



2 Machineries et modularité

C'est la société AMG-Féchoz, leader français en machinerie scénique, qui a assuré la conception et la réalisation des éléments modulables de la grande salle de la Philharmonie de Paris. Ce projet a dû s'adapter aux contraintes liées à l'originalité du lieu comme le fait que la salle ne soit pas symétrique ou encore l'absence de murs porteurs à proximité des machineries.

Le passage d'une configuration de salle à l'autre est en grande partie automatisé ce qui permet en pratique d'effectuer un changement complet en une journée avec un personnel limité.

Gradinage amovible du parterre

Afin de passer d'une configuration assise à une configuration debout, l'ensemble des gradins du parterre (**Figure 5**) peut être retiré et remplacé par un plancher horizontal. Cette transformation est intégralement automatisée : les sièges se retournent et sont stockés sous un plancher qui peut être levé ou abaissé suivant les besoins.

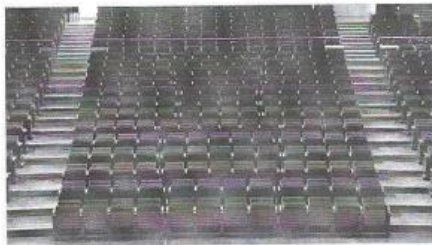


Figure 5 – Vue frontale des gradins du parterre en configuration assise

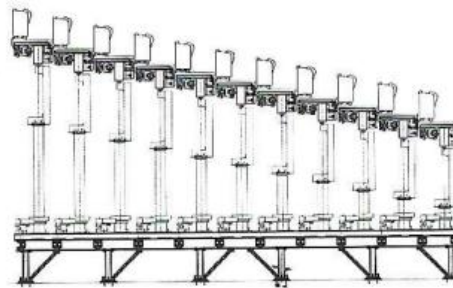


Figure 6 – Vue en coupe des gradins du parterre en configuration assise

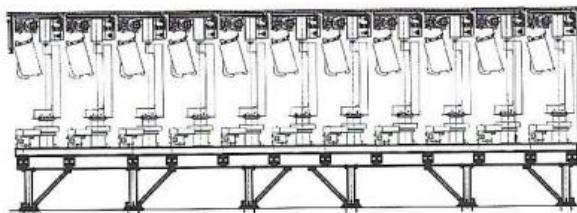


Figure 7 – Vue en coupe des gradins du parterre en configuration debout (parterre escamoté)



Figure 8 – Un siège en position levée, prêt à accueillir un spectateur

S'il est possible de piloter indépendamment les différents rangs de sièges, c'est généralement tout le parterre qui est modifié. Les vues en coupes **Figure 6** et **Figure 7** illustrent les deux configurations extrêmes associées



TD: Graphes d'états

à deux utilisations différentes de la salle. En annexe A, la **Figure 35** permet de restituer ces gradins dans le contexte global de la salle.

Élévateur d'orchestre

La scène principale est dimensionnée pour pouvoir accueillir un orchestre. Elle peut être adaptée très précisément aux spectacles donnés en fonction du nombre de musiciens présents ou de leur disposition. Elle est composée de 28 éléments de surfaces visibles **Figure 9** qui peuvent être élevés indépendamment les uns des autres (**Figure 10**) ainsi que de 2 escaliers télescopiques.

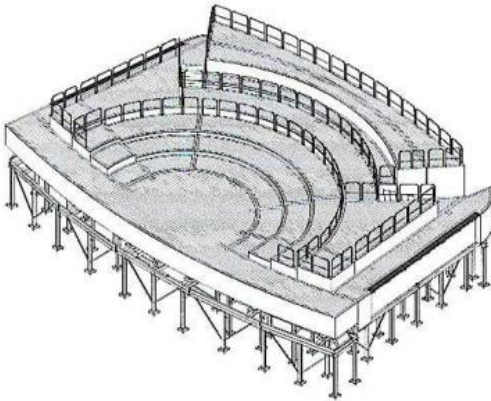


Figure 9 – Dessin de l'ensemble des modules composant le support d'orchestre

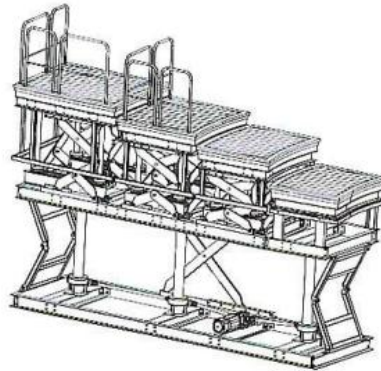


Figure 10 – Vue 3D partielle de 4 modules pilotables indépendamment

D'autres éléments modulaires tels que les gradins de la tribune télescopique à l'arrière de l'orchestre sont visibles sur les vues en coupe de l'annexe A mais ne seront pas étudiés dans ce sujet.



PARTIE

Étude du parterre escamotable

Objectif. — Dans cette première partie, on étudie le passage d'un parterre en configuration debout (pas de gradin, voir **Figure 7**) à un parterre en configuration assise (**Figure 6**).

Ce changement de configuration doit être rapide et sécurisé. Un extrait du cahier des charges permettant de respecter ces conditions est donné ci-dessous.

Exigence	Critères d'appréciation	Niveau
Changer rapidement la configuration du parterre	<ul style="list-style-type: none"> • Durée du changement • Automatisation du système 	<ul style="list-style-type: none"> • <10 min • 100% : pas de manipulation manuelle d'élément
Changer la configuration du parterre en toute sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle et surveillance visuelle de la manœuvre • Information de changement de configuration • Absence de contact entre les éléments en mouvement 	<ul style="list-style-type: none"> • Pupitre de contrôle mobile et déplaçable en salle • Activation d'un signal sonore pendant toute la durée du changement de configuration • Un siège ne doit jamais être à moins de 10 cm de la structure ou du siège d'un autre rang en cours de manœuvre

I.1 — Structure du gradinage

On étudiera uniquement le positionnement vertical des 11 premiers rangs de sièges du parterre. Chaque rang peut être piloté individuellement à l'aide de vérins qui permettent de le translater verticalement.

Hypothèses et paramétrage du gradinage illustré **Figure 11** :

- on numérote les rangs de 1 à 11, le 1^{er} rang étant le plus bas et donc le plus près de la scène,
- en configuration à plat, tous les rangs ont une hauteur identique $H_i^{mit} = H^{ref} = 0$ mm et les sièges ne sont pas retournés,
- en configuration gradinage complet, les sièges sont en position relevée et on note H_i^{fin} la position finale de chaque rang i dans ce contexte. Seul le premier rang est à la même hauteur que dans la configuration à plat : $H_1^{fin} = H^{ref} = 0$ mm. C'est la configuration finale qui est visible **Figure 11**,
- la différence de hauteur entre deux rangs en configuration levée est $h = 200$ mm.

Lors d'un changement de configuration de salle, il est nécessaire de faire attention à l'espace disponible derrière les rangs de gradins lors d'une rotation des sièges. Sur le cahier réponses, Question 1, deux rangs sont visibles ainsi que les positions d'un siège pendant son mouvement de rotation afin d'illustrer l'espace nécessaire lors d'un retournement.

La configuration retenue pour ce retournement est telle que : $H_i^{rot} = 1300$ mm pour le rang i et $H_{i+1}^{mit} = 0$ mm pour le rang suivant.

Question 1 Justifier par un tracé sur le cahier réponses qu'il n'est pas possible de retourner les sièges du rang i à la hauteur $H_i^{rot} = 1300$ mm si les sièges du rang $i + 1$ sont en position levée.

Le constructeur a retenu une hauteur de sécurité $H^s = 1800$ mm. Tout retournement d'un rang de sièges doit être effectué à cette hauteur. Il est indispensable que le rang situé directement derrière le rang retourné soit alors en position de référence basse H^{ref} .

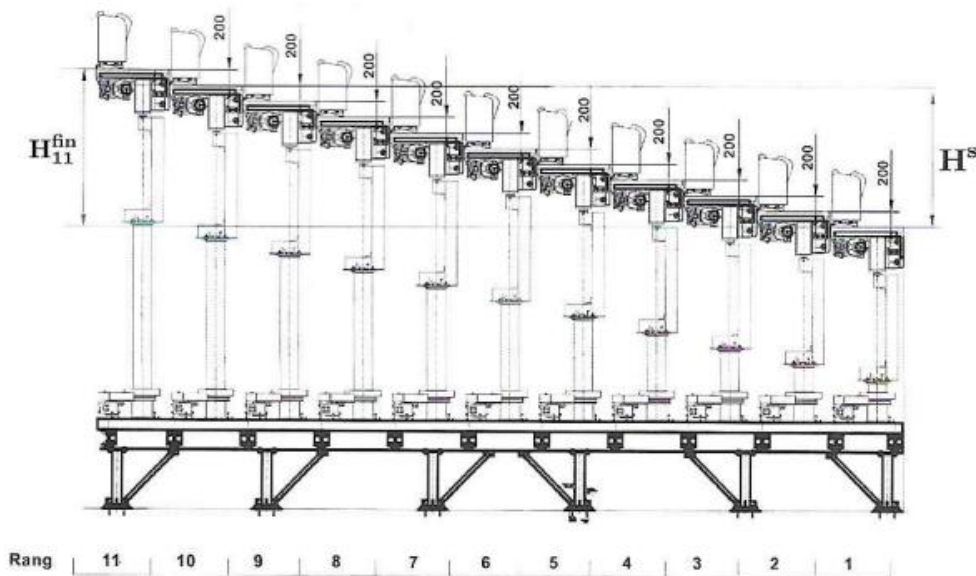


Figure 11 – Paramétrage des 11 premiers rangs des gradins : vue en coupe en configuration assise

Question 2 Calculer H_{11}^{fin} en position de gradinage complet. Est-il possible d'utiliser le même mécanisme de levage pour tous les rangs ?

I.2 — Cycle d'ouverture

On prend l'exemple d'un cycle d'ouverture : on souhaite passer d'une configuration salle debout (parterre horizontal et sièges escamotés, **Figure 7**) à une configuration en salle assise (gradins déployés, **Figure 11**). On limitera l'étude à l'élévation des 11 premiers rangs de gradins qui sont chacun pilotés individuellement.

Le diagramme d'état associé à un cycle d'ouverture complet est donné **Figure 12**. On constate qu'il peut être interrompu à tout instant manuellement. Lors d'un changement de configuration, plusieurs machinistes surveillent visuellement le parterre pour interrompre l'opération en urgence en cas de dysfonctionnement, notamment en cas de retournement incomplet d'un ou plusieurs rangs de sièges.

On propose de lever les rangs de sièges un par un. Le diagramme d'état associé est donné **Figure 13**.

Afin de calculer la durée nécessaire pour passer d'une configuration à l'autre, on fera l'hypothèse que les vérins permettent à chaque rang de monter ou descendre à une vitesse constante $v_z = 1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

On notera les durées de chacun des trois états principaux du diagramme **Figure 13** de la manière suivante :

- T_{mep} la durée de l'étape de « mise en position » d'un rang,
- T_i la durée de l'étape de « positionnement final » du rang i . Cette durée dépend de la hauteur finale du rang. On introduit T_{moy} la durée moyenne de cette étape. Pour simplifier les calculs, on supposera que $T_{moy} = T_6$ car le rang 6 est le rang médian dans notre étude,
- $t_r = 15 \text{ s}$ la durée de retournement d'un rang de sièges.

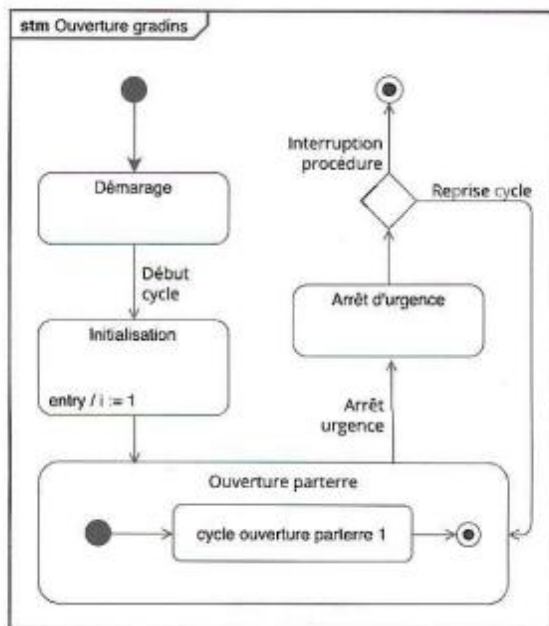


Figure 12 – Diagramme d'état général d'un changement de configuration du parterre (élévation des gradins)

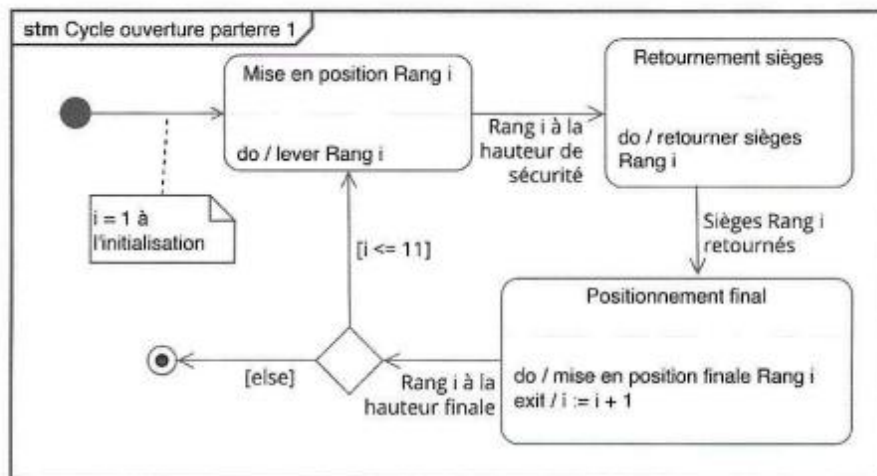


Figure 13 – Diagramme d'état : déploiement rang par rang des gradins

Question 3

Quelle est la durée T_{mep} ? Calculer uniquement pour le rang numéro 6 la durée T_6 de l'étape de « positionnement final ». On suppose que $T_{moy} = T_6$ est la durée moyenne de cette étape. En déduire le temps de déploiement total des 11 rangs de gradins et conclure vis-à-vis du cahier des charges. Toutes les applications numériques sont demandées avec un chiffre significatif.

Le constructeur n'a pas retenu cette procédure pour modifier la configuration du parterre. Le diagramme d'état de la Figure 14 donne la procédure retenue. Dans ce nouveau diagramme, la variable i représente la parité des rangs à déplacer et non plus le numéro du rang. Les rangs de parité $i=1$ sont les rangs impairs notés

$R_{P1} = \{1, 3, \dots, 11\}$, et les rangs de parité $i=2$ sont les rangs pairs notés $R_{P2} = \{2, 4, \dots, 10\}$.

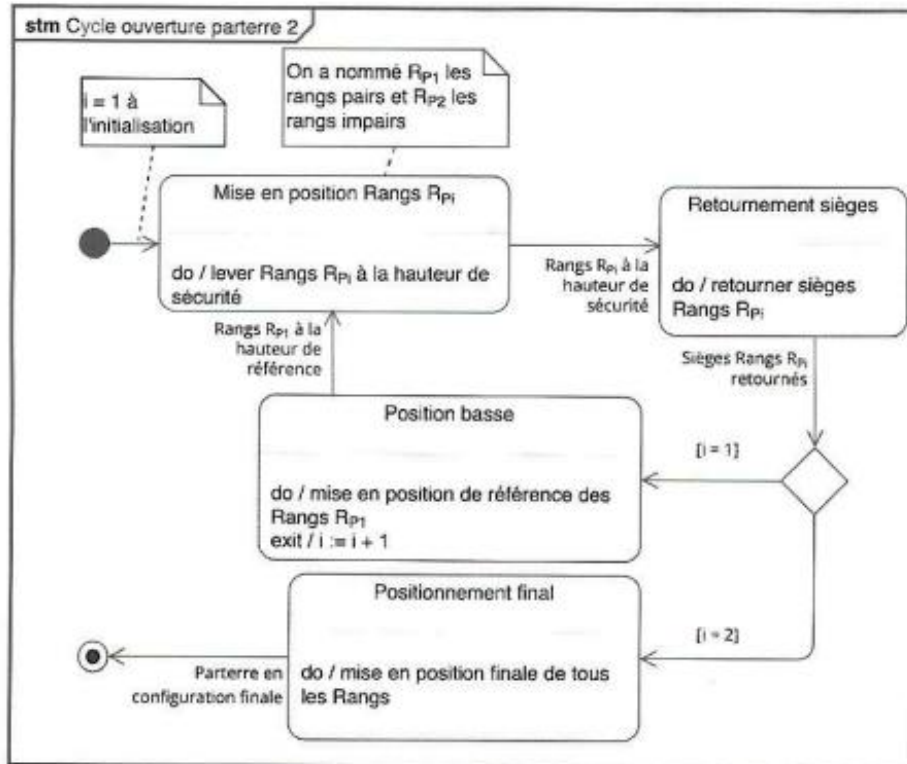


Figure 14 – Diagramme d'état : déploiement des gradins en deux temps

La Figure 15 illustre la fin de cette procédure : les rangs pairs sont tous levés à la hauteur de sécurité H^s et leurs sièges viennent de se retourner. On aperçoit en contrebas les sièges des rangs impairs au niveau H^{ref} .



Figure 15 – Changement de configuration du parterre : fin de la procédure

On donne ci-dessous un extrait de la procédure de chargement de configuration du parterre implémentée en langage python. Les fonctions suivantes sont utilisées :

- retourner(R) : R est la liste des indices des rangs à retourner. Cette fonction retourne tous les rangs d'indices inclus dans R,



TD: Graphes d'états

— `deplacer(R,H)` : R est la liste des indices des rangs à déplacer et H la liste des hauteurs à atteindre.
Cette fonction déplace tous les rangs d'indices `R[i]` à la position `H[i]`.

```
1 # Procédure de changement de configuration du parterre
2 # Etat initial : parterre en configuration debout : gradins escamotés
3 # Etat final : parterre en configuration assise : gradins déployés
4 while not ArrêtUrgence :
5     for i in range(1,3) # i = 1 : rangs impairs ; i = 2 : rangs pairs
6         if i == 1:
7             R = [i for i in range(1,12,2)] # rangs impairs
8         else :
9             R = [i for i in range(2,11,2)] # rangs pairs
10
11     # Mise en position
12     Hmep = [1800]*len(R) # Hs = 1800mm
13     deplacer(R,Hmep)
14
15     # retournement de sièges
16     retourner(R)
17
18     # position de fin de cycle
19     if i == 1:
20         H0 = [0]*len(R)
21         deplacer(R,H0)
22     else:
23         # Construction de Hfinal, positions finales des rangs
24         # Construction de Rtot, rangs à déplacer
25         deplacer(Rtot,Hfinal)
```

Question 4 En 10 lignes maximum, compléter les lignes 23 et 24 du code ci-dessus pour construire les deux listes nécessaires pour déplacer l'ensemble des rangs en position finale lors de l'état « positionnement final ».

La durée d'ouverture totale du parterre est dans ce cas de l'ordre de 8 minutes et le cahier des charges est bien respecté.