

Éric Brottier

Ingénieur des Arts et Métiers

Technicien-Conseil pour le Ministère de la Culture

09, Rue de Louvois

51150 BOUZY

☎ 03 26 58 45 60

brottier.eric@orange.fr

Région :	PACA
Commune :	NICE
Édifice :	Cathédrale Sainte Réparate
Instrument :	Orgue de tribune
Nature de l'opération :	Modernisation et mise en sécurité de l'orgue
Phase :	Étude préalable à la modernisation et la mise en sécurité du grand orgue
Date :	Juillet 2022

ÉTUDE PRÉALABLE

Rapport de synthèse



Photo 1 : L'orgue de la cathédrale Sainte Réparate dans son environnement.

Sommaire

1.	Rappel des conditions d'établissement de l'étude.....	1
1.1.	But de l'étude.....	1
1.2.	Moyens	1
1.3.	Résumé des conclusions de l'étude	1
2.	Convention de rédaction.....	3
2.1.	Disposition, côtés	3
2.2.	Unités.....	3
2.3.	Libellé des notes.....	3
2.4.	Symbole.....	3
2.5.	Abréviations.....	3
3.	Essai historique résumé.....	4
3.1.	Avant l'orgue actuel.....	4
3.2.	Le projet Cochereau.....	5
3.3.	Composition actuelle	6
4.	Disposition générale de l'instrument et diagnostic de sécurité.....	7
4.1.	Buffet.....	7
4.1.1.	Description du buffet d'orgue.....	7
4.1.2.	Diagnostic des buffets.....	8
4.2.	Charpentes porteuses, courives et boîte expressive.....	9
4.2.1.	Description générale.....	9
4.2.2.	Diagnostic des charpentes	11
4.3.	Alimentation en vent	11
4.3.1.	Turbine.....	12
4.3.2.	Réservoirs.....	13
4.3.3.	Analyse critique du fonctionnement de ce type de réservoir.....	14
4.3.4.	Régulation.....	16
4.3.5.	Porte-vent.....	18
4.3.6.	Diagnostic de l'alimentation.....	18
4.3.7.	Travaux à envisager sur l'alimentation.....	19
4.4.	Traction des notes, console.....	19
4.4.1.	Description générale	19
4.4.2.	Le manque de rigidité de la traction mécanique.....	21
4.4.3.	La dureté de la traction mécanique.....	22
4.4.4.	Console : traction des notes.....	24
4.4.5.	Diagnostic de la traction des notes.....	27
4.4.6.	Travaux à envisager sur la mécanique des notes.....	27
4.5.	Traction des jeux, combinateur.....	33
4.5.1.	Console : commande des jeux	33
4.5.2.	Redresseurs.....	34
4.5.3.	Circuits de commande, câblage.....	35
4.5.4.	Les actionneurs.....	36
4.5.5.	Le combinateur.....	37
4.5.6.	Diagnostic de la traction des jeux.....	38
4.6.	Travaux à prévoir sur la traction des jeux et le combinateur.....	39
4.6.1.	Électronique de commande	39
4.6.2.	Équipement de console.....	39

ÉTUDE PRÉALABLE

Page II | Rapport de synthèse

4.6.2.1.	<i>Claviers et pédaliers</i>	39
4.6.2.2.	<i>Commande des jeux</i>	39
4.6.2.3.	<i>Pistons au pieds</i>	40
4.6.2.4.	<i>Écran de visualisation du combineur</i>	40
4.6.2.5.	<i>Tableau de contrôle avec écran tactile</i>	41
4.6.2.6.	<i>Boutons de commande des combinaisons insérées sous les claviers</i>	41
4.6.2.7.	<i>Actionneurs</i>	42
4.7.	Variante : tirage de jeux de type pneumatique	42
4.8.	Câblage électrique général	43
4.8.1.	Câblage de l'alimentation des turbines	43
4.8.2.	Câblage des éclairages de l'orgue	44
4.8.3.	Câblages divers	44
4.9.	La tuyauterie	45
4.9.1.	Détail de la tuyauterie	46
4.9.1.1.	<i>Grand-Orgue</i>	46
4.9.1.2.	<i>Positif</i>	48
4.9.1.3.	<i>Récit Expressif</i>	50
4.9.1.4.	<i>Écho</i>	52
4.9.1.5.	<i>Pédale</i>	53
4.9.2.	Diagnostic de la tuyauterie	54
4.9.3.	Harmonie et accord	55
4.9.4.	Travaux à envisager sur la tuyauterie	55
4.10.	Sommiers	56
4.10.1.	Grand orgue	56
4.10.2.	Récit	57
4.10.3.	Positif	57
4.10.4.	Écho	57
4.10.5.	Pédale	57
4.10.6.	Sommiers de basses	57
4.10.7.	Diagnostic des sommiers	59
4.10.8.	Travaux préconisés sur les sommiers	59
5.	Considérations préalables aux propositions de programme de travaux	62
6.	Programme de travaux	63
6.1.	Considérations préalables	63
6.1.1.	Modernisation et mise en sécurité de fonctionnement	63
6.1.2.	Travaux de relevage et d'amélioration d'une partie des jeux	64
7.	Étude financière	66
8.	Vérification du bâtiment	67

Table des photographies

Photo 1 : L'orgue de la cathédrale Sainte Réparate dans son environnement.....	I
Photo 2 : L'orgue de Martella avant la reconstruction de 1974	7
Photo 3 : Le positif Boisseau, érigé en 1974.....	7
Photo 4 : Attaques de xylophage dans le soubassement du côté gauche de la console (Sud)	8
Photo 5 : Attaques de xylophages dans le soubassement du côté droit (Nord)	9
Photo 6 : État des tuyaux du jeu de Cymbale au voisinage de la trappe d'accès à l'étage des tuyaux du Grand orgue.....	11
Photo 7 : Turbines d'alimentation de l'orgue.....	13
Photo 8 : Vue du réservoir de pédale côté UT	14
Photo 9 : Boîte régulatrices du réservoir de positif et du réservoir primaire.....	18
Photo 10 : Mécanique du plan d'Écho : abrégé et liaisons par fils aux sommiers.....	21
Photo 11 : Arrière de la console de l'orgue : Mécanismes d'accouplements et tirasse et revers du tirage de jeu côté Ut.	25
Photo 12 : Détail des fourchettes d'accouplement et tirasses : vue en bout et de profil	25
Photo 13 : Moteurs linéaires de commande des accouplements et tirasses.....	26
Photo 14 : Electroaimant proportionnel et de type On-Off.....	29
Photo 15 : exemple d'intégration de tableau de cartes de sorties sous coffret à côté du tirage des jeux.....	29
Photo 16 : Exemples de boîtiers Master et Slave	30
Photo 17 : Exemple de tableau avec cartes de sortie et d'entrée console.....	30
Photo 18 : exemple de nappes de câbles transitant les informations des cartes de sortie au boîtier Master de l'électronique.	31
Photo 19 : exemple d'armoire de brassage des câbles de sortie aux actionneurs.	31
Photo 20 : Exemple de sommier (orgue, ND de Paris) les actionneurs sous coffret sont alimentés par câble unique avec connecteur.....	32
Photo 21 : Vues générales de la console, avant et arrière	33
Photo 22 : Pistons installés au niveau du pédalier.....	34
Photo 23 : Électronique de commande du système de crescendo.....	34
Photo 24 : Redresseurs Triphasés 380 AC-12V DC en service dans la traction actuelle des jeux	34
Photo 25 : Exemple de prolifération anarchique des câbles au revers de la console	35
Photo 26 : Groupe des moteurs de jeux du plan sonore de positif.....	36
Photo 27 : Moteurs de jeux du sommier de pédale côté UT, de 1974	36
Photo 28 : Moteurs de jeux du plan de Positif et leur câblage de puissance.	37
Photo 29 : Armoire électronique du combinateur actuel (8 combinaisons).....	38
Photo 30 : Exemple de solénoïdes de tirage de jeux (modèle anglais Taylor)	40
Photo 31 : Exemple de piston avec ou sans fonction lumineuse (marque Heuss).....	40
Photo 32 : Exemple d'afficheur pour combinateur (Eltec)	41
Photo 33 : exemple d'écran tactile intégré en tiroir	41
Photo 34 : exemple de boutons de commande pour les combinaisons	41
Photo 35 : Exemple de tirage de jeux par vérins pneumatiques avec servovalves de commande. (Orgue de Notre Dame de Paris).	42
Photo 36 : Etat du système de démarrage avant travaux de mise en sécurité	43
Photo 37 : Nouveau coffret de commande de démarrage des turbines	43
Photo 38 : tableau de commande des éclairges internes à l'orgue, état antérieur et après travaux de août 2022.....	44
Photo 39 : Chemin de câbles et branchements divers au-dessus de la boîte expressive du plan sonore de Récit.....	44
Photo 40 : Exemple de câbles obsolète et de connexions hors normes.....	45
Photo 41 : Vue générale de la tuyauterie du plan sonore de Grand orgue	46
Photo 42 : Tuyaux et supports de chamade déposés.....	48
Photo 43 : Vue générale de la tuyauterie du plan sonore de Positif.....	48
Photo 44 : Vue générale de la tuyauterie du plan sonore de Récit.....	50
Photo 45 : Vue d'ensemble du jeu de Cornet de Récit, posté hors boîte expressive.	51
Photo 46 : Vue générale de la tuyauterie du plan sonore d'Écho	52
Photo 47 : Vues générale de la tuyauterie de Pédale, côté UT	53
Photo 48 : Vue des soupapes d'un sommier de Grand orgue.....	56
Photo 49 : Vue latérale de la laye du sommier de positif.....	57
Photo 50 : Moteurs pneumatiques de basses, Bourdon 16 Grand orgue côté Ut.....	58
Photo 51 : Bloc Moteur électrique de basses de Flûte 16, côté UT	58
Photo 52 : Bloc Moteur électrique de Quinte 10'2/3 et basses Flûte 4.....	58
Photo 53 : Fond de sommier du plan de Récit, côté basses UT.....	59

Table des extraits graphiques

Extrait graphique 1 : Représentation 3D des charpentes porteuses en acier de la partie instrumentale de l'orgue.....	10
Extrait graphique 2 : représentation 3D de l'alimentation : réservoirs et porte-vent.....	12
Extrait graphique 3 : Schéma de principe de fonctionnement d'un réservoir baquet à table flottante.....	13
Extrait graphique 4 : Mise en évidence des volumes mort et utile dans un soufflet à table flottante.....	15
Extrait graphique 5 : Modélisation mécanique de la table flottante d'un réservoir baquet.....	16
Extrait graphique 6 : Méthode réduction du volume mort sur un soufflet existant.....	16
Extrait graphique 7 : Soufflet à table flottante avec régulation à rideau intégrée.....	17
Extrait graphique 8 : Soufflet avec régulation à rideau en position fermée.....	17
Extrait graphique 9 : représentation schématique des tracés de la mécanique des notes pour les plans sonores manuels.....	20
Extrait graphique 10 : Illustration de la cinématique des accouplements.....	26
Extrait graphique 11 : Coupe de principe d'un sommier avec caisson sous les gravures.....	59
Extrait graphique 12 : Coupe d'un sommier avec antiseccousses et électroaimant proportionnel.....	60

Annexes : Documents Graphiques

- Plans confectionnés au cours de l'étude :
 - Plan : 06NiceCathedraleOrgueCoupesElevationEtAxiale.pdf
 - Plan : 06NiceCathedraleOrgueCoupesEnPlanN1-N5.pdf
- Plan extrait de l'étude de Thierry Semenoux, 2013 :
 - Plan : 06NiceCathedraleOrgueElevationExterieur.pdf

1. Rappel des conditions d'établissement de l'étude

1.1. But de l'étude

Établissement d'une analyse technique approfondie du grand orgue de la Cathédrale Sainte Réparate de Nice. Définir les carences actuelles de l'instrument et proposer des solutions pour résoudre ces carences, notamment pour permettre la remise en fonction de l'orgue dans de parfaites conditions de sécurité.

1.2. Moyens

Réalisée entre Juin 2021 et octobre 2022, cette étude a été réalisée par Eric Brottier, technicien-conseil avec le concours de ses collaborateurs Thibault Rouanet et Vincent Thuillier.

Les acquis de l'étude de 2013.

Le grand orgue de la Cathédrale de Nice a fait l'objet d'une étude approfondie par le technicien-conseil Thierry Semenoux en 2013-2014.

L'étude de Thierry Semenoux est d'un excellent niveau : de nombreux éléments d'étude réalisés restent valables et ne sont plus à refaire. C'est en particulier le cas des relevés et plans qu'il suffira de compléter mais dont la base constitue un apport précieux.

En conséquence l'étude exploite autant que nécessaire les acquis de l'étude de 2013, et ce avec l'accord de l'intéressé.

Les relevés lasergrammétriques et la production des ortho-images ont été assurés par *Art Graphique & Patrimoine*.

Nous remercions également tout particulièrement :

Madame Marine Rullier, ingénieur du Patrimoine au SDAP des Alpes Maritimes

Le père Roger Angela, Recteur de la cathédrale, et Gille Bouis, maître de Chapelle, pour la qualité de leur accueil,

L'organiste pour son intérêt à notre étude et la richesse de nos échanges,

Le facteur d'orgues Bertrand Cattiaux pour son témoignage.

1.3. Résumé des conclusions de l'étude

Plusieurs orgues sont succédés dans la cathédrale Ste Réparate de Nice entre le XVIII^{ème} et le XX^{ème} siècle. D'abord avec les orgues de facture italienne de Gioacchino Concone, puis de la firme Serassi, c'est en 1901 qu'est inauguré un nouvel orgue de Florent Martella, facteur d'orgues niçois, ancien employé de la Maison Vincent Cavaillé-Coll, construit dans un buffet conçu par l'architecte parisien Vaudremer.

Cet orgue de type symphonique est complètement reconstruit par Robert et Jean-Loup Boisseau en 1974 et nous est parvenu inchangé ou presque en 2022.

La partie instrumentale de 70 jeux disposés sur quatre claviers manuels et pédale a été largement inspirée par Pierre Cochereau, organiste de Notre Dame de Paris et directeur du conservatoire de Nice.

Cet orgue n'était plus joué depuis plusieurs années en raison des risques liés au fonctionnement de ses parties électriques et électroniques, aujourd'hui totalement obsolètes. Le risque le plus important s'est avéré lié au système de démarrage des turbine, détecté dès le lancement de la présente étude, et a pu être résolu rapidement. Il subsiste cependant dans l'instrument de nombreux circuits électriques de toutes natures, constituant un câblage totalement hétéroclite et anarchique

tant en triphasé, que monophasé 220 et en très basse tension 12 V redressé, qui n'est pas exempt de risques, risques accrus par une exposition des contacts et connexions à la poussière, notamment pour le 12V.

Sur le plan de son style, l'instrument est un orgue essentiellement reconstruit à neuf par les Boisseau, et intègre quelques éléments remontant à l'orgue de Martella ainsi que l'orgue précédant des Frères Serassi. Il s'agit aujourd'hui d'un instrument de synthèse de type néo-baroque aux qualités reconnues, ouvert à un large répertoire et qui constitue un témoignage digne d'intérêt sur l'évolution esthétique de la facture d'orgue dans la seconde moitié du XXème siècle.

Sur le plan de sa facture, l'instrument est conforme à son époque de construction : si l'architecture de l'instrument est nettement inspirée de la facture classique, la mise en œuvre et le choix des matériaux s'en écarte largement. La mécanique écarte le bois traditionnel au profit du contreplaqué, du PVC, de l'acier, du duralumin, mais leur mise en œuvre est imparfaite. Le tirage de jeux électrique est aujourd'hui presque inutilisable, le système des 8 combinaisons est totalement dépassé. Les réservoirs de l'alimentation sont à table flottante, système aujourd'hui assez peu pratiqué en raison de ses performances limitées en termes de stabilité de vent.

La mécanique des notes est peu performante : elle est imprécise, difficile à jouer en raison de sa dureté, ce qui limite beaucoup les moyens des organistes.

En revanche, la tuyauterie est de bonne facture et donne sur le plan musical un résultat de grande qualité, à l'exception d'un nombre limité de jeux présents aux deux plans de Grand orgue et récit, résultant des limites du matériel réemployé issu de l'orgue de Martella.

En définitive, l'orgue de la cathédrale Ste Réparate présente une conception sonore et une partie phonique de valeur qu'il apparaît sage de préserver, mais ses parties mécaniques et électriques doivent bénéficier d'une modernisation importante qui présentera l'intérêt de fiabiliser et optimiser le fonctionnement de l'instrument et d'éliminer l'ensemble des risques persistants liés à ses circuits électriques.

Les travaux à envisager sur l'instrument sont de deux ordres :

- Un relevage de l'instrument, normal après 50 ans d'utilisation, s'impose au niveau des parties mécaniques et de la tuyauterie pour réparer les éléments fatigués et détériorés
- Une modernisation des éléments obsolètes, et en particulier la traction des notes et des jeux qui sont à reconstruire de même que la console des claviers pour disposer d'une traction performante et fiable de type numérique, fonctionnant en toute sécurité et en parfaite conformité avec les normes actuelles.
- Une évolution marginale de la qualité sonore passant par le remplacement ou une meilleure adaptation de quelques jeux dont le niveau de facture dépare dans l'ensemble des ressources sonores de l'instrument.

Le montant des travaux en valeur HT est estimé à 680 000 euros HT.

2. Convention de rédaction

2.1. Disposition, côtés

L'orgue étant essentiellement disposé diatoniquement, nous adopterons comme convention de rédaction la nomenclature usuelle de la facture d'orgue : « côté C » ou « côté Ut » pour le côté situé à la gauche de l'instrument (en lui faisant face) et « côté # » pour le côté droit.

2.2. Unités

Sauf mentions spécifiques, les dimensions sont données en millimètres (mm).

2.3. Libellé des notes

Comme de coutume dans la facture d'orgues, les notes sont données dans leur notation anglo-saxonne (A=La ; B=Si ; C=Do ; D=Ré ; E=Mi ; F=Fa ; G=Sol) suivie du numéro d'octave.

Dans les retranscriptions de marques sur les tuyaux, la mention « [Note] » signifie que chaque tuyau porte l'inscription de sa note jouée selon la notation ci-dessus.

Cette mention peut être assortie d'un décalage en ton ou $\frac{1}{2}$ ton. Par exemple, « [Note -1 ton] » signifie que pour un Do joué, normalement noté « C », il sera noté « A# ».

Enfin, la mention « Note entendue » est utilisée pour des tuyaux de mutations (transpositeurs). Ainsi, un tuyau de Quinte joué sur un Do, normalement noté « C », fait entendre un Sol (une quinte au-dessus), noté « G ». Le tuyau est donc marqué de cette note entendue.

2.4. Symbole

Dans les retranscriptions d'éléments écrits, nous utilisons le symbole « // » pour signifier un changement de ligne.

2.5. Abréviations.

Le facteur Robert Boisseau constructeur de l'orgue sera couramment désigné sous ses initiales : « RB ».

3. Essai historique résumé

Le lecteur désireux d'en connaître plus sur l'historique des orgues de la cathédrale Ste-Réparate de 1559 à nos jours pourra se reporter à l'historique détaillé, rédigé par Thierry Semenoux dans le cadre de l'étude qu'il a effectuée en 2016.

3.1. Avant l'orgue actuel.

L'histoire des orgues de la Cathédrale de Nice a été étudiée à de nombreuses reprises.

La découverte récente d'un contrat daté de 1803 entre l'administration de la cathédrale Stc. Réparate de Nice et le facteur de Turin Gioacchino Concone a permis d'identifier sa dernière œuvre connue. Il s'agissait d'un orgue important pour le Piémont : 24 registres manuels, deux claviers identiques de 54 notes avec première octave chromatique (Do1-Fa5).

La composition manifeste un archaïsme certain par rapport à la facture lombarde du début du XIX^{ème} siècle.

Cet orgue sera relevé par le facteur Agati en 1831, puis à nouveau en 1833.

L'organiste Pietro Gioan se plaindra de l'instrument : écrivant à la fabrique une longue lettre, il s'y plaint de l'état de l'orgue, et des jeux d'anches inutilisables. Mais il reproche surtout à l'instrument d'être trop faible par rapport à l'édifice, de manquer de basses et d'anches modernes. Bref, il estime qu'une réparation avec augmentation des jeux ne donnerait pas un bon résultat pour son prix.

Il conseille donc à la fabrique de faire construire un orgue neuf, et recommande les deux maisons qu'il considère comme les plus renommées d'Italie : Serassi et Agati.

En 1846, octobre, le conseil d'administration de la cathédrale juge que les orgues « *ne correspondent pas aux dimensions de l'édifice, ne sont pas harmonieuses, manquent de certains registres et de tous les accessoires dont les instruments modernes sont pourvus* ». Il est décidé que c'est à la Paroissiale Saint-Martin qu'elles seraient remises et qu'une maison de Bergame, celle des frères Serassi, qui passaient alors pour de remarquables facteurs, en exécuterait de nouvelles. L'instrument existant est alors revendu à la paroisse Saint Martin. L'orgue Serassi est installé le 14 février 1848.

En 1901, le 4 février, survient l'inauguration et la bénédiction des travaux d'agrandissement et de restauration de la cathédrale. L'orgue Serassi avait vieilli. S'il était volumineux, il manquait de puissance. En outre, il trônait sur « *une immense estrade qui s'étendait jusqu'au premier pilier de la première travée* ».

La commande d'un nouvel instrument fait l'objet d'un contrat intervenu en le 15 octobre 1899, entre la Fabrique, et M. Florentin Martella, facteur d'orgues niçois, ancien employé de la Maison Vincent Cavaillé-Coll.

L'orgue de tribune doit avoir des sommiers pour quarante-deux jeux, chiffre porté au projet Martella. Mais pour des raisons d'ordre budgétaire, cet orgue ne comportera au début que vingt-cinq jeux. Le prix étant convenu à raison de 1.000 fr. par jeu, le devis primitif de 42.000 fr. est donc réduit à 25.000. Néanmoins l'orgue sera quand même installé avec ses quarante-deux jeux. Le facteur reprendra les matériaux de l'orgue ancien pour le prix de 2.000 francs. L'orgue est réceptionné le 10 décembre 1901 et inauguré le 16 décembre par Louis Vierne, organiste de Notre Dame de Paris.

3.2. Le projet Cochereau

A la demande de Monsieur Jacques Médecin, Député-Maire de Nice, il a été décidé de la création d'une commission destinée à établir le cahier des charges des travaux en vue de la restauration du grand Orgue de la Cathédrale St. Réparate de Nice. Cette commission devait se réunir pour la première fois le 4 octobre 1968.

La restauration de 1974, qu'il convient dans les faits de considérer comme une reconstruction, fut confiée aux facteurs Robert et Jean-Louis Boisseau.

Pour reprendre les propos de Thierry Semenoux, cette reconstruction nous donne aujourd'hui, comparée à de nombreuses tentatives si rarement abouties, le meilleur exemple d'une synthèse néo-baroque apte à jouer quasiment tous les répertoires. C'est l'esprit de cette synthèse qu'il convient de garder en vue dans le programme de travaux, sans exclure la possibilité d'améliorations permettant le plein aboutissement de cette synthèse.

Nous devons cette exception française au plan de travaux établi par Pierre Cochereau, dont il est saisissant de constater combien la mémoire est toujours aussi vivace dans les jeunes générations d'organistes.

Aucun instrument sur le territoire national ne témoigne à ce point de l'intervention de cette figure de proue de l'orgue français dans la facture d'orgues, à l'exception, mais dans une mesure moindre, du Grand-Orgue de Notre-Dame de Paris.

Enfin, le rayonnement international de Pierre Cochereau ne doit pas faire oublier tout ce que Nice lui doit dans sa renaissance musicale, ainsi que tout l'éclat que son époustouflant dynamisme sut conférer à son Conservatoire.

C'est pourquoi la restauration projetée doit répondre clairement à la hauteur de l'enjeu, de sorte que l'orgue de la basilique Sainte-Réparate soit connu comme ce qu'il est : un moment clef de la facture d'orgues française, apte à servir pleinement l'usage cultuel et culturel de la Cathédrale, en même temps qu'il donnera aux élèves du Conservatoire un outil prestigieux digne de l'importance de Nice dans le renouveau de l'école d'orgue française.

3.3. Composition actuelle

Positif	Grand-Orgue	Récit Expressif	Écho	Pédale
56 notes C1-G5	56 notes C1-G5	56 notes C1-G5	56 notes C1-G5	32 notes C1-G3
Montre 8	Montre 16	Principal 8	Bourdon 8	Bourdon 32
Flûte 8 (F#2)	Bourdon 16	Gambe 8	Quintaton 8	Flûte 16
Bourdon 8	Montre 8	Voix Céleste 8	Flûte 4	Soubasse 16
Prestant 4	Bourdon 8	Flûte Harmonique 8	Doublette 2	Flûte 8
Flûte 4	Flûte Harmonique 8	Principal 4	Sifflet 1	Bourdon 8
Nazard 2 $\frac{2}{3}$	Prestant 4	Flûte Octaviane 4	Cymbale II rgs	Prestant 4
Doublette 2	Flûte 4	Octavin 2	Nazard 2 $\frac{2}{3}$	Flûte 2
Tierce 1 $\frac{3}{5}$	Grosse Tierce 3 $\frac{1}{5}$	Quinte 2 $\frac{2}{3}$	Tierce 1 $\frac{3}{5}$	Gemshorn 2
Larigot 11/3	Nazard 2 $\frac{2}{3}$	Tierce 1 $\frac{3}{5}$	Régale 8	Plein-Jeu III rgs
Mixture VII rgs	Doublette 2	Plein-Jeu	Chalumeau 4	Bombarde 16
Trompette 8	Quarte 2	Bombarde 16		Trompette 8
Clairon 4	Tierce 1 $\frac{3}{5}$	Trompette harmonique 8		Clairon 4
Cromorne 8	Grosse Fourniture III rgs	Clairon 4		Ranquette 16
	Fourniture III rgs	Hautbois 8		
	Cymbale IV rgs	Voix Humaine 8		
	Trompette 8	Cornet V rgs	(hors boîte expressive)	
	Chamade 8			
	Chamade 4	Expression REC		
Crescendo	8 combinaisons			
Tirasses I,II,III,(III en 4), IV.		Accouplements mécaniques : POS/GO, REC/POS, REC/GO,		

4. Disposition générale de l'instrument et diagnostic de sécurité.

4.1. Buffet

4.1.1. Description du buffet d'orgue.

Le buffet se

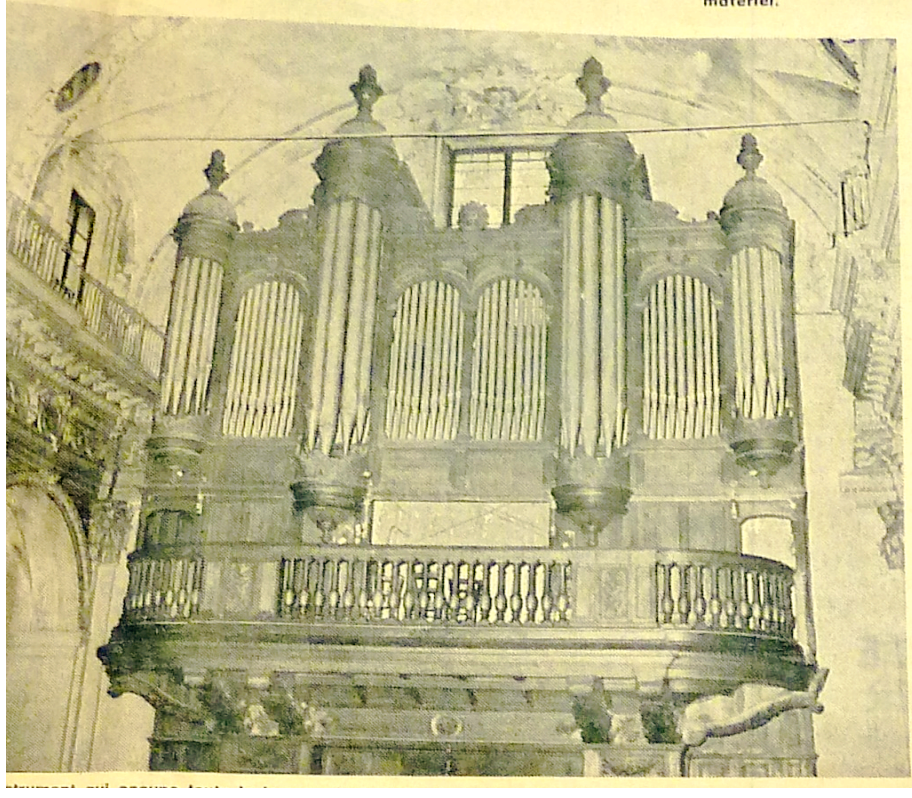


Photo 2 : L'orgue de Martella avant la reconstruction de 1974

- Un grand corps dessiné par l'architecte Vaudremer de Paris pour l'orgue de Florentin Martella, conforme à l'illustration ci-dessus.
- Un positif de dos installé par Boisseau lors de la reconstruction de l'orgue au cours des années 1970.



Photo 3 : Le positif Boisseau, érigé en 1974

Thierry Semenoux avait centré son étude sur la modification de ce positif dont les proportions apparaissent démesurées par rapport au grand buffet. Diverses simulations ont été établies par ses soins pour modifier les proportions du meuble de positif. Nous prenons note du fait que ces propositions restent sans suite, pour des raisons budgétaires notamment et que par conséquent la volumétrie des buffet restera donc inchangée.

4.1.2. Diagnostic des buffets.

Diagnostic archéologique :

Sans objet pour le meuble de positif.

Pour le grand corps, la façade du buffet est conforme à l'état de 1901.

Diagnostic sanitaire :

État de conservation satisfaisant. On détecte des attaques de xylophages dans le soubassement du grand buffet, ce qui nécessitera un traitement approprié. Ces attaques restent néanmoins d'ampleur très limitée, localisées aux pièces en résineux à la base du buffet.



Photo 4 : Attaques de xylophage dans le soubassement du côté gauche de la console (Sud)



Photo 5 : Attaques de xylophages dans le soubassement du côté droit (Nord)

Le buffet de 1901 est construit en chêne. L'attaque des xylophages porte essentiellement sur une traverse basse réalisée en sapin, le phénomène constaté n'est donc pas généralisé à l'instrument.

Diagnostic fonctionnel :

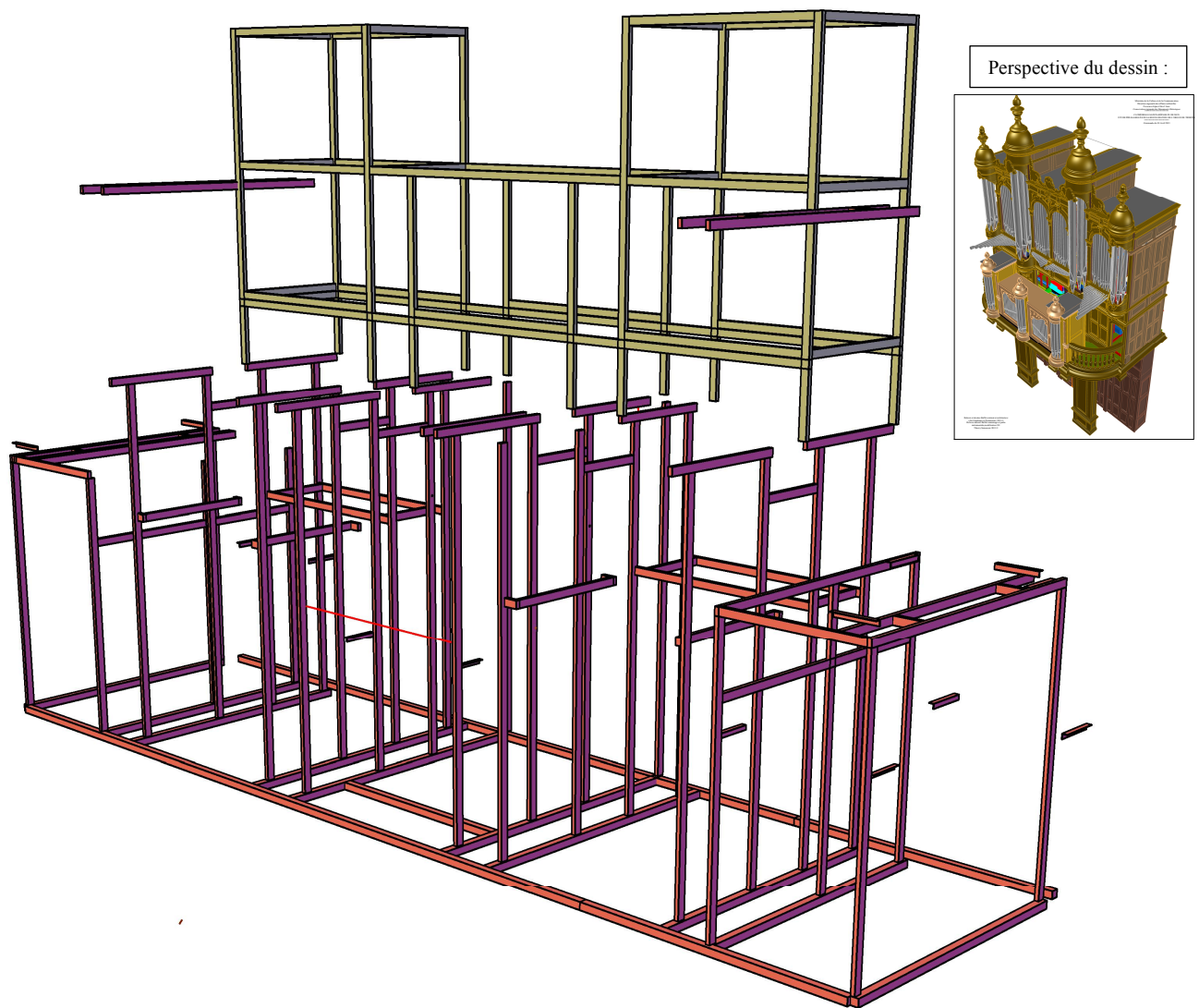
Les deux buffets assurent parfaitement leur fonction.

4.2. Charpentes porteuses, coursives et boîte expressive.

4.2.1. Description générale.

Les charpentes sont de type mixte, en bois et profilés d'acier. Les parties en bois sont issues de la charpente de l'orgue de 1901 et constituent l'ossature du buffet d'orgue, en chêne et sapin. Les charpentes intérieures sont de Boisseau en tubes d'acier assemblés par soudage et boulonnage.

Cette charpente est conçue par plans sonores et architecturent complètement l'ensemble de la structure instrumentale ainsi que le met en évidence l'extrait graphique suivant :



Extrait graphique 1 : Représentation 3D des charpentes porteuses en acier de la partie instrumentale de l'orgue

La boîte expressive du plan sonore de récit représentée en vert sur l'extrait graphique ci-dessus est construite en panneaux de particules montées sur cadres en acier.

Les lames mobiles de la boîte expressive ont une efficacité dégradée sur l'expression qu'elles doivent permettre de rendre au plan sonore en raison de l'usure des garnitures.

L'échelle d'accès à l'étage de la tuyauterie desservant l'étage de la tuyauterie du grand buffet est télescopique et se range en position haute avec un système de corde.

Les planchers de circulation sont en contreplaqué. L'ensemble est peint en couleur grise.

En raison de l'étroitesse des planches d'accord derrière les sommiers de Grand orgue, les conditions d'accès à l'étage sont délicates et les tuyaux du jeu de Cymbale placés au niveau de la porte d'accès sont endommagés. Il sera nécessaire de placer à cet endroit un écran de protection des tuyaux de Cymbale.

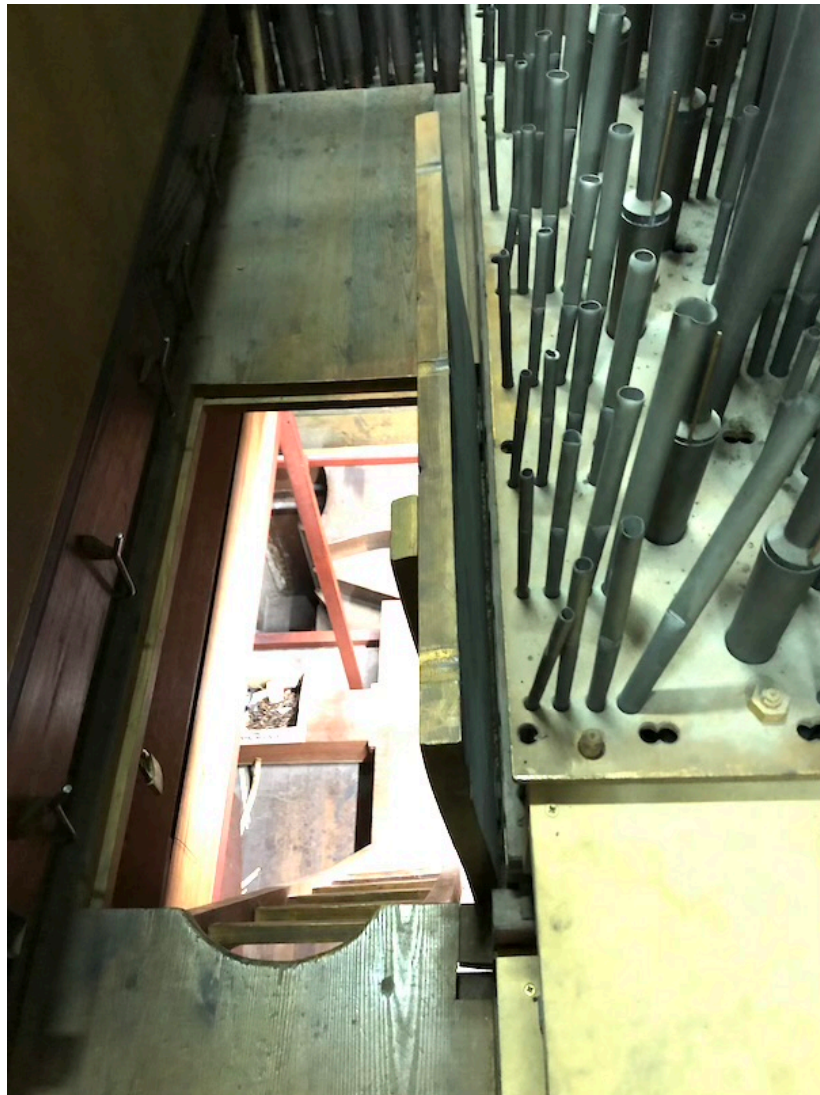


Photo 6 : État des tuyaux du jeu de Cymbale au voisinage de la trappe d'accès à l'étage des tuyaux du Grand orgue

4.2.2. Diagnostic des charpentes

Diagnostic archéologique :

État de 1974.

Diagnostic sanitaire :

État satisfaisant.

Diagnostic fonctionnel :

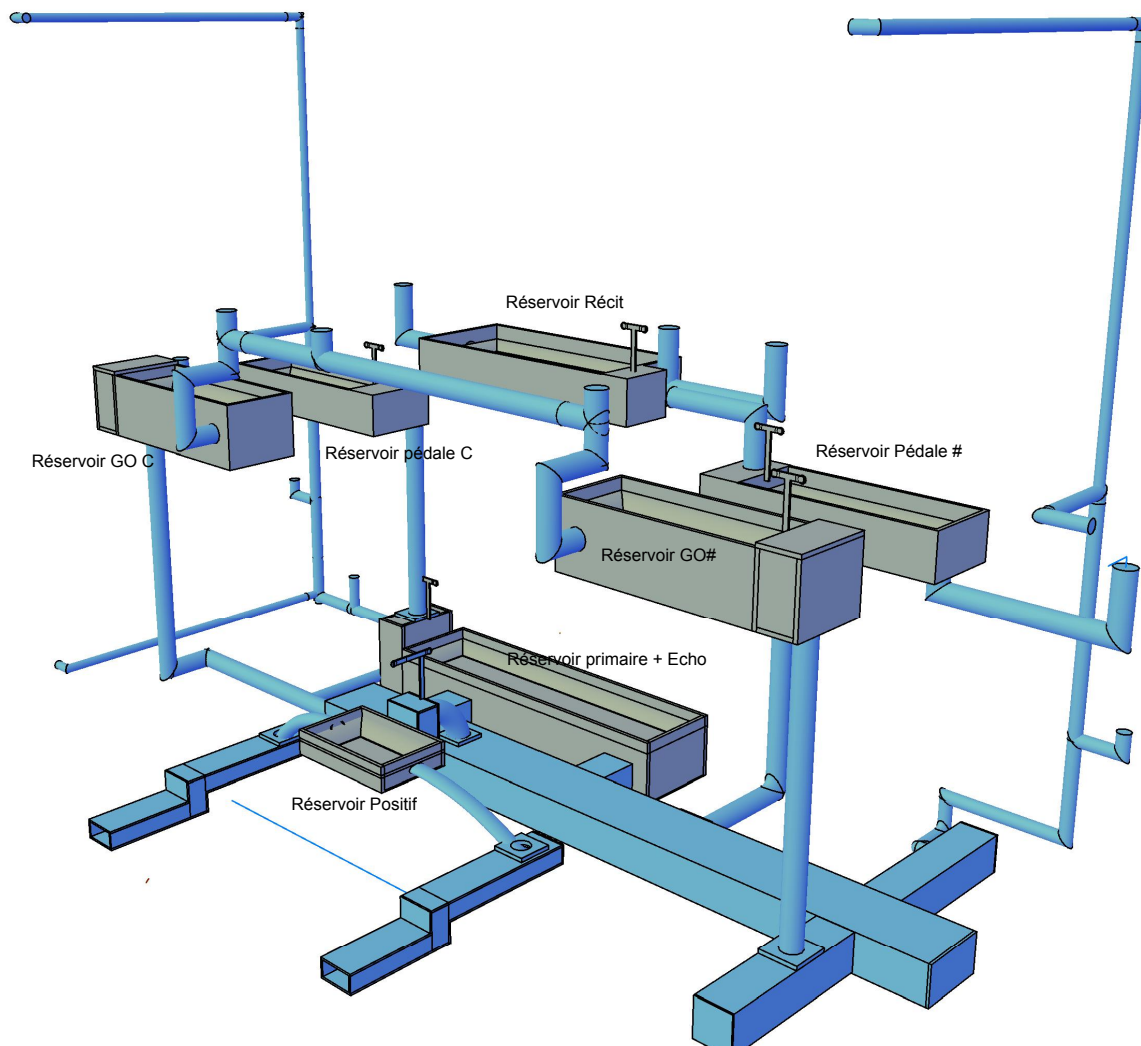
Correct pour les charpentes et coursives. La boîte expressive doit être rendue étanche.

Sécurité vis-à-vis de la tuyauterie en regard : Les panneaux d'accès dans la boîte expressive sont difficiles à déposer faute de de poignées de préhension qu'il faudra en conséquence prévoir d'installer.

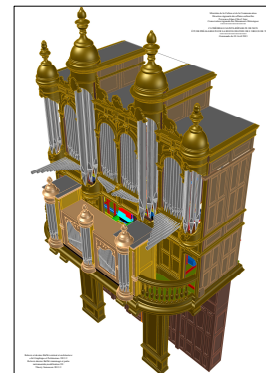
4.3. **Alimentation en vent**

Chaque plan sonore est alimenté en air sous pression à une pression indépendante. Il y a donc autant de réservoirs et de régulateurs de pression que de plans sonores soit 7 au total répartis sur les plans sonores.

Disposition générale de l'alimentation :



Perspective du dessin :



Extrait graphique 2 : représentation 3D de l'alimentation : réservoirs et porte-vent.

Le schéma synoptique de cette alimentation a été établi.

4.3.1. Turbine

L'air sous pression est fourni par deux turbines installées en parallèle à l'entrée du circuit de vent.

Le vent est fourni par deux ventilateurs Laukhuff installés par le facteur d'orgue François Delangue.

Caractéristiques :

2800 trs/mn, puissance 0,74 kW chacune.

Pression de sortie : 120 mm C.E.

Débit nominal par turbine : 21 m³/mn. Donc débit nominal global : 42 m³/mn.

Les deux ventilateurs sont installés dans des caisses insonorisées (fabrication Laukhuff) posées l'une sur l'autre. Liaison à la boîte régulatrice par manchon souple insonorisé.

Boîte régulatrice par boîte à rideau (modèle Laukhuff 7 600 04).

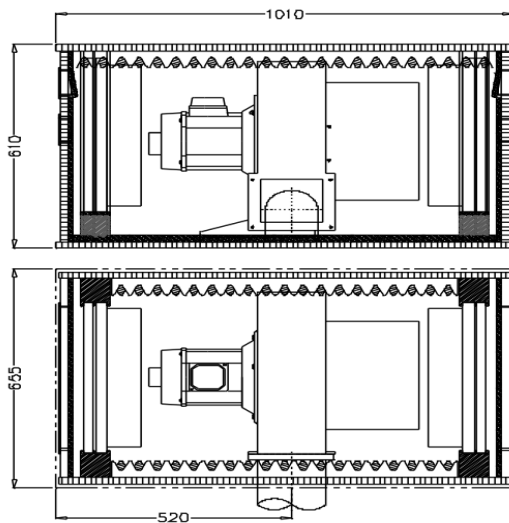
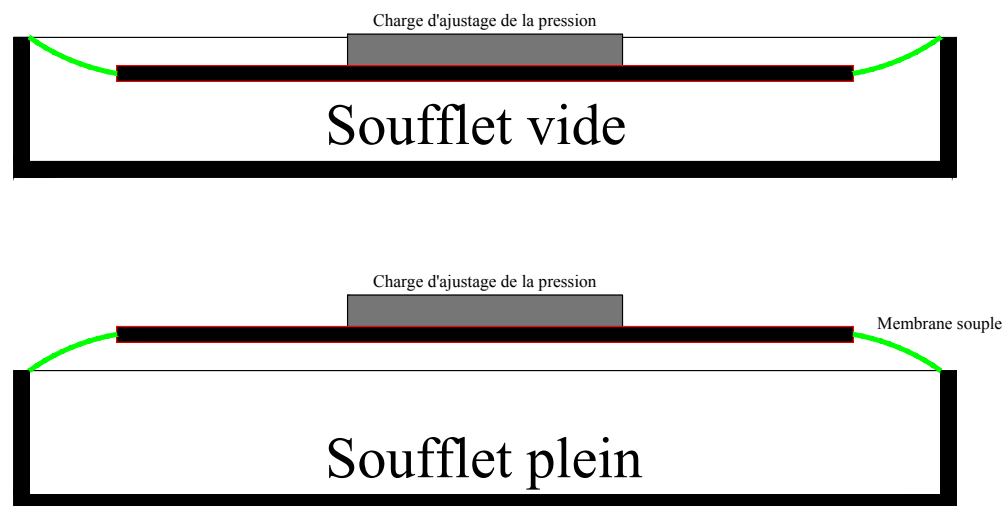


Photo 7 : Turbines d'alimentation de l'orgue.

4.3.2. Réservoirs.

Les réservoirs sont constitués de bacs à table flottante. Ces réservoirs sont tous dotés d'une boîte régulatrice intégrée à l'exception du bac primaire doté de la boîte modèle Laukhuff 7 600 04 citée plus haut.

Le principe d'un réservoir à table flottante est le suivant :



Extrait graphique 3 : Schéma de principe de fonctionnement d'un réservoir baquet à table flottante.

Ces bacs ont une forme oblongue, ils sont construits en bois exotique (sipo ou acajou) et de contreplaqué de 20 mm d'épaisseur.

La table supérieure mobile est sustentée sur le matelas d'air sous pression contenu dans le bac : la table « flotte » en quelque sorte et monte jusqu'à la hauteur maximale de course liée aux dimensions des membranes qui assurent l'étanchéité du système tout en soutenant la table. La pression est déterminée par la charge posée sur la table flottante.

A noter qu'il existe normalement des cales, non représentées sur ces schémas qui soutiennent la table lorsque l'orgue est hors service, pour éviter que les membranes n'aient à supporter le poids important de la table et de sa charge, ce qui solliciterait excessivement ces membranes en traction et pourrait soit entraîner des déchirures, soit une usure accélérée.



Les membranes sont constituées de peaux de couleur blanche et de toiles étanches caoutchoutées de couleur grise. En l'occurrence, les réalisations dans l'orgue mixent les deux types de matériaux avec de la peau pour les angles.

D'une façon générale, les toiles sont en bon état à l'inverse des peaux qui sont pour la plupart crevées et dotées de rustines.

Photo 8 : Vue du réservoir de pédale côté UT

4.3.3. Analyse critique du fonctionnement de ce type de réservoir.

L'intérêt des réservoirs à table flottante tient en premier lieu à son mode de construction économique. La réalisation d'une table flottante avec des membranes est bien plus économique que de réaliser des éclisses en bois avec des peaux faisant charnière entre les éclisses. Il n'y a pas de parallélogramme de régulation comme il en existe dans les soufflets conventionnels à tables parallèles et à doubles plis.

Ce type de réservoir était très en vogue au cours des années 1960-70 et certains facteurs d'orgues les utilisent encore dans certaines réalisations d'aujourd'hui.

Cependant, à la suite de l'expérience acquise en matière de qualité de vent sur l'harmonie des instruments, ce type de réservoir est largement critiqué par les facteurs d'orgues pour le manque de vivacité du vent qui résulte de ce mode de construction.

D'une part, la stabilité de l'accord peut être très altérée lorsque la consommation de vent instantanée est susceptible d'être saccadée, ce qui se produit fréquemment dans la musique à caractère symphonique.

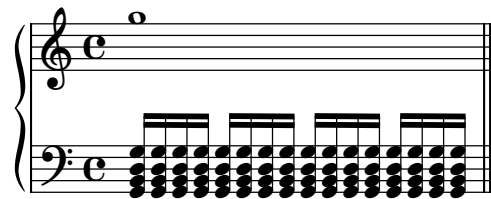
D'autre part, le manque de vivacité est en relation directe avec la dynamique sonore et l'attaque des tuyaux, qui sont des éléments déterminants sur la qualité sonore de l'orgue.

C'est pourquoi les facteurs d'orgues qui ont une véritable exigence de qualité à l'égard des performances du vent délivré par les soufflets d'un orgue sont généralement revenus de ce mode de construction et réalisent aujourd'hui des réservoirs à doubles plis compensés qui délivrent une pression d'alimentation plus stable.

La notion de « vivacité » inclut en termes de performances, le fait que lorsque le réservoir doit répondre à un appel d'air important, le réservoir doit pouvoir délivrer instantanément un air stable, c'est-à-dire à une pression aussi constante que possible, sans phénomène de retard dû à la consommation.

Pour mettre en évidence les défauts de stabilité du vent, un test de jeu au clavier peut être effectué. Il correspond à plaquer des accords répétés sur les basses du clavier tout en tenant une note dans l'aigu du clavier. On apprécie auditivement l'amplitude avec laquelle le son de la note aiguë tremble à la fréquence des accords répétés dans la basse.

L'illustration musicale de ce type d'essai peut être ainsi notée :



Nous avons réalisé des essais sur les quatre claviers de l'orgue et sur différents mélanges de jeux. Le résultat auditif nous conduit sans surprise à observer une instabilité de la note tenue, mais cette instabilité reste relativement limitée. C'est pourquoi nous estimons que ce système reste viable d'autant plus qu'il est envisageable de l'améliorer avec des solutions relativement économiques. Il faut également noter que ce test est très contraignant et que peu d'orgues peuvent prétendre à une parfaite stabilité face à ce type de tests qui correspondent à un mode jeu qui ne se rencontre pas avec un tel niveau d'extrémité dans le cas de l'exécution musicale courante.

Le constat de ces tests met en évidence que les régulations par boîtes à rideaux sont suffisamment réactives. En définitive, le manque de dynamique sonore qui peut être imputé à ce type de réservoir tient surtout au fait de l'élasticité importante du matelas d'air contenu dans le réservoir.

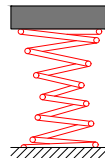
En effet le réservoir est constitué d'un ensemble présentant une masse inerte (table + charges) reposant sur un matelas d'air élastique. Ce matelas d'air est constitué pour partie du volume d'air utile à la consommation en vent et d'autre part d'un volume mort qui ne participe pas à l'alimentation en vent, ce qu'illustre le schéma suivant :



Extrait graphique 4 : Mise en évidence des volumes mort et utile dans un soufflet à table flottante.

Toute la partie du volume d'air représentée en bleu correspond au volume mort et augmente d'autant plus souplesse du matelas d'air global. Sont également des volumes morts les différents porte-vent conduisant l'air aux sommiers, les layes des sommiers, les caissons des sommiers lorsqu'il y en a. Certains de ces volumes sont inévitables, c'est le cas des porte-vent par exemple. Mais plus ces volumes sont importants, et plus les volumes morts sont importants par rapport au volume utile qui est le seul impliqué dans la réserve effective d'air sous pression.

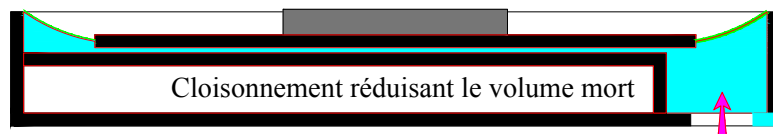
La table chargée reposant sur ce matelas d'air est modélisable comme un système oscillant de type masse-ressort de ce type :



Extrait graphique 5 : Modélisation mécanique de la table flottante d'un réservoir baquet

Ceci explique pourquoi un réservoir à table flottante est susceptible d'entrer en résonance s'il est soumis à une excitation périodique telle qu'une succession d'accords répétés.

Des solutions existent, permettant d'améliorer la stabilité du vent sans nécessairement être contraint de reconstruire l'ensemble du circuit d'alimentation. Pour cela il faut réduire les volumes morts existants, et donc en premier lieu dans les réservoirs. La solution est assez simple mettre en œuvre : il suffit de placer à l'intérieur un cloisonnage fermé ou un remplissage des volumes concernés :



Extrait graphique 6 : Méthode réduction du volume mort sur un soufflet existant.

En ce qui concerne les porte-vent, les longueurs sont courtes pour le grand orgue et le Récit du fait de la proximité des réservoirs associés à ces sommiers placés juste en dessous (et donc des volumes morts optimisés).

Les tables flottantes sont démontables de façon simple. Elle doivent de toute façon être démontées pour restaurer les peaux. Il sera donc assez simple d'en profiter pour neutraliser les volumes morts.

L'autre source est liée aux sommiers ce qui sera traité dans le paragraphe correspondant.

Inventaire des réservoirs :

1 Réservoir primaire en sortie de turbine : 2220 x 0 m 585 mm², Pression relevée : 111 mm CE

1 Réservoir positif : 750 x 500 mm², Pression relevée : 104,6 mm CE

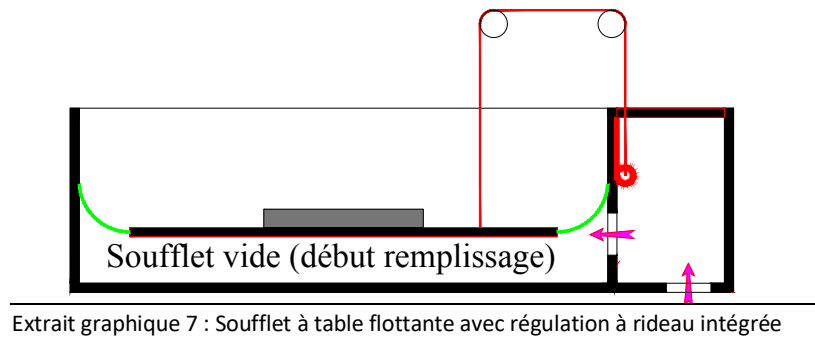
2 Réservoirs Grand orgue : 1245 x 500 mm², Pression relevée : 103,8 mm CE

1 Réservoir Récit: 2220 x 585 mm², Pression relevée : 93 mm CE

2 Réservoirs pédale : 1245 x 500 mm², Pression relevée : 92,5 mm CE

4.3.4. Régulation.

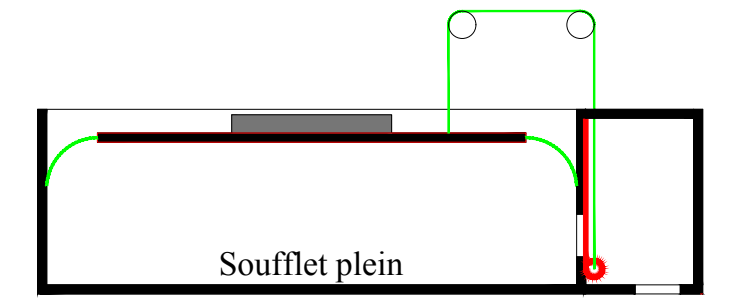
Les régulateurs de pression sont des organes qui permettent d'ajuster l'alimentation issue des turbines à la pression d'utilisation du vent dans chaque plan sonore de l'orgue et de stabiliser la position de la table du soufflet. Les boîtes régulatrices sont indépendantes ou couplées aux réservoirs. Le principe appliqué dans l'orgue de la cathédrale en est le suivant, chaque régulateur est accolé au réservoir concerné, excepté pour le positif et le réservoir primaire :



Extrait graphique 7 : Soufflet à table flottante avec régulation à rideau intégrée

Un tel type de régulateur est de type « à rideau ». Lorsque le soufflet est vide, l'air de la turbine peut alimenter le soufflet dont l'admission est ouverte, le rideau étant enroulé en position haute.

Lorsque le soufflet se remplit, la table mobile monte. Parallèlement le rideau descend en se déroulant, couvrant progressivement l'orifice d'admission d'air du soufflet. Une fois plein, le rideau obture complètement l'admission et coupe le débit d'air.



Extrait graphique 8 : Soufflet avec régulation à rideau en position fermée

Lorsque l'orgue joue, la table se positionne dans une position intermédiaire ajustant la hauteur du rideau de façon à adapter la section effective de passage de l'admission du vent au débit d'air consommé. Le rideau est piloté par un simple système de cordelette sur poulies reliée à la table du soufflet.

Chaque soufflet en est équipé de façon à s'adapter à une pression adaptée à chaque plan sonore. La maison Boisseau a donc pris le parti de définir une pression spécifique pour chaque plan sonore.

Le réservoir du positif et le réservoir primaire sont munis de boîtes régulatrices de type Laukhuff indépendantes :

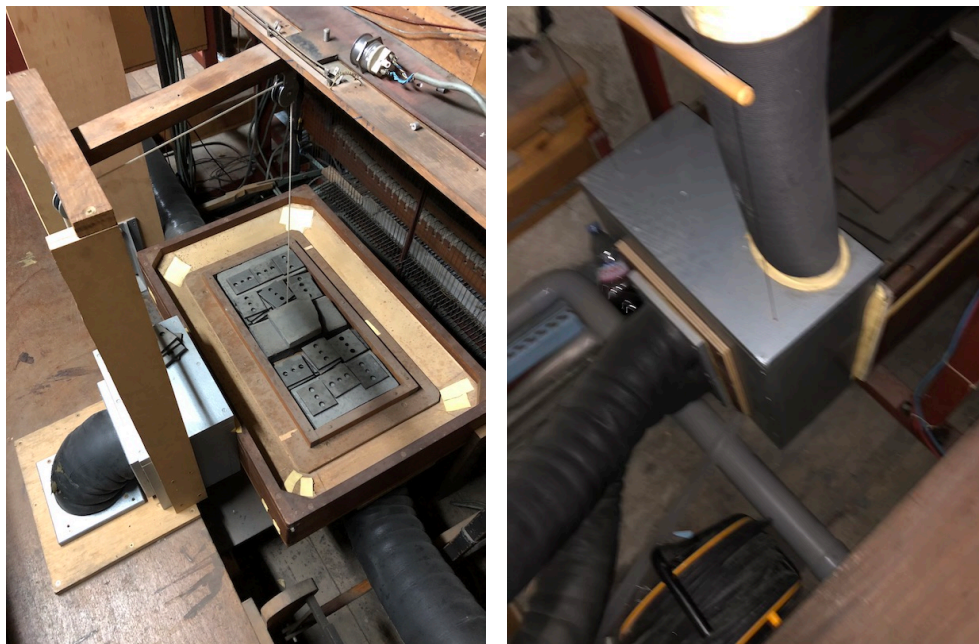


Photo 9 : Boîte régulatrices du réservoir de positif et du réservoir primaire

Le démontage permettra de dresser un diagnostic précis de ces régulations mais a priori, ces régulateurs étant fonctionnels, il n'y a pas lieu de douter de leur état correct de conservation, la seule partie sensible pouvant être le rideau mobile.

4.3.5. Porte-vent

Les porte-vent sont constitués de tubes industriels en PVC gris à usage sanitaire, à l'exception d'un grand collecteur en bois placé au sol issu de la turbine et des deux porte-vent alimentant le Positif. Si le parti d'utiliser du PVC peut soulever un a priori défavorable sur le niveau de qualité de facture, il faut admettre que les aptitudes fonctionnelles de ce type de matériau sont plutôt positives. Les coudes arrondis aux angles des conduites et l'état de surface du matériau sont autant d'éléments qui facilitent un écoulement fluide de l'air. L'insonorisation est bonne car il s'agit de matériau peu résonant et la mise en œuvre est d'une extrême simplicité. L'insensibilité à l'hygrométrie est un autre point fort. Ajouté à une mise en œuvre facile et économique, ce type de matériau est largement en usage en facture d'orgue dans différents pays dans la facture contemporaine, même si l'on constate un conservatisme dans la construction de porte-vent en bois qui résulte plus du souci de réaliser une manière de réalisation fidèle à la tradition et d'une esthétique plus flatteuse que des performances techniques. Évidemment on n'utilise pas ce type de matériau lorsqu'il s'agit de restaurer un orgue historique. Nous n'avons pas observé de désordres ni de dégradation sur l'ensemble des porte-vent qu'ils soient en PVC ou en bois.

4.3.6. Diagnostic de l'alimentation.

Diagnostic archéologique :

État de 1974.

Diagnostic sanitaire :

État de conservation très correct à l'exception des angles en peau des membranes qui devront être refaits à neuf.

Diagnostic fonctionnel :

Correct mais améliorable en réduisant les volumes morts des soufflets.

4.3.7. Travaux à envisager sur l'alimentation.

Dans l'absolu, deux partis de travaux sont envisageables au niveau de l'alimentation.

- Solution N°1 : on conserve l'alimentation telle qu'elle est, sans aucune modification :

On peut considérer que l'orgue a été conçu ainsi par son concepteur et qu'il n'y a pas de raison objective à modifier l'ensemble une alimentation en vent qui est fonctionnelle dont les qualités techniques et sonores sont représentatives de la conception de l'époque, avec ses points forts et ses points faibles.

- Solution 2 : soit on remet en cause l'alimentation en vent en raison de ses points faibles :

Il faudrait alors considérer que l'orgue Boisseau pourrait gagner en qualité sonore, sans que cela remette en cause son esthétique générale, au niveau de la stabilité du vent. Cela revient à remplacer les soufflets baquet par des soufflets à plis parallèles compensés avec adjonction de système antisecousses.

Cette solution est évidemment garante d'une amélioration optimale du vent. Cela implique néanmoins une reconstruction importante dont l'impact financier ne sera pas négligeable.

- Solution N°3 : Soit on conserve l'alimentation dans son ensemble en lui apportant des améliorations ponctuelles.

Cette solution permet d'envisager de conserver l'alimentation presque telle qu'elle est en introduisant quelques améliorations limitées. Cela consisterait alors à doter les réservoirs baquets existants :

- D'un cloisonnement interne limitant le volume mort ;
- Éventuellement, d'un système d'étrier permettant de les transformer en soufflets à table cunéiforme ce qui améliorerait significativement la vivacité du vent.

Cette solution permet de ne pas bouleverser l'alimentation telle qu'elle été conçue, est de plus parfaitement réversible et permettra une importante économie financière.

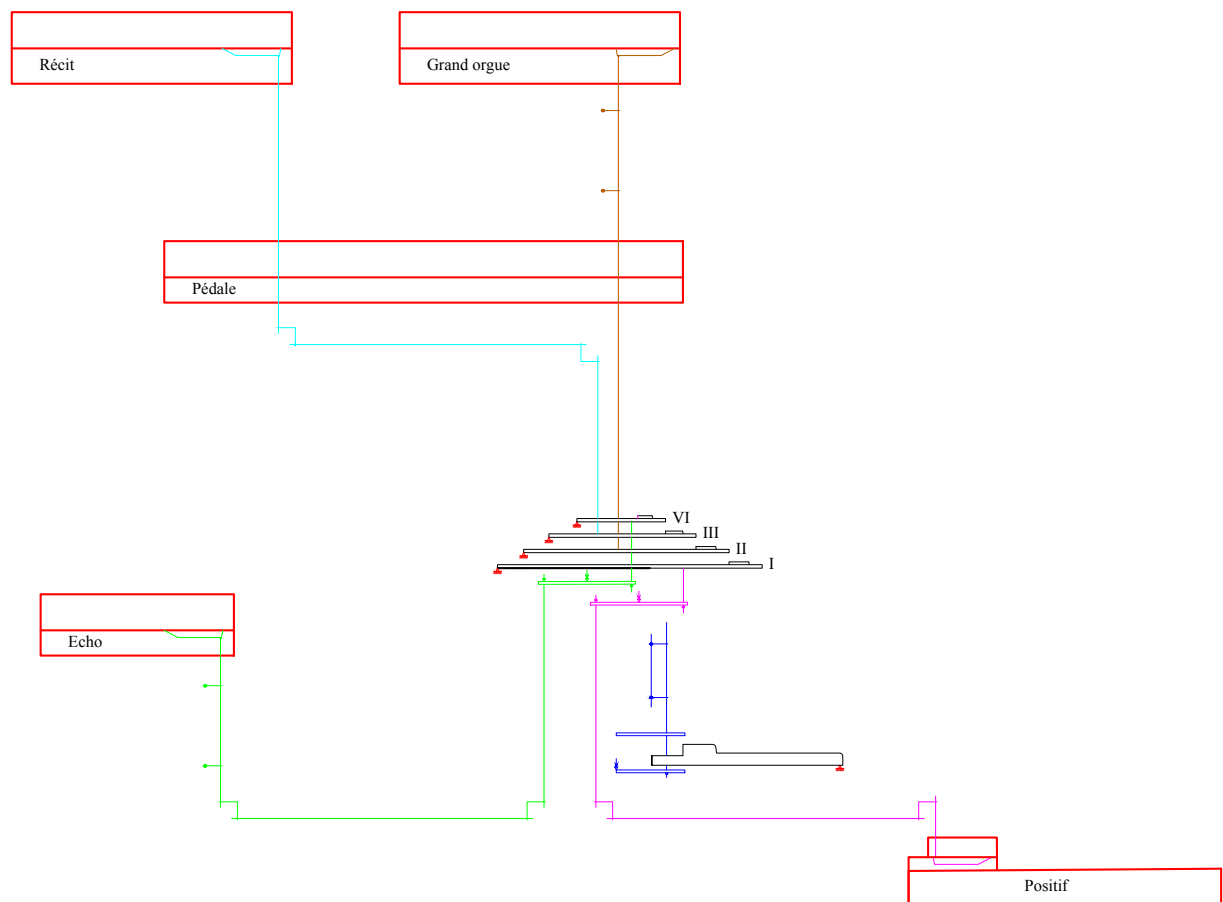
Proposition : Notre point de vue est que la solution N°3 constitue le meilleur compromis en termes de conservation, d'économie et d'une amélioration de stabilité du vent qui sera très significative. C'est donc cette solution que nous proposons de retenir.

4.4. **Traction des notes, console.**

4.4.1. Description générale

La traction des notes est de type entièrement mécanique, relativement traditionnelle et construite avec les normes en vogue au cours des années 1960-70. La disposition générale des cheminements mécaniques aux sommiers manuels est la suivante :

ÉTUDE PRÉALABLE



Extrait graphique 9 : représentation schématique des tracés de la mécanique des notes pour les plans sonores manuels.

Elle est constituée essentiellement de fils d'acier et équerres pour les transmissions et de duralumin pour les rouleaux d'abrégés et de serre-câbles ou écrous pour les connexions et points de réglage comme le met évidence la photo ci-après.



Photo 10 : Mécanique du plan d'Écho : abrégé et liaisons par fils aux sommiers

Thierry Semenoux s'est livré à quelques éléments d'analyse de cette mécanique. Il souligne les limites de performances de la mécanique en raison de sa mollesse d'une part, c'est-à-dire son manque de rigidité et d'autre part le niveau de dureté très important de la mécanique en mode d'accouplement.

4.4.2. Le manque de rigidité de la traction mécanique.

Comme l'indique Thierry Semenoux, les mécaniques de notes sont du type pratiqué par les ateliers Boisseau dans les années 1960-1970. Le duralumin est la matière première pour la fabrication des principaux éléments de mécaniques ainsi que des claviers. Les fourchettes d'accouplements sont également en duralumin¹.

Seules les extrémités des touches accessibles aux doigts de l'organiste sont en bois, plaquées d'ébène pour les naturelles et en bois clair pour les dièses.

On peut donc constater que ces touches ne présentent qu'une très faible rigidité en torsion, ceci résultant de la nature du profil en U de l'ensemble de la touche.

Les rouleaux d'abrégés de la mécanique des notes constituent le point de faiblesse majeur de l'ensemble de la mécanique des notes de l'orgue. Ces rouleaux en duralumin sont très sensibles à

¹ Le **duralium** ou duralumin, est un alliage à base d'aluminium (> 90 %), de cuivre (3-5 %), de magnésium (0,4-2,4 %) et de manganèse (0,3-1 %). Avant traitement thermique, l'alliage est ductile et malléable. Après traitement thermique, une réaction entre l'aluminium et le magnésium provoque une augmentation de la dureté et de la résistance à la traction. Sa légèreté ainsi que d'autres propriétés physiques font qu'il est largement utilisé dans l'industrie aéronautique depuis les années 1920. (sources CNRTL).

la déformation en torsion en raison d'une part du coefficient d'élasticité² du matériau relativement faible et de la longueur importante des rouleaux puisque leur déformation en torsion est proportionnelle à leur longueur.

Si le phénomène de torsion des rouleaux d'abrévés est faible pour le plan sonore d'écho qui est centré derrière la console dans la mesure où les rouleaux sont relativement courts, ce n'est en revanche pas le cas des abrévés des plans sonores de Grand orgue et de Récit dont les abrévés comportent des rouleaux de grande longueur compte tenu de la disposition des sommiers qui s'étalent en largeur dans le buffet d'orgue. Les basses qui nécessitent des efforts de transmission mécanique plus importants se rapprochent des côtés du buffet. Il en résulte que les rouleaux d'abrévés des basses sont les plus longs alors qu'il s'agit de ceux qui doivent transmettre les efforts les plus importants pour décoller les soupapes lorsque l'on enfonce les touches correspondantes. Comme les rouleaux d'abrévés présentent tous le même diamètre, c'est donc dans les basses que les déformations en torsion des rouleaux sont les plus importantes. Il en résulte une grande imprécision dans le toucher mécanique.

On constate ainsi que pour le clavier de Grand orgue, l'enfoncement nécessaire pour décoller la soupape (correspondant à l'émission du son) est de 5 mm, ce qui correspond à 50% de la course totale de la touche.

Dans le médium et l'aigu du clavier, les efforts de décollement étant plus faibles, l'apparition du son du son survient avec un enfoncement de 2 mm soit 20% de la course.

Il en résulte donc que lorsque l'organiste plaque un accord sur ce clavier l'apparition du son ne sera pas identique du grave à l'aigu si l'organiste a une technique d'enfoncement identique des notes sur l'ensemble de ses doigts. L'accord plaqué sera donc perçu comme un mini arpège, les aigus parlant légèrement avant les basses.

Dans la pratique l'organiste corrigera instinctivement ce défaut de réponse mais seulement en partie vu l'ampleur des écarts constatés. Cela se traduira par un manque de netteté sonore dans la production de l'accord joué puisque toutes les notes du claviers jouées en même temps ne seront pas parfaitement synchrones à l'émission.

Les limites de la mécanique résultant de son manque de rigidité n'entraînent donc pas qu'une sensation d'inconfort de jeu pour l'organiste, cette limite contribue également à donner à l'ensemble de l'instrument un manque de précision dans la définition sonore.

Nous ne pouvons que confirmer en tous points le descriptif des performances et des limites de la mécanique des notes déjà décrites par Thierry Semenoux.

4.4.3. La dureté de la traction mécanique.

En mode d'accouplement, les efforts nécessaires au décollement des soupapes que doit fournir l'organiste s'ajoutent d'autant plus qu'il y a d'accouplements entre les trois claviers manuels principaux.

L'instrument est conçu pour que les trois claviers manuels des plans sonores de Grand orgue, Positif et récit puissent être réunis ensemble. Il existe donc trois accouplements entre claviers manuels : Positif/Grand orgue, Récit/Grand orgue et Récit/Positif.

Le cas le plus contraignant est donc celui pour lequel Positif et Récit sont simultanément accouplés sur le clavier de Grand orgue.

² Il s'agit du module d'Young du matériau qui est de 75 Gpa alors que par comparaison, celui de l'acier est de 200 GPa

Les mesures effectuées par Thierry Semenoux sont à cet égard éloquentes :

Poids pour déclenchement des soupapes (gf)					
	C1	C2	C3	C4	C5
GO					
Tacet	210	170	220	140	120
Tacet Pos/Go	350	270	280	180	140
Fonds GO	240	240	250	160	130
Fonds Pos/GO	> 500	370	350	310	200
Positif					
Tacet	230	190	150	130	120
Fonds	290	190	160	160	190
Récit					
Tacet	180	140	200	130	100
Fonds	210	180	200	140	130
Écho					
Tacet	210	170	130	110	110
Fonds	210	180	140	110	110
POS/GO REC/GO FONDS	> 500	> 500	> 500	> 500	300

Ce tableau conduit aux constats suivants :

- La dureté du toucher par claviers diminue de la basse vers l'aigu de l'ordre 1 à 0,5.

Ce constat est logique car il est directement lié à l'évolution de la largeur des soupapes qui diminue vers l'aigu dans le même rapport.

- La dureté augmente lorsque l'on ajoute des jeux.

Ce constat est normal à mesure que la soupape doit délivrer plus d'air. Néanmoins on constate que l'augmentation relative est relativement faible.

- Les duretés des trois plans en accouplement se cumulent pour dépasser pratiquement sur tout le clavier la valeur de 500 gf.

Les conditions de dureté pour disposer d'un jeu confortable peuvent varier dans de larges proportions liées au style de l'orgue et à sa taille. Pour un orgue de style Renaissance d'un nombre de jeux limité la résistance à l'enfoncement ne doit pas dépasser 80 à 100 gf environ.

Pour un grand orgue de style classique, un toucher de qualité ne devrait pas opposer une résistance dépassant 150 gf environ.

Pour un orgue de Style romantique ou symphonique on peut tolérer des efforts plus importants pouvant atteindre 200 à 250 gf, mais d'ores et déjà, de telles résistances rendent la virtuosité pratiquement impossible.

Au-delà d'une valeur de 200 à 250 gf, on ne peut plus espérer jouer l'instrument avec un niveau de virtuosité acceptable, car le niveau de contraction musculaire que doit déployer l'organiste ne lui permet plus la fluidité et l'articulation nécessaire.

C'est pourquoi dans les grands instruments symphoniques, l'accouplement des claviers passe par un système d'assistance, lorsque ne n'est pas même chaque clavier séparé qui peut être assisté. Le facteur d'orgue Aristide Cavaillé-Coll et tous les facteurs de son époque ont à cet égard largement fait appel au système d'assistance Barker qui permet à l'organiste de disposer d'un toucher assisté. Mais ce type de dispositif a été conçu pour des instruments de type romantique ou symphonique, ce qui n'est pas la caractéristique première de l'orgue de la Cathédrale Ste Réparate dont le plan relève d'une inspiration beaucoup plus classicisante.

En effet, en mode de jeu par claviers séparés, les valeurs de résistance à l'enfoncement des touches, atteint des valeurs supérieures ou égales à 200 gf. Si de telles valeurs pouvaient être tolérables pour instrument mécanique de type symphonique, ces valeurs ne sont pas acceptables pour un instrument dont la composition est essentiellement classique. Il en résulte que l'interprétation dans les meilleures conditions du répertoire classique n'est pas possible.

C'est pourquoi dès la fin du XIX^{ème} siècle, l'emploi de technologies pneumatiques ou électriques ont été mises en œuvre dans les orgues de grande taille.

4.4.4. Console : traction des notes.

La mécanique des notes est de type direct avec des claviers axés en queue selon la tradition de la facture classique française.

- La traction est directe suspendue au Grand orgue ;
- La traction est indirecte suspendue au Positif ;
- La traction est indirecte suspendue avec compensation de course au Récit ;
- La traction est indirecte suspendue à l'Écho ;
- La traction est directe suspendue à la Pédale.

Les départs de la mécanique des notes des quatre claviers manuels au niveau de la console sont disposés de la façon suivante :

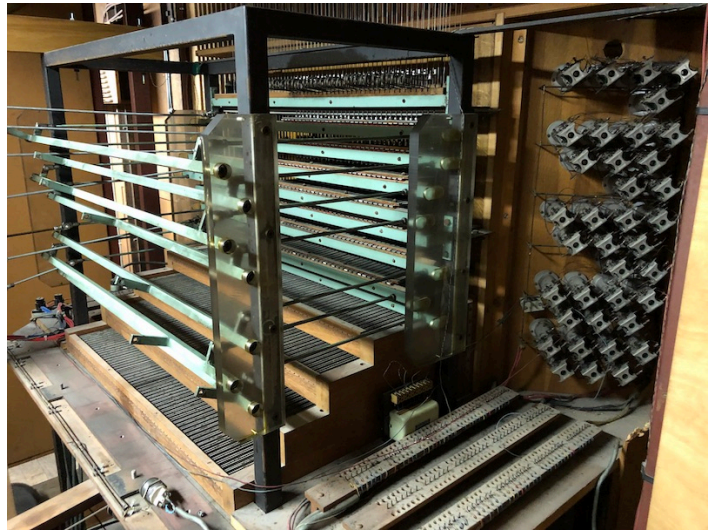
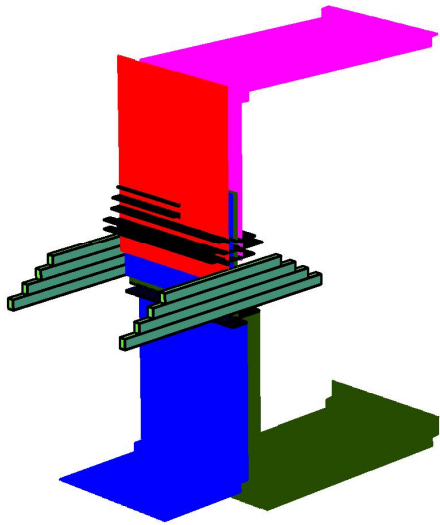


Photo 11 : Arrière de la console de l'orgue : Mécanismes d'accouplements et tirasse et revers du tirage de jeu côté Ut.

Les accouplements entre claviers et tirasses sont tous regroupés au-dessus du bloc des claviers et basés sur un système de fourchettes mobiles.

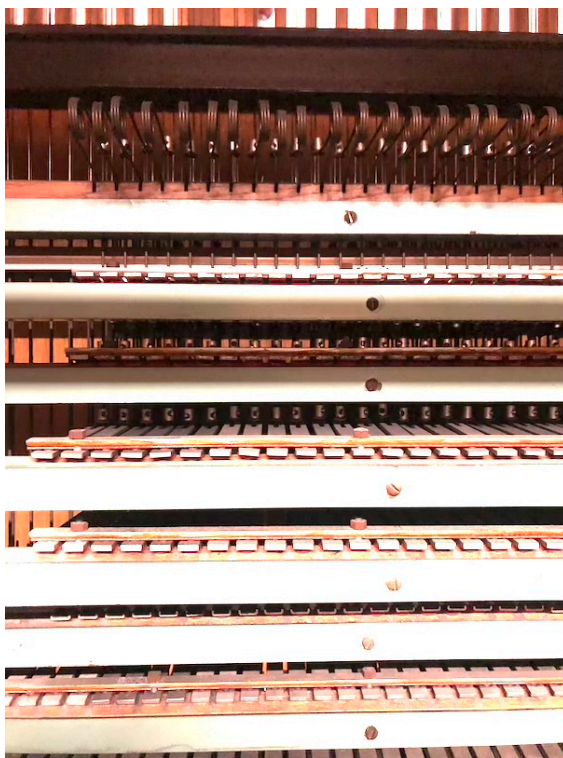
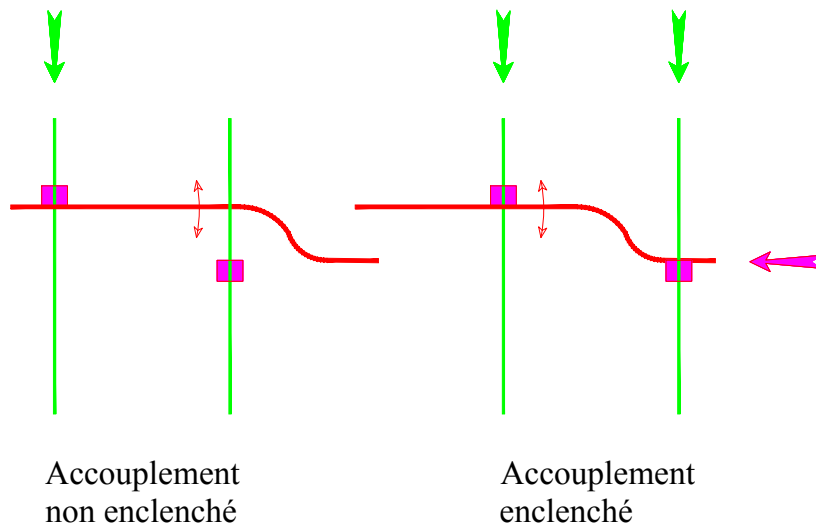


Photo 12 Détail des fourchettes d'accouplement et tirasses : vue en bout et de profil

Il existe 8 trains étagés de fourchettes correspondant aux 5 tirasses et 3 accouplements manuels.

Le principe de fonctionnement commun à tous ces accouplements est le suivant : pour chaque note du clavier une fourchette d'entraînement pivote avec l'enfoncement de la touche et se translate horizontalement lors de la commande d'enclenchement de l'accouplement.

Ainsi le serre-câble installé sur le fil du clavier à accoupler vient en contact avec la fourchette pour transmettre le mouvement comme l'indique l'extrait graphique ci-après :



Extrait graphique 10 : Illustration de la cinématique des accouplements.

Ce système est simple de conception mais n'est pas idéal. Pour que l'accouplement soit précis il faut limiter le jeu entre le serre-câble et la fourchette d'entraînement. Il existe alors un frottement tangentiel sur le serre-câble, générateur de cornements lorsque l'accouplement est enclenché ou déclenché. Une garniture en feutre posée sur l'écrou réduit le frottement, mais cette garniture s'use en raison de la friction et du jeu apparaît, donc de l'imprécision mécanique. Dans la pratique il est impossible, une fois l'ensemble installé, d'intervenir dans les réglages faute d'accès : aucune maintenance courante n'est possible.

Chaque train de fourchettes est enclenché au moyen d'un moteur de commande et d'un levier pivotant à l'arrière de la console :

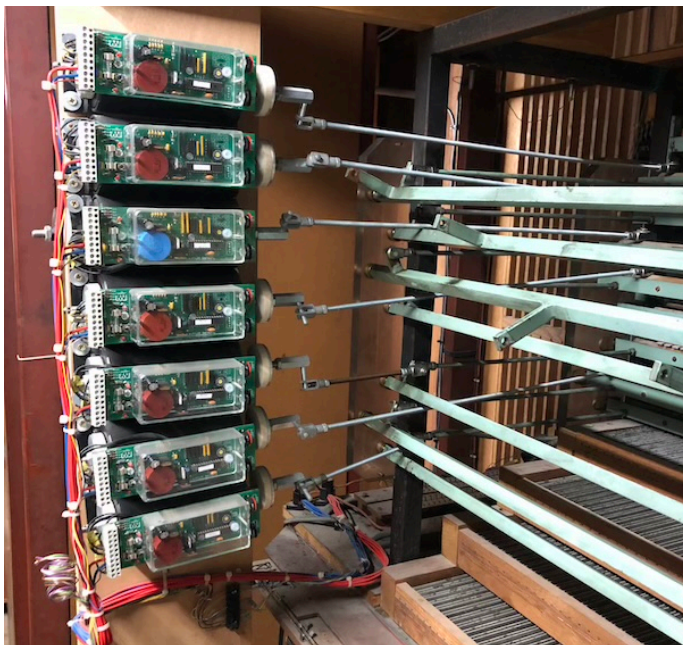


Photo 13 : Moteurs linéaires de commande des accouplements et tirasses.

Ces moteurs sont de génération récente et ont été posés en 2016 en remplacement des moteurs de 1974 qui ne fonctionnaient plus correctement.

4.4.5. Diagnostic de la traction des notes.

Diagnostic archéologique :

État de 1974.

Diagnostic sanitaire :

État de conservation totalement dégradé en raison des écrous et garnitures qui sont usés par plus de 40 années de fonctionnement.

Diagnostic fonctionnel :

Fonctionnalité mauvaise et dégradée d'une part par le principe même des systèmes d'accouplements et d'autre part par l'usure et l'absence de réglages.

4.4.6. Travaux à envisager sur la mécanique des notes.

C'est à ce niveau qu'il convient d'envisager une restructuration significative de l'instrument. En effet, si pour l'alimentation, trois solutions pouvaient être envisagées, de telles alternatives sont dans le cas de la mécanique des notes difficilement envisageables.

Autant l'on peut tolérer que la qualité du vent ne soit pas optimale parce qu'elle participe de la personnalité sonore de l'orgue telle qu'elle a été déterminée par le concepteur, autant les déficiences de la mécanique des notes ne peuvent être acceptables car elles sont incompatibles avec une bonne utilisation de l'orgue tandis qu'une remise en cause de la mécanique ne modifierait pas l'esthétique sonore de l'orgue.

Il ne faut donc pas espérer améliorer les performances de la mécanique, sauf à la reconstruire complètement, en remplaçant les claviers, en augmentant les sections de rouleaux d'abrévés notamment.

Néanmoins si une telle reconstruction peut contribuer à améliorer sa rigidité, le problème de la dureté des claviers ne sera en aucun cas résolu sans introduire un système d'assistance puisque les sommiers de l'orgue déterminent par leur construction les dimensions de leurs soupapes.

Introduire un système d'assistance par machine Barker apparaît ici inapproprié car c'est un mode d'assistance adapté à un orgue symphonique qui n'est pas le style représentatif de l'orgue de la Cathédrale Ste Réparate.

En effet, il apparaît clairement à l'audition de l'instrument que le caractère de l'harmonie sonore qu'ont recherché Robert et Jean-Loup Boisseau est de permettre une élocution des tuyaux avec un travail d'attaque qu'un toucher assisté ne permettra pas de maîtriser. Cette recherche sur le son est cohérente avec une mécanique non assistée. Cet aspect artistique de l'harmonie est précisément celui qu'il convient de préserver prioritairement dans cet orgue, car c'est dans ce domaine précis que se distingue le style des facteurs Boisseau dans le contexte des années 1960-70, et s'il y a quelque chose de réserver très attentivement dans cet orgue, c'est bien ce patrimoine immatériel qui définit la personnalité artistique de l'instrument.

Or, améliorer la mécanique existante supposerait donc une reconstruction complète de cette mécanique, dotée d'une assistance électrique.

De plus se pose dans le cadre de cette reconstruction le problème de l'espace disponible à l'arrière de la console pour loger de façon rationnelle une mécanique performante. Dans l'état actuel l'espace disponible est totalement insuffisant pour permettre une telle reconstruction.

Si l'on s'engageait dans cette voie, la seule solution permettant de ménager un espace suffisant consisterait alors à supprimer le plan sonore d'écho placé en soubassement à l'arrière de la console

et ainsi de supprimer un plan sonore de l'orgue en ramenant l'orgue à trois claviers manuels, ce qui serait une atteinte importante à l'intégrité de l'orgue tel qu'il a été conçu.

En conclusion il apparaît que le style d'harmonie de l'orgue appelle une traction mécanique directe, ce qui est le propre d'une traction mécanique non assistée, mais que la mécanique telle qu'elle est conçue est défectueuse en raison de son absence de rigidité et de la dureté de jeu qu'elle implique et que sa reconstruction n'apportera pas de solution satisfaisante.

Comment résoudre cette contradiction ?

Il faut donc faire en sorte que la mécanique puisse valoriser le type d'harmonie de l'orgue, tout en faisant abstraction des problèmes de souplesse et de dureté de la mécanique.

La seule solution permettant de concilier ces exigences consiste à réaliser une traction numérique sensitive, traction qui est plus couramment dénommée « traction proportionnelle ».

Ce type de traction connaît un développement récent autorisé par les performances de l'informatique.

Il s'agit d'une transmission électrique au sens que la soupape est tirée par un électroaimant. Une transmission électrique conventionnelle équivaut à une assistance qui ne permet pas de contrôler le mouvement de la soupape. L'électroaimant est alimenté en courant continu en 12 ou 24 Volts et la touche du clavier équivaut à un interrupteur à deux positions ouvrant ou fermant le circuit d'alimentation de l'électroaimant.

L'information touche en position haute l'électroaimant n'est pas alimenté, en position basse, le circuit est alimenté. Le capteur placé au niveau de la touche se réduit à un simple contact on-off.

Dans le cas d'une traction dite « proportionnelle », l'électroaimant est asservi au mouvement de la touche. Dans ce cas le capteur doit être en mesure de déterminer quelle est la position de la touche dans toutes ses positions intermédiaires entre les positions haute et basse. Un capteur à effet Hall permet cette fonction. Un tel type de capteur génère une tension continue variable comprise entre 0 et 5 volts et est représentative du mouvement de la touche : à toute valeur de la position de la touche est associée une tension distincte.

Dans la pratique, un traitement numérique consiste à échantillonner la valeur de tension du capteur pour 128 valeurs correspondant à 128 positions de la touche de ses positions extrêmes basse et haute. Cette information est transmise à l'alimentation de l'électroaimant qui est asservi en position à sa tension d'alimentation.

Il s'agit d'un électroaimant à double bobine qui est asservi à en boucle fermée à la tension du capteur de touche. Ainsi l'électroaimant répond fidèlement à la tension de consigne délivrée par le capteur de touche. De cette façon, la soupape s'ouvre proportionnellement de la même façon que le mouvement de la touche. On reproduit ainsi les caractéristiques d'une traction mécanique directe parfaitement rigide.

Il faut pour contrôler ce type d'électroaimant doter l'orgue d'une nouvelle électronique.

La quasi-totalité des facteurs d'orgues français se fournissent auprès du constructeur italien *ELTEC* pour la réalisation de l'électronique de commande d'une traction électrique d'orgue. Ce constructeur est devenu un leader incontestable du marché par la performance et le bon rapport qualité-prix de ses produits. De plus l'entreprise allemande, concurrente directe et fournisseur de produits comparables, a été liquidée en 2021. *ELTEC* s'impose ainsi comme le grand leader européen de ce marché. *ELTEC* a notamment fourni l'électronique de grands instruments français comme à Notre Dame de Paris, les Cathédrale de Reims, Lyon, Montpellier, Le Mans et de multiples autres orgues de toutes tailles.

C'est pourquoi les caractéristiques attendues du système électronique décrit dans ce document présentent des caractéristiques en tout point compatibles avec les produits *ELTEC*.

Le tirage électrique des notes est de type direct, avec un électro-aimant par soupape, de type proportionnel pour les soupapes des sommiers manuels et de type ON-Off alimentés sous 24VDC.



Photo 14 : Electroaimant proportionnel et de type On-Off

Il sera fourni un système centralisé avec boîtier Master et Slave en système monocâble de gestion du tirage des notes et des jeux, des accouplements et du combinateur, avec écran tactile pour la gestion générale du système.

Les fonctionnalités de la traction des notes et du combinateur de jeux devront être performantes.

Principe général de câblage :

- Câblage de console : entrées et sorties de console (claviers et tirage des jeux), liaison au boîtier master de l'électronique via une carte reliée au boîtier master par nappes ou câbles multifilaires.



Photo 15 : exemple d'intégration de tableau de cartes de sorties sous coffret à côté du tirage des jeux.

ÉTUDE PRÉALABLE

Dans les réalisations actuelles l'environnement de l'arrière de la console est enfermé dans un local protégé de la poussière et où est regroupé l'ensemble de l'électronique sensible de l'orgue.

- Liaison entre Boitier Master et Slave : par câble série.
- Liaison entre Slave et cartes de sortie : par nappes.



Photo 16 : Exemples de boitiers Master et Slave

- Liaison entre cartes de sortie et actionneurs via nappes, armoire à connecteurs, câbles de sortie multifilaires.

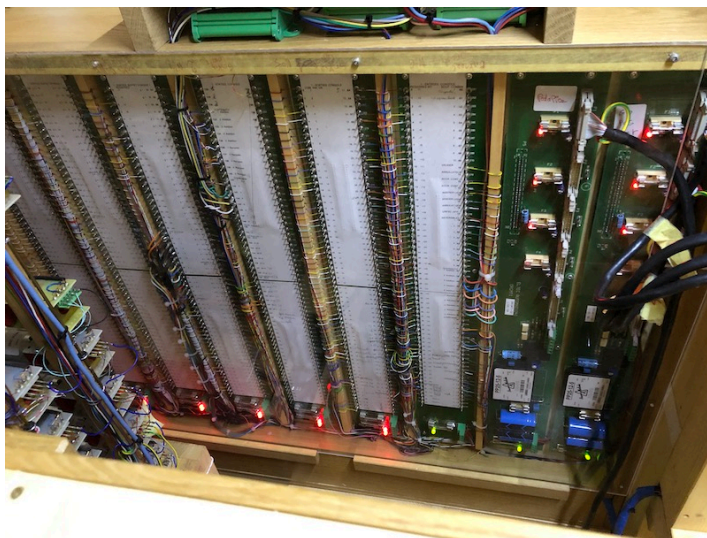


Photo 17 : Exemple de tableau avec cartes de sortie et d'entrée console.

Au revers du coffret contenant les cartes de sortie de la photo N°17, se trouvent les câbles en nappes qui aboutissent au boitiers Master et Slave. Tous ces câbles en nappes ne véhiculent que des courant très faibles sous 5, 12 ou 24 V en et mili-ampères.



Photo 18 : exemple de nappes de câbles transitant les informations des cartes de sortie au boîtier Master de l'électronique.

Chaque sommier ou groupe d'électroaimants est pré-câblé en atelier et dispose d'un ou deux connecteurs pour les entrées : il n'y a donc pas de fils disparates dans l'instrument comme on en voit actuellement dans l'orgue et entre autres sur les photos N°4 et 5 de ce rapport.

En ce qui concerne les commandes des actionneurs : électroaimants de notes, moteurs de jeux travaillant sous 24 V et pouvant véhiculer des intensités de l'ordre de 1 à 2 ampères, une armoire de brassage permet d'organiser le câblage de l'orgue avec des câbles identifiés connectés à l'armoire et à l'arrivée aux actionneurs, pour éviter la prolifération de fils divers à avec des connectiques intermédiaires dispersées dans l'instrument.



Photo 19 : exemple d'armoire de brassage des câbles de sortie aux actionneurs.

Les câbles issus de l'armoire de brassage sont ensuite répartis dans l'orgue aux différents sommiers de l'orgue ce qui permet d'avoir une sobriété de câblage puisque seulement un ou deux câbles suffisent pour piloter tout un sommier.

La photo suivante illustre cette façon de procéder :



Photo 20 : Exemple de sommier (orgue, ND de Paris) les actionneurs sous coffret sont alimentés par câble unique avec connecteur.

La qualité de fabrication des connecteurs est donc un élément primordial pour la fiabilité du fonctionnement de la traction.

Cette technique de câblage permet donc de protéger l'ensemble des circuits électrique de l'orgue de la poussière, de supprimer les connexions sauvages non protégées, concourant à une fiabilité et une sécurité maximales de fonctionnement.

Le poste inclut :

- La fourniture du système et de son alimentation ;
- Le précâblage des cartes d'entrées et de sorties ;
- Le câblage en armoire des sorties des cartes, pour les électroaimants de notes et moteurs de jeux ;
- Pour la maintenance : un système à clavier de 13 touches avec télécommande pour accorder l'orgue.

Un système *Replay* équipé d'une télécommande et d'un système de déclenchement automatique programmable commandé par fonction horloge peut être installée par la suite à tout moment. Ce système peut être très utile notamment dans une utilisation de type pédagogique.

Même si le fournisseur de l'électronique est pratiquement incontournable, le facteur d'orgues proposera le fournisseur de son choix en fonction de l'expérience des systèmes électriques qu'il est habitué à mettre en œuvre ; les performances et les ressources du système devront être détaillées et justifiées au regard de son prix.

Cette électronique inclura notamment les fonctionnalités suivantes :

- Gestion progressive des électro-aimants de tirage des notes ;
- Combinateur de jeux avec définition d'espaces de travail par utilisateurs ;
- Gestion des combinaisons avec affichage numérique des combinaisons par groupes ou en continu.

Un traitement informatique permet même de réaliser des fonctions sophistiquées qu'aucune traction mécanique n'est en mesure de réaliser, c'est-à-dire d'imposer à la soupape une loi de

mouvement de type non linéaire par rapport au mouvement de la touche, ce qui peut permettre de simuler des effets de retard, ou encore de réaliser une ouverture de soupape plus progressive au démarrage de la touche, etc.

Nous estimons que cette solution technique est la plus appropriée pour l'orgue de la Cathédrale Ste Réparate car c'est également cette technologie qui permettra de mettre aux normes tous les éléments électriques existant dans l'orgue au niveau du combinateur de jeux.

4.5. Traction des jeux, combinateur.

La traction des jeux est de type électrique. Il s'agit d'une traction de type électronique analogique.

L'ensemble travaille en très basse tension puisque les actionneurs électriques sont commandés en 12 volts continu.

La structure générale de cette traction est la suivante :

- Redresseur de courant permettant d'obtenir une tension de 12 Volts redressée.
- Circuit électrique en 12 volts alimentant les tirants de jeux de console
- Circuit de commande des actionneurs constitués de moteurs rotatifs et linéaires commandant les jeux et les mécanismes d'accouplement de console.

4.5.1. Console : commande des jeux

Le tirage des jeux est électrique de 1974 et doté de tirants de jeux de type solénoïde fonction en 12V DC. Comme on peut le constater les cartes d'entrées et sorties des solénoïdes de tirage de jeux sont exposées à plat à toute la poussière pénétrant dans l'instrument.



Photo 21 : Vues générales de la console, avant et arrière

Les commandes au pied sont des pistons fonctionnant également en 12V.



Photo 22 : Pistons installés au niveau du pédalier

Un système de crescendo à 8 positions gère électroniquement le tirage des jeux au moyen d'un système à contacteurs placé au sol au revers de la console.

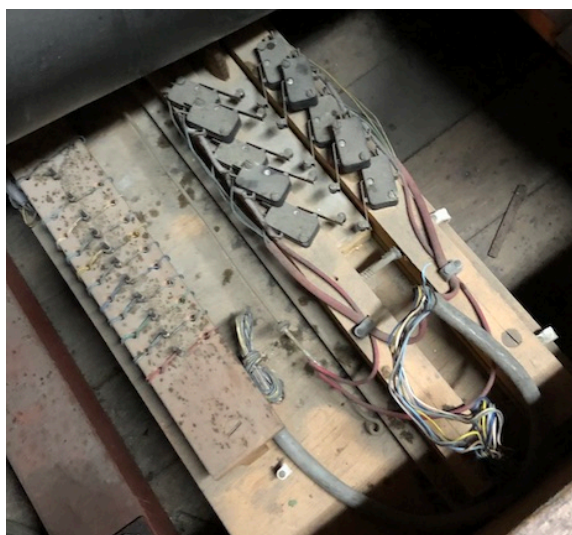


Photo 23 : Électronique de commande du système de crescendo

4.5.2. Redresseurs.

Il s'agit de deux redresseurs à étage d'entrée triphasés en 380 Volts alternatif et étage de sortie en 12 Volts redressé placés en parallèle.

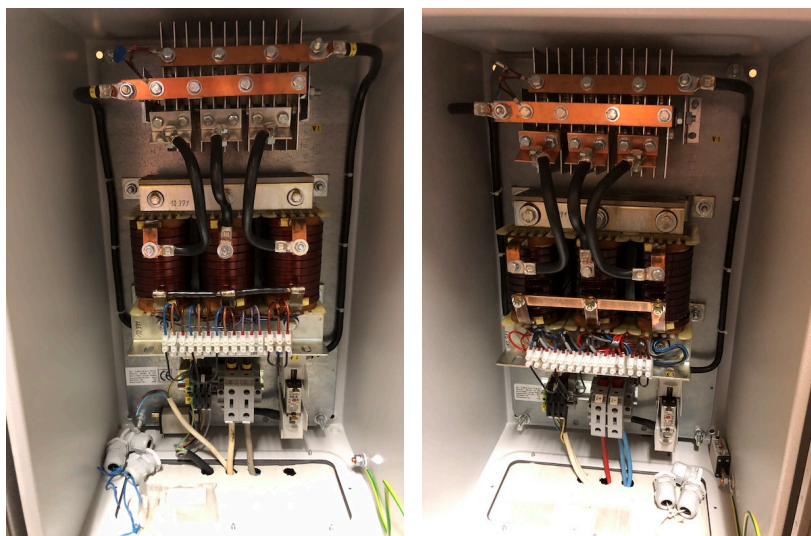


Photo 24 : Redresseurs Triphasés 380 AC-12V DC en service dans la traction actuelle des jeux

Ces redresseurs sont de marque Heuss et sont encoffrés dans des armoires séparées. La capacité d'alimentation est de 80 ampères par redresseur, soit 160 Ampères au total, pour une puissance L'un de ces deux redresseurs est censé avoir été remplacé en 2010. En partant de l'hypothèse que François Delangue a respecté les codes couleurs en vigueur, le redresseur figurant sur la droite de la photo précédente serait alors l'élément remplacé en 2010.

Le câblage est correct et les redresseurs sont bien protégés de la poussière et correctement isolés.

4.5.3. Circuits de commande, câblage.

Les câbles d'alimentation parcourent l'instrument de toutes part. Ces câbles peuvent véhiculer, selon leur disposition, de 2 ampères jusqu'à plusieurs dizaines d'ampères. La puissance traversée peut être non négligeable pour des câbles qui sont tous en contact direct avec des parties en bois sensibles de l'orgue. Les connexions des câbles entre eux ne sont pas isolées et se font systématiquement par serrage avec dominos. Les bornes relais sont à l'air libre, au serrage incertain, placées sur planches en bois, planches de connexion exposées à la poussière, codes couleur pas toujours respectés ...

Un rapport du 25/03/2010 de François Delangue fait le bilan des travaux qu'il exécute en 2009-2010 : Divers câbles sont remplacés, ce qui va dans le sens d'une meilleure sécurité :

« ... Remplacement des câbles en + et - des moteurs de jeux des 4 claviers au redresseur de courant en passant en 16mm² au lieu des divers bricolages anciens... »

Quand on voit l'état du câblage actuel qui est loin d'être satisfaisant, on n'ose pas imaginer l'état antérieur du câblage...



Photo 25 : Exemple de prolifération anarchique des câbles au revers de la console

Une partie importante de ces câbles sont nus et complètement exposés à la poussière : c'est notamment le cas du câblage situé derrière la console des claviers. Bien que l'intensité soit faible dans ces câbles, il n'est pas exclu d'avoir des micro-étincelles lors des mises sous tension ou hors tension des tirants de jeux et des départs de feu peuvent être favorisés par la poussière qui recouvre ces câbles.

Il aurait été préférable que le remplacement de la plupart des moteurs solénoïdes en 2016, ait donné l'occasion de passer le tirage de jeux en 24 volts, ce qui aurait permis de diviser par deux l'intensité traversant les câbles électriques de l'orgue.

4.5.4. Les actionneurs.

Les actionneurs sont en majorité des moteurs solénoïdes de facture récente, remplacés en 2009 et 2010 par le facteur d'orgue François Delangue. Il s'agit de moteurs de fabrication Allemande Laukhuff. Ces moteurs sont munis de cartes de commande placés sur les moteurs eux-mêmes.



Photo 26 : Groupe des moteurs de jeux du plan sonore de positif

Ces moteurs remplacent d'anciens moteurs rotatifs datant de l'époque Boisseau dont l'état était jugé critique. Ces moteurs existent toujours pour les sommiers des jeux de pédale et sont toujours en fonction.



Photo 27 : Moteurs de jeux du sommier de pédale côté UT, de 1974

Cette seconde catégorie de moteurs est de facture industrielle et étaient destinée à la commande de mouvement d'essuie-glaces de voitures.

Du point de vue des câbles d'alimentation, des câbles alimentent des groupes de moteurs par plans sonores. Comme il y a essentiellement 6 groupes (4 pour les 4 plans sonores manuels et 2 pour la pédale) les câbles de distribution peuvent distribuer des courants pouvant atteindre 20 à 30 ampères sous 12V, ce qui est considérable vu la façon dont le câblage est mis en œuvre sur le plan de la connectique.

Exemple sur le cas du plan sonore de positif :

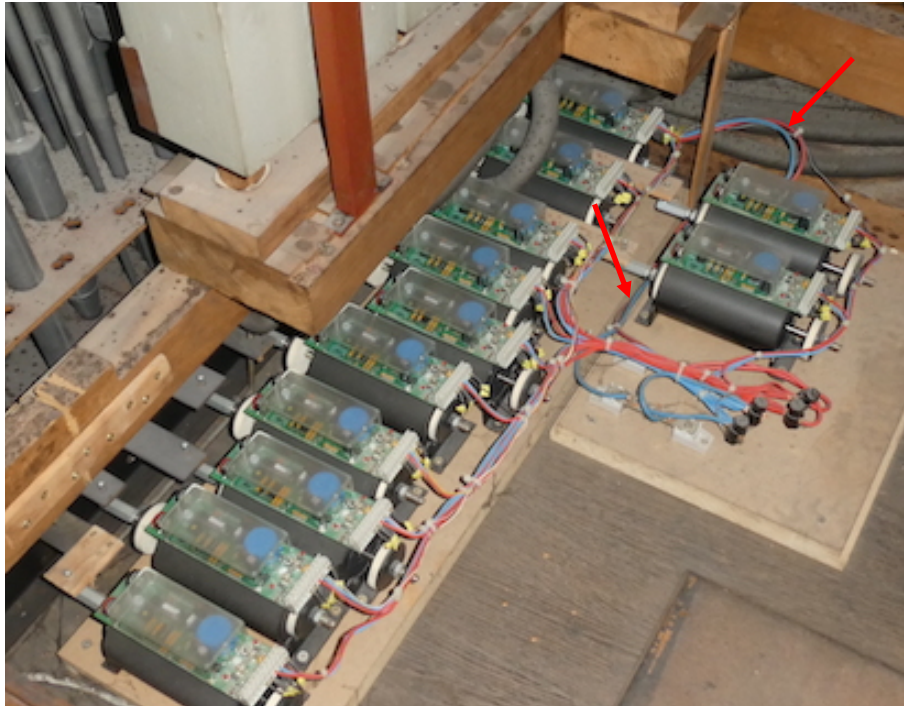


Photo 28 : Moteurs de jeux du plan de Positif et leur câblage de puissance.

Dans cette configuration qui comporte 12 moteurs de jeux, deux câbles – et + en 12 V alimentent ce groupe de moteurs. Ces deux câbles (voir flèches rouges) sont de section 16 mm² et dans le cas d’une commande sur les 12 moteurs en même temps, le courant de pointe peut atteindre 24 Ampères. A partir des borniers auxquels aboutissent ces deux câbles, repartent en parallèle 12 paire de câbles 1,5 mm² pour la puissance de chaque moteur.

Nous n’avons pas repéré de protection sur les câbles 16 mm² ; mais de toute façon cette protection contre courts-circuits ou surtension doit être calibrée pour supporter un courant d’au moins 24 Ampères avant de disjoncter. Chaque moteur est en principe protégé indépendamment par sa carte d’alimentation en cas de sur intensité ou court-circuit. Néanmoins, si une carte moteur présente un défaut, et quand bien même les câbles 16 mm² seraient protégés, le seuil de protection serait bien trop élevé (30 Ampères) par rapport aux 2 Ampères au-delà duquel chaque moteur est en surcharge. L’échauffement dans les 2 câbles 1,5 mm² d’alimentation du moteur défectueux peut donc atteindre 12 fois la valeur de surintensité admissible avant de déclencher une disjonction. D’où risque d’échauffement anormal dans ces conducteurs.

C’est pourquoi une telle organisation du câblage n’est pas satisfaisante sur le plan de la sécurité.

Dans une conception repensée, on peut loger l’ensemble des cartes dans une armoire et distribuer autant de câbles que de moteurs. Si une carte est en défaut la disjonction se fait sur le seul moteur concerné, sans risque de surchauffe sur un câblage intermédiaire.

4.5.5. Le combinateur.

Ce combinateur est d’origine et présente des performances totalement dépassées par ce que permettent les combineurs actuels. En effet, ce combinateur électronique ne permet à l’organiste que de disposer de huit combinaisons de jeux fixes ajustées à l’avance, alors que les combineurs actuels de type numérique permettent à l’organiste de disposer de milliers de combinaisons pouvant être instantanément définies par l’organiste à tout moment.



Photo 29 : Armoire électronique du combineur actuel (8 combinaisons)

De plus, ce système relativement encombrant est placé dans le positif pour rester accessible aux utilisateurs et ne facilite pas l'accès à ce plan sonore.

Par ailleurs, toutes les fonctions que permettent les combineurs actuels telles que :

- Création d'espaces utilisateur distincts,
- Insertion ou suppression de combinaisons avec renumérotation,
- Séquençage des combinaisons
- Création de répertoire d'œuvres et de concerts,
- Sauvegarde externe de combinaisons,

Sont totalement inexistantes dans le système.

Le système est complètement obsolète et ses composants électroniques désuets ne sont plus fabriqués de longue date et aucune maintenance et encore moins de mise à niveau ne sont possibles.

4.5.6. Diagnostic de la traction des jeux.

L'ensemble de la traction des jeux est en grande partie obsolète.

Diagnostic archéologique :

État de 1974.

Diagnostic sanitaire :

État de conservation satisfaisant à l'exception du câblage, mais système totalement obsolète et non conforme aux normes de sécurité actuelles en ce qui concerne le câblage actuel qui doit être complètement purgé et refait à neuf.

Diagnostic fonctionnel :

Fonctionnalité mauvaise et dégradée : beaucoup de moteurs ne fonctionnent plus, ce qui est semble plus imputable plus aux circuits électriques qu'aux moteurs eux-mêmes. Le combinateur est hors service. Les commandes des pistons au pieds ne répondent pratiquement plus.

4.6. Travaux à prévoir sur la traction des jeux et le combinateur.

4.6.1. Électronique de commande

La traction des jeux et le système de combinaisons ne peuvent en aucun cas ni être réparés ni améliorés tout en étant conservés. Seul un renouvellement intégral est envisageable.

Cela suppose un remplacement à neuf :

- De la console :

Claviers et pédalier et meuble

Des commandes de console : tirants de jeux, boutons, pistons, électronique, afficheurs

Des claviers et du pédalier.

Du câblage général de l'orgue

- Des redresseurs pour passer en 24 Volts
- Des moteurs de jeux et de leurs cartes de commande.

Cela suppose la fourniture d'une unité centrale informatique qui gèrera conjointement la traction des notes et des jeux. L'électronique décrite pour la mécanique des notes intègre dans les systèmes actuels la gestion de la traction des jeux et du combinateur.

Un moteur de tirage de jeu est un moteur linéaire dont le fonctionnement aller et retour est contrôlé par une carte de commande qui reçoit un signal de commande à très basse puissance (12 V, 20 mA) et qui délivre une intensité au moteur de l'ordre de 1 A sous 12 V.

Les moteurs de jeu actuels consomment en moyenne un courant de 2 A sous 12 V DC. Ils seront remplacés par des moteurs de puissance équivalente qui consommeront 1 A sous 24 V DC. Le câblage de puissance de ces moteurs sera réalisé à partir de racks alimentant les cartes d'alimentation de chaque moteur de jeu ou électroaimant de façon séparée. Ceci contribuera à éliminer les branchements de moteurs en série qui sont actuellement constatés dans l'orgue. Ces câbles alimentant les groupes de moteurs peuvent véhiculer des courants pouvant totaliser environ 25 à 35 ampères sous 12V par groupes de moteurs de jeux. Avec le câblage envisagé, chaque moteur sera alimenté séparément à partir du rack sous 24 V limitant le courant par conducteur à 1 ampère, chaque moteur étant protégé indépendamment, la protection coupe pour une surcharge de 4 ampères, ce qui n'est pas possible si l'on a des conducteurs pour plusieurs moteurs dont les courant dépassent largement cette valeur.

4.6.2. Équipement de console

4.6.2.1. *Claviers et pédaliers*

Les claviers et le pédalier de l'orgue existant sont réemployés et restaurés.

4.6.2.2. *Commande des jeux*

Le tirage des jeux sera remplacé à neuf en conservant le même type de design que les tirants existants.



Photo 30 : Exemple de solénoïdes de tirage de jeux (modèle anglais Taylor)

4.6.2.3. *Pistons au pieds*

De nouveaux pistons gèreront les appels d'accouplement, le combinateur.



Photo 31 : Exemple de piston avec ou sans fonction lumineuse (marque Heuss)

4.6.2.4. *Écran de visualisation du combinateur*

Ce système permet de visualiser l'état combinateur dont les combinaisons sont déterminées par espace utilisateur, séries et groupes.



Photo 32 : Exemple d'afficheur pour combineur (Eltec)

4.6.2.5. *Tableau de contrôle avec écran tactile*

Cet élément est placé en tiroir dans la console et permet de gérer toutes les fonctions du système et le combineur.

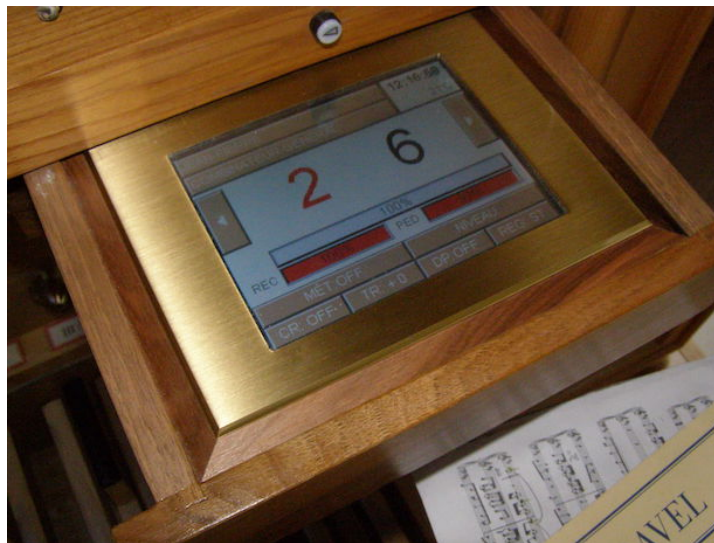


Photo 33 : exemple d'écran tactile intégré en tiroir

4.6.2.6. *Boutons de commande des combinaisons insérées sous les claviers*

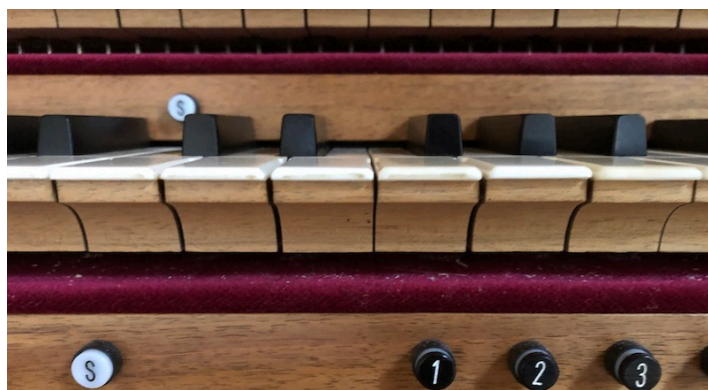


Photo 34 : exemple de boutons de commande pour les combinaisons

4.6.2.7. Actionneurs.

Pour le tirage des jeux il s'agit de moteurs solénoïdes de modèle comparable à ceux qui ont été remplacés dans l'orgue en 2009 et 2010. Ces moteurs agissent en traction sur les registres des sommiers.

Ces moteurs reçoivent les ordres de commande et leur commande de puissance à partir de cartes électroniques qui généralement sont placées à même sur les moteurs. Voir à ce sujet l'observation faite sur le cas des moteurs de positif § 4-5-4.

En passant en 24 Volts redressé, les intensités de ces moteurs seront réduites de moitié.

En regroupant par ailleurs les cartes dans une armoire avec une protection par cartes, on élimine les câbles devant véhiculer des dizaines d'Ampères dans différents endroits de l'orgue.

4.7. Variante : tirage de jeux de type pneumatique.

La technologie de tirage des jeux qui a été décrite au paragraphe précédent consiste en une solution toute électrique, avec moteurs solénoïdes.

Une variante à cette solution peut consister à installer un tirage de jeux pneumatique. Dans cette disposition, la partie commande reste identique avec la même électronique. En revanche les actionneurs sont alors des vérins pneumatiques. Le coût est comparable à la solution toute électrique.

Ce type de technologie présente des avantages vis-à-vis de la sécurité : plus de courant de puissance pour les vérins puisque ce circuit devient un circuit d'air comprimé et les seules commandes électrique se font à très basse intensité pour commander des servovalves de commande des vérins qui ont une force de traction supérieure à celle d'un moteur électrique. C'est par exemple le type de solution qui est mis en œuvre dans l'orgue de Notre Dame de Paris. Le redresseur de courant est remplacé par un compresseur.



Photo 35 : Exemple de tirage de jeux par vérins pneumatiques avec servovalves de commande. (Orgue de Notre Dame de Paris).

Dans cette configuration il n'arrive qu'un seul câble multifilaire ne transportant sous 24 V que des mA pour piloter les cycles aller et retour des vérins.

Cette solution est moins couramment employée que la solution électrique dans la mesure où le compresseur et les circuits nécessitent plus de maintenance. Le compresseur doit être isolé phoniquement. Il s'agit en tout cas d'une alternative envisageable et fiable qui se développe de plus en plus dans les orgues de grande taille. Il n'y a plus de risque électrique potentiel à ce niveau.

4.8. Câblage électrique général

4.8.1. Câblage de l'alimentation des turbines

Il est apparu impératif de remplacer d'urgence dès le lancement de la présente étude le système de démarrage des deux turbines triphasées.

En termes de risques électrique, le système de démarrage s'est avéré extrêmement dangereux puisqu'il fallait ôter le capot du DRT et appuyer en s'isolant sur le mécanisme de déclenchement qui ne répondait plus avec le bouton extérieur.

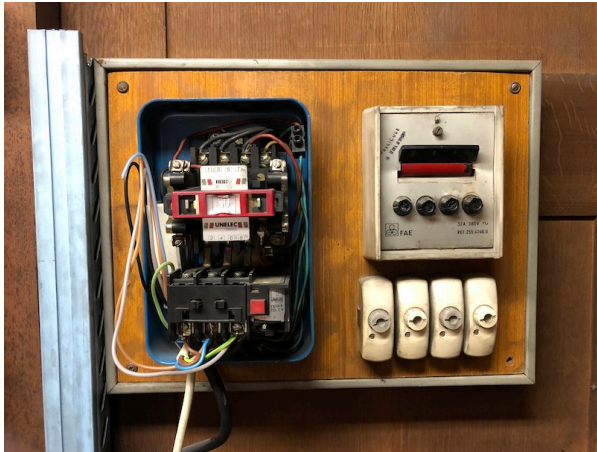


Photo 36 : Etat du système de démarrage avant travaux de mise en sécurité

De plus au démarrage l'interrupteur placé à droite envoyait une gerbe d'étincelles résultant du fait que l'axe du bouton était endommagé.



Photo 37 : Nouveau coffret de commande de démarrage des turbines

Le nouveau coffret mis en place en août 2022 a donc permis d'éliminer un risque majeur relatif à la sécurité de fonctionnement de l'orgue et de l'utilisateur. Le moteur est donc protégé avec un disjoncteur magnéto-thermique à 25 ampères.

4.8.2. Câblage des éclairages de l'orgue

Le processus de remplacement du système de démarrage a également été l'occasion de remplacer les éléments du circuit de commande de l'éclairage intérieur de l'orgue avec de nouveaux tubes fluorescents.

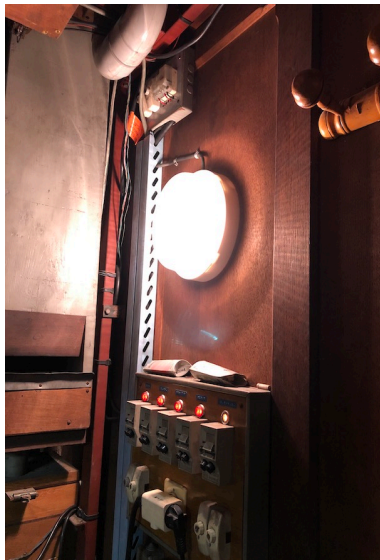


Photo 38 : tableau de commande des éclairages internes à l'orgue, état antérieur et après travaux de août 2022

4.8.3. Câblages divers

Il subsiste dans l'orgue de nombreux câbles qui n'ont pu être analysés et qu'il conviendra de purger autant que possible et dont de toute évidence la conformité laisse largement à désirer sur le point de vue de la sécurité.

Deux catégories de câbles peuvent être mis en évidence :

- Câbles et chemins de câbles traversant l'orgue sans relation avec celui-ci :



Photo 39 : Chemin de câbles et branchements divers au-dessus de la boîte expressive du plan sonore de Récit

Le chemin de câbles est au départ convenable, puis il vient se greffer des câbles supplémentaires rapportés sur goulottes existantes, puis vient ensuite se greffer une boîte de dérivation non réglementaire qui relève d'un bricolage. Tout cet ensemble doit donc être revu complètement.

- Câbles et branchements divers identifiés ou non, vétustes, à purger ou remplacer :



Photo 40 : Exemple de câbles obsolète et de connexions hors normes.

4.9. La tuyauterie.

La tuyauterie est en majorité issue de l'atelier Boisseau, mais une partie des tuyaux de l'ancien orgue a été réintégrée.

La tuyauterie de l'orgue de la cathédrale de Nice est assez composite, contrairement à celle de l'ancien orgue de la Cathédrale de Monaco (avant sa récente reconstruction). La tuyauterie de Boisseau représente 66 % de l'ensemble.

Ce fait vient non pas d'un souhait d'ordre patrimonial dans les années 1970, mais plus certainement d'une volonté d'économie.

- Positif : 1102 tuyaux (100% Boisseau).
- Grand-Orgue : 1288 tuyaux. (65% Boisseau).
- Récit : 1207 tuyaux. (18% Boisseau).
- Écho : 604 tuyaux.(93% Boisseau).
- Pédale : 407 tuyaux.(55% Boisseau).
- TOTAL: 4608 tuyaux.

Tuyauterie Boisseau marquée au poinçon avec capitales cursives.

4.9.1. Détail de la tuyauterie.

4.9.1.1. *Grand-Orgue*

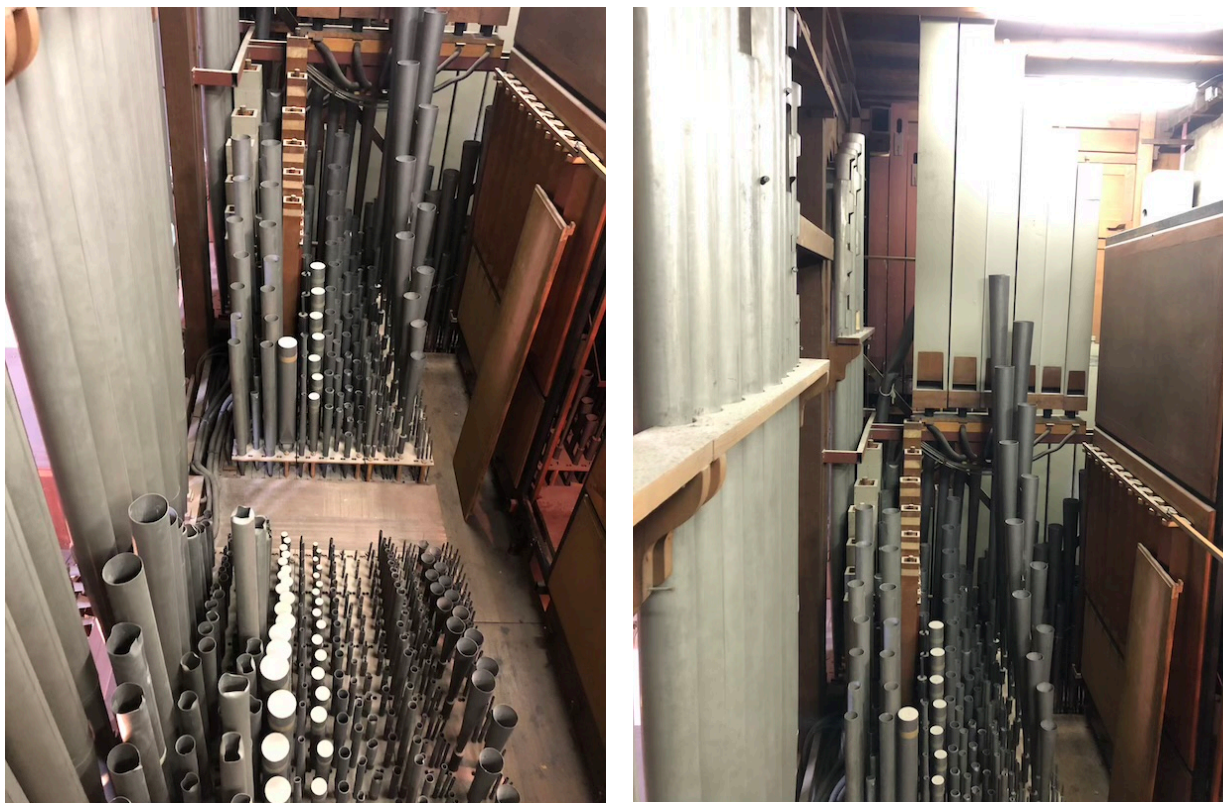


Photo 41 : Vue générale de la tuyauterie du plan sonore de Grand orgue

Montre 16

Basses en façade. sur moteur. 30 notes sur sommier. Coupé au ton. Ancienne Montre 16 pavillonnée, décalée d' $\frac{1}{2}$ t (C# ancien= C actuel) écussons imprimés. Note frappée. Oreilles courtes jusqu'à B4

Bourdon 16

32 tuyaux sur sommier. Calottes mobiles. Oreilles jusqu'à G5. C3 marqué: C 44 notes bourdon 8 pieds. Plus bas: marqué Bourdon Nice, progression $\frac{5}{8}$.

Basses en sapin, blocs en chêne, bouches hautes. (les 12 premiers sont sur relais pneumatique).

Montre 8

44 tuyaux sur sommier. Même facture que M16. Même décalage

Bourdon 8

Première octave en bois, sapin, petite taille. À partir de C2 en métal, calottes mobiles, joints en papier. Oreilles jusqu'à G5. Écussons imprimés sur le pied. Spotted. Lèvre supérieure bombée.

Flûte Harmonique 8

44 tuyaux sur sommier. Même facture que M8 pour les tuyaux réels. Même taille que M16. Tuyaux harmoniques: autre facture, oreilles jusqu'à B3. 2 trous harmoniques à l'avant et à l'arrière. Aplatissage imprimé sur pied.

Prestant 4

Jeu entièrement sur sommier. Même facture que M16 et 8. Même décalage.

Flûte 4

C1 à F2: tuyaux bouchés: C1 à G1: bouchés, en métal avec tampons bois. Tuyaux RB: martelés, oreilles.

G#1 à F2: bouchés avec cheminée. Calottes soudées. Oreilles.

F#2 à C3: coniques avec oreilles. Tuyaux RB, martelés, en plomb, décalés d'½ ton.?

C#3 à G5: coniques, sans oreilles. Même facture que précédents.

Grosse Tierce 3 ⅔

Tuyaux RB en plomb martelé. Oreilles jusqu'à G2.

Nazard 2 ⅔

Tuyaux de récupération. Ancienne quinte décalée d'un ton.

Doublette 2

Tuyaux de récupération. Jeu anciennement pavillonné. Jeu très composite.

Quarte 2

C1 marqué quarter GO Nice. Oreilles sur la première octave. La taille grossit dans le medium. Nombreux tuyaux pincés. Pieds courts.

Tierce 1 ⅔

Tuyaux RB. Plomb martelé. Oreilles jusqu'à D2.

Grosse Fourniture II

Jeu RB

C1	C2	F2	C3	F3	C4	F4
1 1/3	2	2 2/3	4	5 1/3	8	

Fourniture III rgs

Jeu RB

C1	C2	F2	C3	F3	C4	F4
2/3	1	1 1/3	2	2 2/3	4	
1/2	2/3	1	1 1/3	2	2 2/3	
1/3	1/2	2/3	1	1 1/3	2	

Cymbale IV rgs

Jeu RB

C1	C2	F2	C3	F3	C4	F4
2/3	1	1 1/3	2	2 2/3	4	4
1/2	2/3	1	1 1/3	2	2 2/3	4
1/3	1/2	2/3	1	1 1/3	2	2 2/3
1/4	1/4	1/2	2/3	1	1 1/3	2

Trompette 8

Boîtes de C1 à F2. Entailles jusqu'à G2. Noyaux carrés de C1 à B1. Noyaux ronds avec bagues jusqu'à A4. Anches Bertounèche.

Chamade 8

Jeu RB, martelé. Jeu déposé en mauvais état de conservation (résultant des conditions actuelles de stockage) dans la basse jusqu'à C#3, tuyaux entreposés dans le soubassement ainsi que les supports.



Photo 42 : Tuyaux et supports de chamade déposés



Chamade 4

Jeu RB, martelé. Reprise en 8 à G4. Jeu déposé dans la basse jusqu'à C#3, tuyaux entreposés dans le soubassement ainsi que les supports.

4.9.1.2. Positif

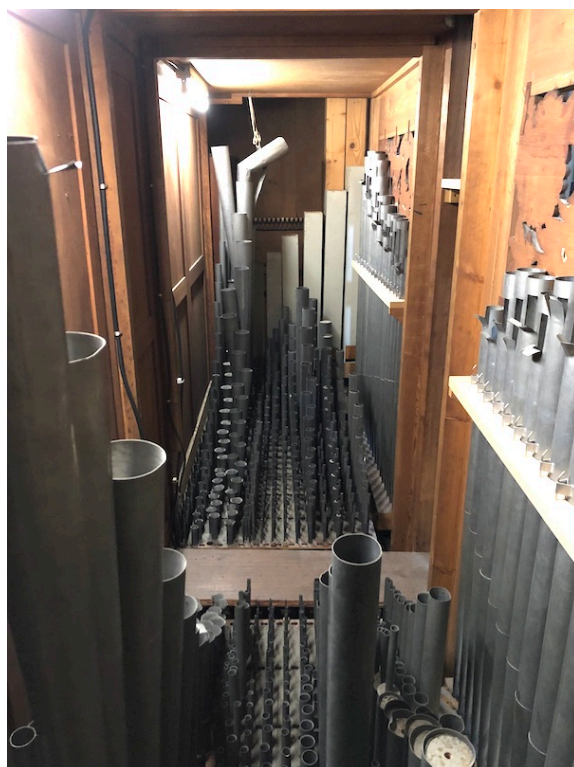


Photo 43 : Vue générale de la tuyauterie du plan sonore de Positif

Montre 8

28 tuyaux sur sommier. -Coupés au ton. Sur premier tuyau sur sommier (E3) marqué: Doublette Positif Amboise.

Oreilles, métal martelé. Tuyaux RB. Nouvelles attaches mises en place par Delangue.

Flûte 8 (F#2)

38 tuyaux sur sommier. Tuyaux RB. Plomb martelé. Oreilles. Décalé d'1/2 ton (prévu initialement pour commencer au F)..

Bourdon 8

Première octave en sapin. C2 à B2, métal martelé, avec tampons en bois et garniture en coton.

C2 marqué (frappé) C# et Bourdon 8 Écho Nice. Oreilles et dents fines. Corps et pieds en plomb.

C3 à G5 : avec cheminées, calottes soudées, oreilles, pas de dent. C3 = C#. Cheminées longues. Tuyaux RB.

Prestant 4

40 tuyaux sur sommier : premier sur sommier E2 marqué D#. Tuyaux RB. Oreilles.

Flûte 4

Première octave idem seconde octave Bourdon 8. C pour C. Tuyaux RB. G#4 à G5: tuyaux coniques, ouverts, coupés au ton.

Nazard 2 2/3

Tuyaux RB. Les 8 premiers bouchés métal martelé avec tampons bois. Le reste ouvert, coupé au ton. C pour C. Oreilles jusqu'à G4.

Doublette 2

Tuyaux RB. Coupés au ton. Métal martelé. Oreilles. Pas de dent. C pour C. Tuyaux RB. C1 marqué: Doublette Pos Nice.

Tierce 1 2/3

Jeu RB. Plomb martelé. Oreilles. Dents fines dans les basses. E pour E.

Larigot 1 1/3

Principalisant. Corps étain martelé, pieds en plomb martelé. Coupé au ton. Pas d'oreilles. Jeu marqué: Larigot Positif. Nice.

Mixture VII rgs

Un rang est rendu muet par enfoncement de la lèvre inférieure. Sur deux registres séparés (de part et d'autre des anches).

C1	C2	F#2	C3	F#3	C4	F4
1	1 1/3	2	2 2/3	4	8	
2/3	1	1 1/3	2	2 2/3	4	
1/2	2/3	1	1 1/3	2	2 2/3	
1/3	1/2	2/3	1	1 1/3	2	
1/2	2/3	1	1 1/3	2	2 2/3	4
1/3	1/2	2/3	1	1 1/3	2	2 2/3
1/4	1/3	1/2	2/3	1	1 1/3	2 2/3

Trompette 8

Les 5 premiers pavillons en demi-longueur. Métal martelé pauvre. C1 à F2 sur boîte. C1 à B1 noyaux carrés. Ensuite noyaux ronds avec bagues jusqu' à B4. Pas de reprise. Anches à bec. Tuyaux RB.

Clairon 4

Même facture que précédent. Tous les pavillons sont évasés.

Cromorne 8

Jeu Robert Boisseau.

4.9.1.3. Récit Expressif



Photo 44 : Vue générale de la tuyauterie du plan sonore de Récit.

Principal 8

Même facture que Montre 8 GO. Encoches ressoudées. C pour C (sans décalage). Sur sommier à F1. Les basses sont en bois, et postées à l'extérieur de la boîte.

Gambe 8

Même facture que Montre 8 GO. Freins harmoniques par lames de laiton. Basses en métal.

Voix Céleste 8

Idem Gambe 8.

Flûte Harmonique 8

Même facture que Montre 8 GO.

Principal 4

Ancien Salicional type Masure, recoupé avec compléments dans dessus.

Flûte Octaviane 4

Jeu en spotted.

Octavin 2

Jeu XIX^e, même facture que précédent.

Quinte 2 $\frac{2}{3}$

De C1 à B2: bouchés, en métal, avec calottes mobiles et cheminée. Spotted. Jeu de récupération décalé d' $\frac{1}{2}$ ton.

Tierce 1 $\frac{3}{5}$

Idem Octavin.

Plein-Jeu V rgs

Jeu RB

C1	C2	C3	C4	F4
1 $\frac{1}{3}$	2	2 $\frac{2}{3}$	4	
1	1 $\frac{1}{3}$	2	2 $\frac{2}{3}$	
2/3	1	1 $\frac{1}{3}$	2	
1/2	2/3	1	1 $\frac{1}{3}$	
1/3	1/2	2	1	

Cornet V rgs

Posté sur le plafond de la boîte expressive. Jeu RB. Rang de 8 avec calottes soudées et cheminées. 4 et suivants, ouverts, coupés au ton. Métal martelé. Pièce gravée prévue pour commencer au F2.



Photo 45 : Vue d'ensemble du jeu de Cornet de Récit, posté hors boîte expressive.

Bombarde 16

Première octave acoustique et martelée. Ensuite, idem Trompette.

Trompette harm. 8

Reprise harmonique à F4. Même facture que GO.

Clairon 4

Idem précédent avec reprise en 8 au F#4.(sic)

Hautbois 8

Jeu XIX^e. Anches Bertounèche pour la partie hautbois. Anches à larmes pour le basson.

Voix Humaine 8

Anches à larme. Couvercles avec calottes mobiles. Noyaux oxydés.

4.9.1.4. *Écho*



Photo 46 : Vue générale de la tuyauterie du plan sonore d'Écho

Bourdon 8

Première octave, en bois non peint. C2 à B2, jeu RB, métal martelé, bouché par tampons en bois. C3 à G5: calottes soudées, avec cheminées. Oreilles jusqu'à G5. Bouches arrondies dans le medium.

Quintaton 8

Basses communes avec le Bourdon 8. Freins rouleaux ou à lames jusqu'à E3. Calottes mobiles jusqu'à G5. Joints en papier.

Flûte 4

Jeu cône, RB. Coupé au ton. C1 marqué: flûte 4 Nice Écho.

Doublette 2

Jeu RB. Coupé au ton. Martelé. C pour C.

Sifflet 1

Même facture que précédent.

Cymbale II rgs

C1	F2	F3	F4
2/3	1	1 1/3	2
1/2	2/3	1	1 1/3

Jeu RB

Nazard 2 2/3

Jeu RB. Coupé au ton, ouvert. G pour G.

Tierce 1 3/5

Même facture que précédent.

Régale 8

Pavillons coniques. Noyaux carrés. Anches à bec.

Jeu RB.

Chalumeau 4

Corps de Cromorne 8. Jeu RB. Dernière octave en 4 pieds de fonds.

4.9.1.5. Pédale

Photo 47 : Vues générale de la tuyauterie de Pédale, côté UT

Bourdon 32

C1 à B1: flûte 16 + Quinte 10 2/3.

2*6 basses bouchées en soubassement

Flûte 16

Jeu réel. En bois.

En partie jeu de Serrasi.

2*6 dessus en soubassement à coté du 102/3

Soubasse 16

Jeu en bois. Extension sur Bourdon 8

Flûte 8

Jeu réel en bois. Jeu actuellement complètement hors service.

Bourdon 8

Jeu en bois, extension sur Soubasse 16.

Prestant 4

Jeu réel, en métal.

Gemshorn 2

Jeu cône.

Plein-Jeu V rgs

C1

5 1/3

4

2 2/3

2

1 1/3

Jeu sans reprise, Tuyaux en majorité RB, les premières notes du rang grave sont bouchées.

Bombarde 16

Jeu composite, Les pavillons des basses très affaissées s'écroulent les uns sur les autres.

Trompette 8

Idem.

Clairon 4

Jeu composite.

Ranquette 16

Jeu RB, en métal martelé. Anches à larme, étamées. Corps avec bagues coulissantes.

4.9.2. Diagnostic de la tuyauterie.

Diagnostic archéologique :

Mis à part une partie restreinte de tuyaux réemployés de l'orgue précédant, la tuyauterie est très majoritairement de Robert Boisseau : 4270 tuyaux environ sur un total de 4608 tuyaux.

Diagnostic sanitaire :

État de conservation globalement correct à l'exception de quelques jeux plus impactés : Bombarde de pédale très affaissée faute de système suffisant de soutien, tuyaux de chamade déposés mal stockés et déformés, divers tuyaux tordus et notamment au niveau des jeux de pédale côté Ut. Ces

tuyaux en mauvais état ne dépassent pas 5% de l'effectif total de tuyaux et sont parfaitement restaurables.

Diagnostic fonctionnel :

L'ensemble de la tuyauterie est fonctionnel, excepté les tuyaux déposés ou endommagés.

4.9.3. Harmonie et accord.

L'orgue n'est plus accordé aujourd'hui compte tenu de son état actuel : empoussièrement, manque d'entretien, et abandon de son usage durant quelques années.

L'orgue est accordé au tempérament égal.

En ce qui concerne l'harmonie, elle a été essentiellement établie par Jean-Loup Boisseau. Nous avons recueilli le témoignage de du facteur d'orgue Bertrand Cattiaux qui dans la première partie de sa carrière a travaillé avec Jean-Loup Boisseau et qui a débuté sa formation de facteur d'orgue dans l'atelier Robert Boisseau. Bertrand Cattiaux a eu l'occasion dans son apprentissage de travailler dans l'orgue de la Cathédrale de Nice.

Bertrand Cattiaux nous a apporté les renseignements suivants :

Si Pierre Cochereau a été le moteur l'instigateur de la reconstruction de l'orgue de la Cathédrale de Nice, il ne s'est pas impliqué outre mesure dans le suivi du projet de reconstruction, faisant une totale confiance à la maison Boisseau qu'il soutenait et qui avait travaillé à Notre Dame de Paris.

Jean-Loup Boisseau était à l'époque dans ce projet complètement sous l'influence des travaux de restauration que l'atelier Boisseau avait menés à l'orgue Alexandre Clicquot de l'église de Houdan dans les Yvelines quelques années plus tôt (1969). Cette rencontre avec cet orgue hautement historique, illustrant pleinement l'orgue classique français était un guide inspirant pour l'harmoniste. Il en résulte que Jean-Loup Boisseau s'est surtout investi dans le traitement sonore des jeux du positif et du quatrième clavier. En ce qui concerne le plan de Récit expressif, Jean-Loup Boisseau était moins motivé et a travaillé de façon plus superficielle sur l'harmonie. En ce qui concerne le plan sonore de Grand orgue, le recours au réemploi a également conduit à des concessions sur ce plan sonore, sans doute également pour des motifs économiques. Quelques jeux ont été établis avec du réemploi dont la qualité n'est pas au niveau du reste de la tuyauterie. Il suffit d'ailleurs de le constater dans l'inventaire de la tuyauterie. Plusieurs jeux sont hétérogènes, retaillés à partir de matériels par toujours adaptés issus de l'orgue de Martella ou de fonds de tuyaux de récupération divers (Principaux, Nazard, Doublette).

Selon Bertrand Cattiaux, il serait très bénéfique de remettre en cause quelques jeux du Grand orgue trop hétérogènes pour avoir un plan sonore à la hauteur des autres plans sonores. Cette remarque vaut également, à un degré moindre, pour le plan sonore de Récit.

4.9.4. Travaux à envisager sur la tuyauterie.

Globalement les tuyaux étant majoritairement bien conservés leur restauration sera relativement simple.

Les géométries des bouches seront vérifiées, ayant pu dériver sous l'effet des accords successifs. Les corps déformés seront redressés.

Environ 250 à 300 tuyaux sur les 4608 tuyaux recensés de l'orgue mériteront une restauration approfondie : Tuyaux de chamade, Basses d'anche à la pédale (Bombarde notamment) plus d'autre tuyaux isolés dans les différents plans sonores.

Amélioration de quelques jeux : les jeux hétérogènes de récupération devront être soit retravaillés en harmonie, soit remplacés. Sur ce sujet il n'existe pas une solution unique. Différents facteurs

d'orgues pourront proposer, en fonction de leur sensibilité soit de retravailler (par décalage de tailles, modification de hauteurs de bouches, remplacement de biseaux, etc), soit de remplacer un jeu ou une partie d'un jeu donné. Plutôt que d'imposer une solution à ce stade qui pourrait être considérée comme arbitraire, il apparaît préférable de laisser un marge d'appréciation aux facteurs d'orgues qui seront amenés à se pencher sur l'instrument. Lors d'une consultation en vue du relevage de l'orgue, il sera plus intéressant de laisser les candidats proposer leur approche personnelle sur cette partie artistique du travail à réaliser. Pour le maître d'ouvrage ce sera aussi un moyen de pouvoir apprécier la motivation et la créativité des candidats facteurs d'orgues face à un tel travail.

Il apparaît en tous cas qu'une dizaine de jeux pourrait être concernée par cette approche, soit pour qu'ils soient partiellement ou intégralement remplacés ou retravaillés en l'état.

C'est pourquoi il apparaît ici indiqué de prévoir une provision financière sur ce poste des travaux, en définissant aux facteurs d'orgues des objectifs à atteindre plutôt que des spécifications précises d'une solution prédéfinie.

4.10. Sommiers.

4.10.1. Grand orgue

Trois sommiers, au niveau de la ceinture du buffet, parallèles à la façade, dont :

- Deux sommiers pour les basses, disposition diatonique, basses aux extrémités: 1000 x 1595 mm2.



Photo 48 : Vue des soupapes d'un sommier de Grand orgue

- Un sommier pour les dessus, diatonique, en mitre, 1000 x 1670 mm2.

Fabrication Boisseau.

Ceinture en chêne.

Barrages probablement en sapin.

Chapes en bois exotique, registres en isorel. Soupapes en chêne.

Doubles gravures sur les sommiers des basses.

4.10.2. Récit

Même fabrication que les sommiers GO et même règle.

4.10.3. Positif

Deux sommiers diatoniques. Boisseau 1680 x 800 mm².

Doubles gravures sur la première octave. (les gravures communiquent).



Photo 49 : Vue latérale de la laye du sommier de positif

4.10.4. Écho

Un sommier Boisseau 2100 x 690 mm², chromatique avec ravalement de 9 notes.

4.10.5. Pédale

Deux sommiers chromatiques de construction Boisseau 1850 x 850 mm², perpendiculaires à la façade de part et d'autre des sommiers GO.

Ces sommiers comportent 32 gravures pour 16 notes chacun. Les gravures sont alternées et inversées selon les jeux donnant deux mitres imbriquées :

Flûte 4, Gemshorn 2, Plein-Jeu V, Trompette 8, Ranquette 16 : basses à l'arrière dessus à l'avant vers la façade

Principal 4, Bombarde 16, Clairon 4 : Basses à l'avant, dessus vers l'arrière.

4.10.6. Sommiers de basses.

Un certain nombre de basses sont postées en dehors des sommiers à gravures. C'est le cas des basses de Bourdon 16 de Grand orgue postées en hauteur sur sommiers pneumatiques relais alimentés par tubes plastique depuis les gravures de même que les tuyaux des tourelles de façade.



Photo 50 : Moteurs pneumatiques de basses, Bourdon 16 Grand orgue côté Ut

Les basses des jeux de pédale sont sur sommiers électriques : Soubasse 16' avec extension en 8', d'une part et Flûte 16 d'autre part répartie sur plusieurs sommiers en fonction de la tessiture : en contrebas dans le soubassement pour les 8 premières basses puis au côté des sommiers de pédale pour la suite. Les basses de Quinte 10'2/3 sont également postée dans le soubassement (2*6 tuyaux) de même que les dessus de Flûte 4 de pédale (2*6 tuyaux).



Photo 51 : Bloc Moteur électrique de basses de Flûte 16, côté UT

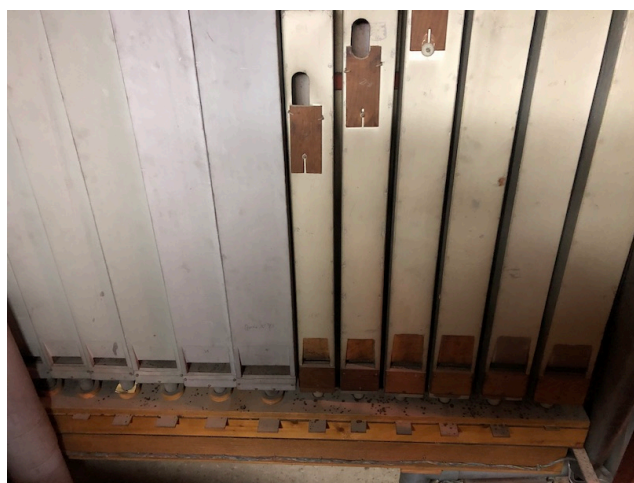


Photo 52 : Bloc Moteur électrique de Quinte 10'2/3 et basses Flûte 4

4.10.7. Diagnostic des sommiers.**Diagnostic archéologique :**

Sommiers Boisseau de 1974.

Diagnostic sanitaire :

État de conservation globalement correct.

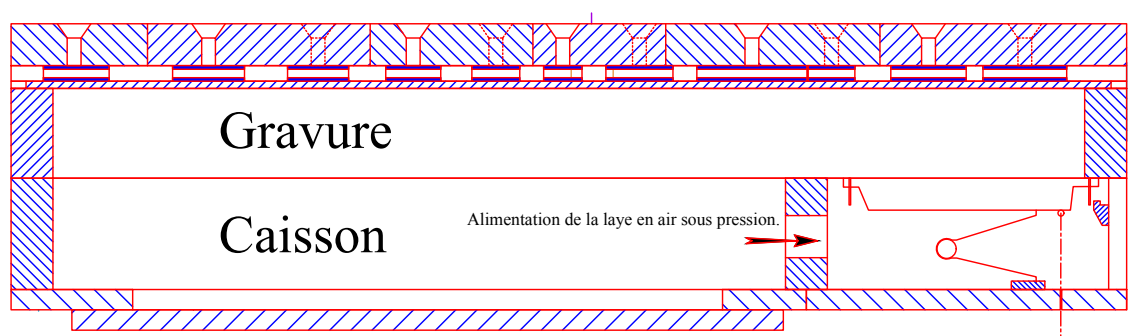
L'enchapage des sommiers à registres est à reprendre complètement.

Diagnostic fonctionnel :

Sommiers fonctionnels mais nécessitant une complète vérification et une amélioration de la technique d'enchapage.

4.10.8. Travaux préconisés sur les sommiers.

Les sommiers présentent actuellement une structure conforme au plan ci-dessous :



Extrait graphique 11 : Coupe de principe d'un sommier avec caisson sous les gravures

Des couvercles en bois figurent sous les caissons des sommiers. Il existe également des caches mettant en évidence que les entrées d'air dans les sommiers ont pu évoluer dans le temps.

Cette situation s'illustre ainsi par exemple pour le sommier de Récit, côté UT :



Photo 53 : Fond de sommier du plan de Récit, côté basses UT

Si l'on se réfère au rapport de travaux de François Delangue du 25/05/2010, les couvercles ont été mis en place à la place de toiles ou de peaux tendues :

« ... Les peaux sous les sommiers ne sont pas des anti-secousses mais en fait, devaient être prévus pour des régulations intégrées aux sommiers. Ce système n'a jamais fonctionné puisque les arrivées de vent ont été réalisées à un autre endroit des sommiers. De ce fait, il n'était pas utile de les remplacer. J'ai donc fourni et posé des pièces en bois en lieu et place de ces peaux.

Il n'y aura donc plus de soucis par la suite avec cela !

Lors du remontage des soufflets du positif de dos, (même système que les autres sommiers !) il s'est avéré qu'un phénomène de tremblements était généré (ce qui explique peut-être que les autres sommiers ont été déconnectés avec ce système !) par les régulations.

J'ai donc déconnecté ces régulations... »

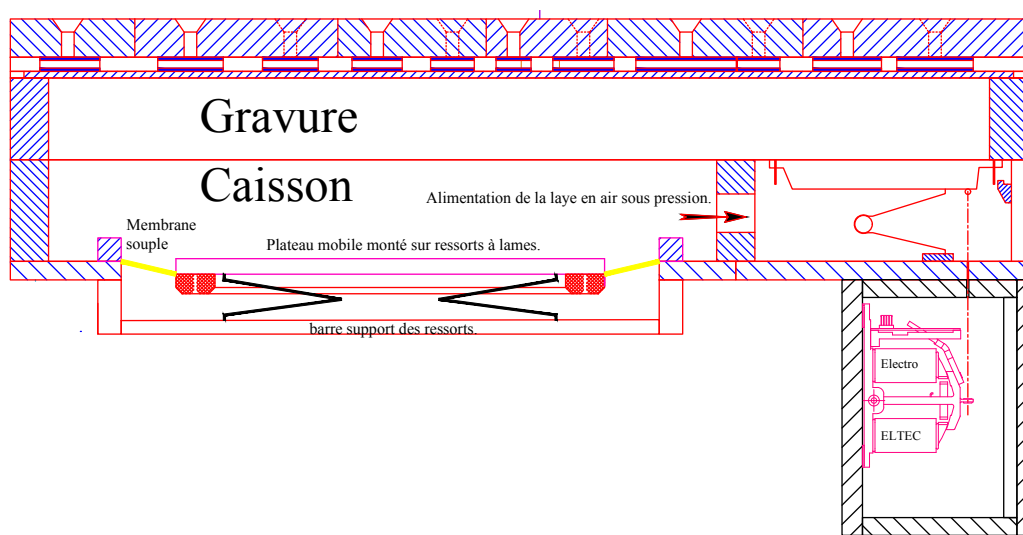
Ceci pose un certain nombre de questions.

François Delangue suppose que les sommiers étaient prévus pour recevoir des fonds anti-secousses, ce qui aurait été dans le sens de l'optimisation de la stabilité du vent. Pour nous de tels anti-secousses ne peuvent qu'être favorables à la qualité d'alimentation du vent. De plus ce système permet de limiter les volumes morts.

Si les facteurs n'avaient pas eu à l'esprit de réaliser ces antisecousses, on comprend mal pourquoi ils auraient installé de tels caissons.

On peut donc estimer que l'objectif des facteurs d'orgues était effectivement d'installer des systèmes anti-secousses. C'est pourquoi nous préconisons, au moins pour les sommiers de Grand orgue et de Récit, de doter les sommiers de tels systèmes.

La réalisation de ces antisecousses correspond à la représentation suivante :



Extrait graphique 12 : Coupe d'un sommier avec antisecousses et électroaimant proportionnel

En cas de brusque consommation d'air susceptible de créer une insuffisance de vent, le plateau monte dans le caisson sous l'action des ressorts et compense le manque de vent, évitant une instabilité du son. C'est donc ce type de dispositif qu'il est souhaitable d'installer dans les caissons prévus à cet effet.

Cette représentation du sommier inclut la pose de l'électroaimant de traction de la soupape, décrivant ainsi les modifications globales dont devraient bénéficier les sommiers des plans manuels de l'orgue.

Concernant les sommiers de basses, il faut *a minima* les adapter au passage 12 -> 24 V, ce qui suppose de remplacer les électroaimants de commande et le câblage correspondant. En fonction de leur structure interne, il sera peut-être plus simple de les refaire intégralement à neuf.

5. Considérations préalables aux propositions de programme de travaux

L'orgue de la Cathédrale Ste Réparate de Nice est l'œuvre de Robert Boisseau et de son fils Jean-Loup Boisseau. Cette famille de facteurs d'orgues a marqué son époque par la réalisation d'instruments typés dans lesquels un grand soin était apporté au son, dans une démarche de retour aux principes de l'harmonie de type classique. Si cette démarche s'inscrit dans le courant néobaroque de l'époque des années 1960-70 qui n'a pas livré que des chefs d'œuvre, l'orgue Boisseau de la cathédrale de Nice s'inscrit dans le cadre des réalisations les plus marquantes et mérite à ce titre d'être respecté en raison de ses réelles qualités musicales, à la réserve près pouvant porter sur quelques jeux hétérogènes qui doivent être soit retravaillés, soit reconstruits.

En revanche la réalisation technique a vieilli ou n'a pas toujours été optimale comme d'ailleurs en souffrent beaucoup de réalisations de cette même époque.

- Concernant le vieillissement : il porte avant tout sur l'obsolescence de certains sous-ensembles : les parties électriques sont particulièrement représentatives de cet état de fait : la traction des jeux, l'électronique de l'époque, sont complètement obsolètes. Il en résulte une impossibilité de maintenance, la fabrication des composants électriques ou électroniques étant complètement abandonnée. De plus les performances de ces composants sont ridiculement sous-développées par rapport à celles des systèmes actuels.
- Concernant la qualité de réalisation, elle résulte essentiellement des choix de matériaux mis en œuvre. Sur ce point il convient de considérer ces matériaux avec discernement par rapport aux matériaux mis en œuvre dans les orgues aujourd'hui. Par exemple le PVC pour les porte-vent, matériau peu usité aujourd'hui et souvent assimilé à une facture de bas niveau de qualité, reste un matériau parfaitement fonctionnel et présente des qualités techniques certaines. Il en est de même de certains contreplaqués. Vouloir remplacer les porte-vent en PVC par des porte-vent en bois impliquerait un niveau de reconstruction important, sans gains de fiabilité ou de fonctionnalité supplémentaire. En revanche, le duralumin employé pour les rouleaux d'abrége ou dans les touches des claviers manuels est un matériau inapproprié pour ses caractéristiques mécaniques pour concevoir une mécanique des notes rigide et précise non assistée adaptée à un instrument de cette ampleur.
- Enfin la mise en œuvre des composants électriques laisse à désirer largement sur un plan de sécurité notamment dans le domaine du câblage électrique de l'instrument. Bien que travaillant en basse tension (12 V redressé), les composants électriques, les câbles sont exposés à la poussière. Les commutations peuvent provoquer des micro-étincelles car les courants d'alimentation peuvent dépasser plusieurs ampères, avec des connectiques non isolées. La mise aux normes de l'alimentation des turbines et de l'éclairage de l'orgue qui ont été réalisés en août 2022 était indispensable et permet d'envisager une utilisation plus sécurisée de l'orgue, mais cela n'écarter pas tout risque de départ de feu, notamment en raison de la présence de poussière sur les conducteurs mis à nu. Il est donc indispensable de reconcevoir toute la partie électrique de l'instrument.

En conséquence le programme de travaux doit porter sur une modernisation de l'instrument avec mise aux normes de toutes ses parties électriques et remise en état des éléments de la partie instrumentale qui nécessitent des réparations, comme au niveau des réservoirs d'air, des sommiers et de la tuyauterie.

Le programme que nous proposons consiste donc en un relevage avec modernisation sans remettre la substance artistique de l'orgue Boisseau. Ce programme est donc plus modeste que les programmes que Thierry Semenoux avait envisagés en 2016 car ils répondaient à une demande différente des commanditaires de l'étude.

Il nous apparaît sage que, après avoir envisagé la modification profonde de l'orgue pouvant aller jusqu'à sa totale reconstruction, une solution plus conservatrice soit proposée, consacrant le caractère artistique de l'œuvre des Boisseau et dans une certaine mesure une valeur patrimoniale au sens de sa composante musicale.

6. Programme de travaux

6.1. Considérations préalables.

Les travaux sont de deux ordres :

- Travaux de modernisation et de mise en sécurité de fonctionnement
Ces travaux font appel aux technologies les plus récentes qui ont été mises en œuvre dans des orgues de Cathédrale pour lesquels la performance et la sécurité étaient prioritaires dans les travaux à réaliser. On peut notamment citer quelques opérations emblématiques dont nous avons assuré la maîtrise d'œuvre :
 - Notre Dame de Paris travaux de modernisation 2012-2014
 - Primatiale St Jean de Lyon travaux de modernisation 2019-2022
 - Ancienne cathédrale d'Orange travaux de construction 2014-2019
 - Basilique de Saint-Quentin (02), reconstruction en cours.
- Travaux de relevage de l'orgue et d'amélioration sonore sur une partie des jeux.

6.1.1. Modernisation et mise en sécurité de fonctionnement.

- Tirage des jeux :

Ces travaux impliquent de renouveler complètement le tirage électrique des jeux actuel, ce qui passe par une modernisation de la console. Sur le plan de la traction des notes, la mécanique de console est également défectueuse.

- Console :

Il sera donc nécessaire de concevoir une console complètement neuve dotée de composants électroniques modernes : Capteurs de touches de type Hall, claviers et pédalier neufs, etc. Cette console sera équipée d'un local de protection placé à son revers, enfermant tous les éléments électroniques sensibles de la traction des notes et des jeux.

- Combinateur de jeux et replay :

En liaison avec le tirage des jeux et la console, l'électronique gèrera un combineur performant, un système de replay, et toutes les fonctions annexes accessibles aux utilisateurs référencés par espace de travail (seuil de déclenchement des claviers, sauvegarde sur clé USB, etc)

- Tirage des notes :

La mécanique peu performante de tirage des notes est à remplacer par une traction fiable et apportant une solution pérenne palliant les faiblesses de la traction mécanique actuelle. Compte tenu de la configuration des sommiers dans l'espace du buffet, le problème de la rigidité de la mécanique ne sera jamais résolu de façon satisfaisante avec une traction mécanique en raison du manque de rigidité des bras d'abrégé de la mécanique des notes. Une traction électrique sensitive de type numérique, déjà envisagée par Thierry Semenoux dans son étude de 2016, apparaît comme la meilleure solution. Le passage de la très basse tension de 12 à 24 volts permettra de réduire de moitié les intensités et surtout de créer un câblage sécurisé entièrement neuf, respectant les normes actuelles.

Cette modernisation va avoir pour double effet d'optimiser la sécurité de fonctionnement de l'orgue et de doper considérablement les performances musicales de l'instrument.

6.1.2. Travaux de relevage et d'amélioration d'une partie des jeux.

La partie instrumentale nécessite des travaux de réparation et de remise à niveau. Il s'agit de travaux relativement classiques pour lesquels le terme de relevage semble plus approprié que restauration, même si la distinction n'est pas toujours simple à établir. Par sous-ensemble cela suppose les interventions suivantes :

➤ Échafaudages :

Le démontage et le remontage de l'orgue exigeront de mettre en œuvre un échafaudage sur ces deux phases de travaux

➤ Démontage partiel de l'orgue :

Dépose de la tuyauterie et sommiers, purge des éléments supprimés : mécanique notes, câblages HS.

➤ Buffet d'orgue :

Décrassage du buffet d'orgue.

Traitement contre les xylophages des parties de bois attaquées (pièces en résineux du buffet essentiellement)

➤ Nettoyage et traitements :

Dépoussiérage de l'ensemble de la partie instrumentale de l'orgue et en particulier de la tuyauterie.

➤ Tuyauterie :

Dépose de la tuyauterie de métal et de bois. Nettoyage, et rétablissement d'une bonne géométrie des tuyaux déformés (corps et bouches des tuyaux de métal). Vérification de l'étanchéité des tuyaux de bois. Restauration des quelques 250 tuyaux endommagés (chamades et tuyaux isolés divers).

➤ Sommiers :

Dépose des sommiers et transfert en atelier éventuel. Vérification d'étanchéité. Réfection de l'enchapage (nouveaux registres et faux-registres, rondelles d'étanchéité). Création de layes avec pose des électroaimants et câblage. Réduction des volumes morts sous les caissons des sommiers et mise en place de ventres antiscousses.

➤ Alimentation :

Restauration sans dépose des membranes des réservoirs avec renouvellement des angles en peau d'agneau. Suppression des volumes morts propres à ces soufflets. Vérification des régulations et des jonctions des tubes porte-vent conservés en l'état.

➤ Boîte expressive :

Contrôle de la planéité et de la rectitude des jalousies et renouvellement de leurs garnitures

➤ Remontage :

Remontage des sommiers, Montage de la console, câblage général, connexion de l'alimentation remise en état.

➤ Amélioration d'une partie des jeux.

Les jeux hétérogènes susceptibles d'être retravaillés en profondeur ou remplacés sont de l'ordre d'une dizaine sur les 70 que compte l'instrument. Il s'agit donc d'une part relativement limitée.

Comme indiqué au § 4-8-4, le travail à réaliser pourra être lié au ressenti artistique de l'harmoniste qui fera le travail. On peut néanmoins cibler les jeux les plus concernés par ce travail :

Grand orgue : Montre 16 (hors tuyaux de façade), Montre 8 (hors façade), Prestant, Nazard, Tierce, Doublette, Trompette 8, Flûte 8

Récit : Principal 8, Principal 4, Flûte octaviante, Octavin, Nazard, Tierce.

Sur cette quinzaine de jeux il s'agira de déterminer les priorités à traiter pour se limiter raisonnablement à une dizaine de jeux au final.

➤ Travaux sonores :

Égalisation de l'harmonie qui ne sera pas modifiée et accord général à un tempérament égal ou presque égal (au 9^{ème} ou 10^{ème} de comma pythagoricien serait un tempérament opportun vu le style à dominante néobaroque de l'orgue).

7. Étude financière

Pièces financières

⇒ *Travaux de facture d'orgues : estimation des coûts*

⇒ *Fiche maîtrise d'œuvre*

L'estimation ci-jointe est établie selon les constatations du marché et :

- Une estimation du volume horaire nécessaire à chaque poste ;
- Un taux horaire de 55 € ;
- Un coût journalier de frais de déplacement et de séjour de 120 €.

Le schéma financier est présenté en une tranche unique de travaux sur la base de laquelle la maîtrise d'œuvre est calculée selon les dispositions du décret du 22 juin 2009 en tenant compte d'un coefficient de complexité de 2, s'agissant d'une restauration de moyenne complexité.

Les coûts d'opération incluent le montant des travaux, la TVA, les honoraires de maîtrise d'œuvre, une provision pour les variations de prix (actualisations entre prix actuels et prix des prestations au moment de leur exécution) et d'éventuels aléas.

8. Vérification du bâtiment

Il appartiendra au Maître d'ouvrage de faire vérifier par les services techniques compétents pour obtenir confirmation de l'état sanitaire correct du bâtiment dans toute la zone entourant l'instrument, la programmation de des travaux de l'orgue devant écarter en tout état de cause pour les années à venir tous travaux d'ampleur significative susceptibles de générer de la poussière ou des gravats.