espèce, la soufflerie actuelle ne dispose pas d'un pont roulant. Les actions de manutention nécessaires pour pallier cette absence sont à la charge des candidats et doivent être en conséquence décrites et chiffrées.

Pour rappel, le présent appel porte également sur la dépose du tapis existant (bâti compris). La réponse à l'appel d'offre devra donc tenir compte de cette contrainte, y compris dans ses dimensions environnementales (traitement des déchets correspondants conforme aux normes en vigueur).

5 Annexe

5.1 Estimation des caractéristiques de la pompe du système d'aspiration de la C.L.

Le nouveau positionnement du tapis roulant induit qu'il débute à $1,5m$ en aval du contracteur de la soufflerie. Pour la vitesse du vent $U_{réf}=70m/s$, d'après les données de qualification de la soufflerie SVL (« Soufflerie SNCF Études Générales », note interne à l'IAT St-Cyr, 1977) et avec l'application des équations de la théorie de couche limite, on estime les grandeurs caractérisant la couche limite dans cette position selon les paramètres suivants :

- L'épaisseur conventionnelle telle que $\delta = 36mm$;
- L'épaisseur de déplacement $\delta_1 = \int_0^\infty \left(1 - \frac{U}{U_{réf}}\right) dz = 4,5mm$
- Et le déficit de débit axial en largeur unitaire provoquée par la présence de la couche limite $\Delta q_v = \int_0^\delta (U - U_{réf}) dz = U_{réf} \delta_1 = 0,32 \frac{m^2}{s}$

Le besoin de débit volumique de l'air à aspirer par la fente d'aspiration est caractérisé par sa relation asymptotique avec la réduction de l'épaisseur de déplacement. On définit le paramètre d'aspiration de la manière suivante :

$$C_{aspi} = \frac{\text{Débit à aspirer}}{\text{Débit déficitaire}} = \frac{U_{aspi} h * L}{U_{réf} \delta_1 L}$$

Où U_{aspi} est la vitesse d'aspiration, h est la hauteur de la fente, L est sa longueur.

Les investigations expérimentales de K.O. Arnold sur la fente d'aspiration singulière en bidimensionnel (« The wind tunnel's ground plan boundary layer – its interference with the flow underneath cars », W.H. Hucho & al.) démontre que la réduction de couche limite s'évalue à :

- 50% pour $C_{aspi} = 3,3$
- 70% pour $C_{aspi} = 7$

Ce dernier résultat est considéré comme désireux. Ainsi, ces investigations confirment l'absence d'influence de la hauteur de la fente sur ces résultats.

En même temps, les investigations menées dans notre soufflerie (« Efficacité du tapis roulant de la soufflerie SVL », Note IAT n°351/01, novembre. 2001) sur la fente singulière de $L = 0,64m$, obturée par la tôle perforée de 40% de sa perméabilité, démontre une réduction de couche limite à :

- 75% pour $C_{aspi} = 3,2$

En appliquant le résultat empirique d'Arnold pour la réduction de couche limite à 70%, on déduit la capacité nécessaire en débit volumique de la pompe via la fente singulière de longueur $L=2m$:

$$\text{Débit à aspirer} = C_{aspi} U_{réf} \delta_1 L = 4,4 \frac{m^3}{s}$$

Ces résultats exigeraient la mise en place d'un ventilateur dont les dimensions et le coût sont incompatibles avec les objectifs techniques et financiers du présent projet.

On peut palier cette problématique via un nouveau dispositif, un piège de couche limite à l'aspiration naturelle par dépression (cf. Fig. 6, dispositif n°1). Celui-ci est positionné devant la fente d'aspiration motorisée (cf. Fig. 6, dispositif n°2). Par ce fait, le débit, qui doit nécessairement être aspiré par le ventilateur afin de contrôler la couche limite, va être fortement réduit.

En conséquence, par rapport à la configuration existante, un rehaussement du tapis roulant ainsi que du plancher de la veine d'essais de la soufflerie, est requis. L'estimation de l'ampleur de ce rehaussement est imposée par l'épaisseur conventionnelle de la couche limite, c'est à dire de l'ordre de 40mm.

Le bureau d'études de l'IAT mène actuellement de nouvelles investigations qui permettront de donner plus de précisions à ce sujet.

5.2 Réutilisation potentielle des moteurs et du ventilateur

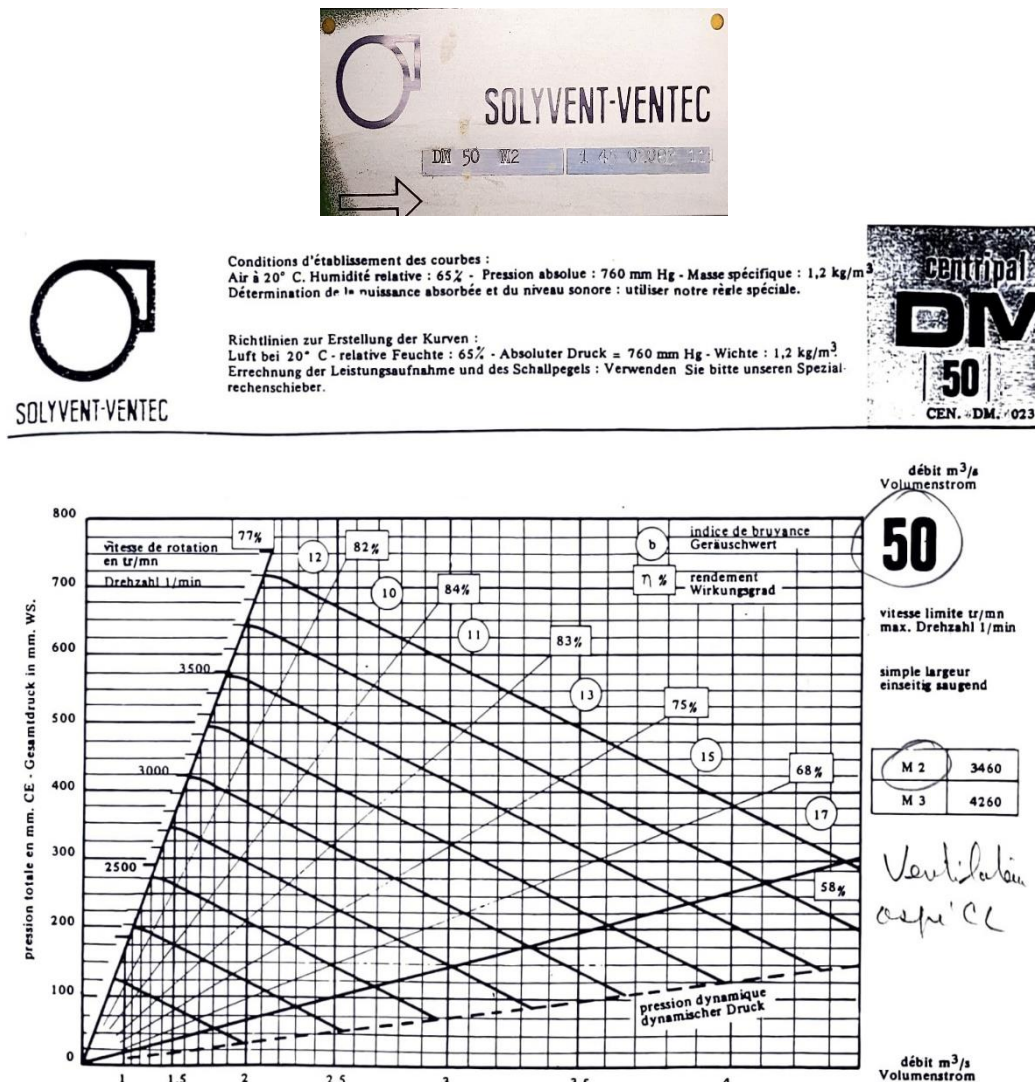


Figure 9. Abaque pression/débit de la pompe d'aspiration couche limite existante

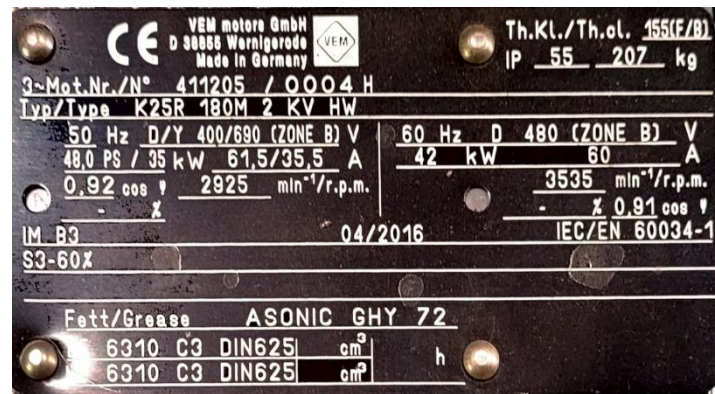


Figure 10. Moteur de la pompe d'aspiration couche limite existante

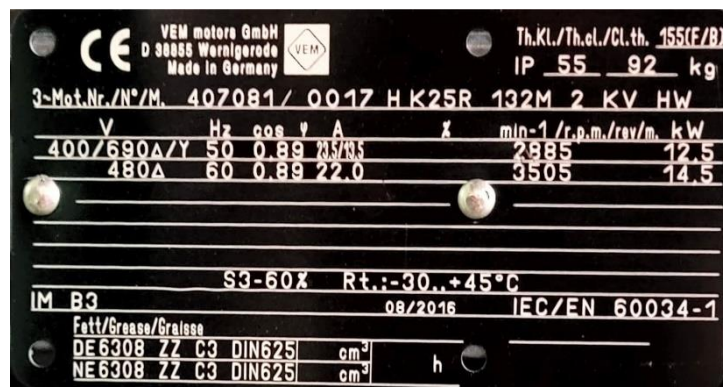
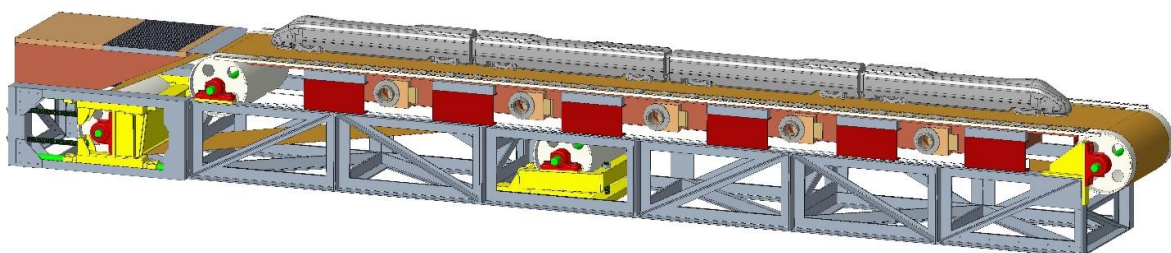


Figure 11. Moteur d'entrainement du tapis roulant

5.3 Réutilisation potentielle de la structure existante



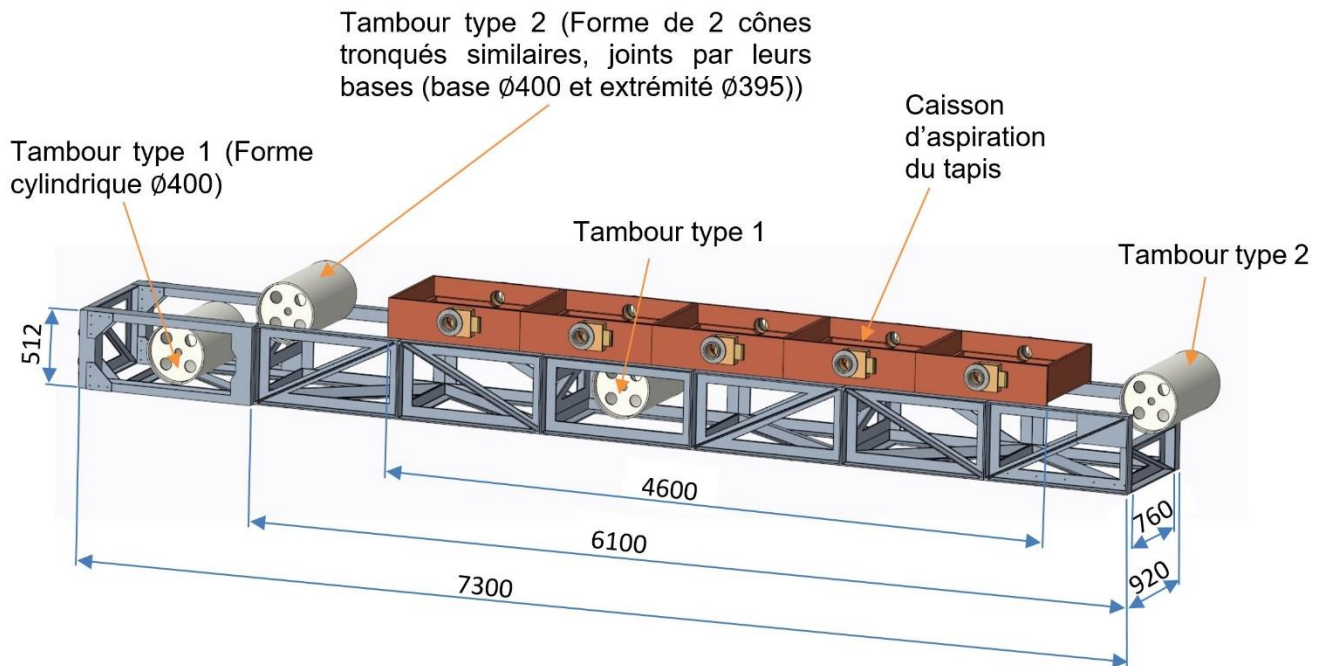


Figure 12. Bâti du tapis roulant existant

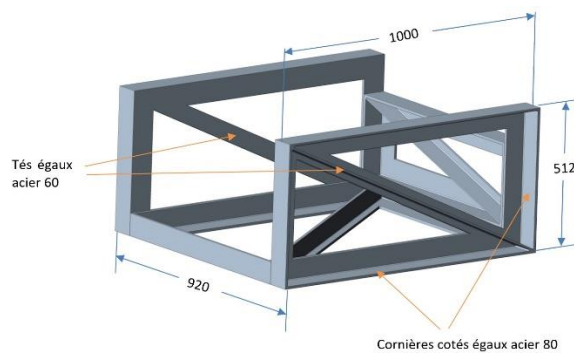


Figure 13. Module du bâti du tapis roulant