

# Carmen®

*La maîtrise acoustique des salles de spectacle*



CARMEN

10750



# Carmen®

## *L'acoustique naturelle à la carte*

Contrairement à ce qui serait souhaitable du point de vue acoustique, la quasi-totalité des auditoriums est utilisée pour des spectacles requérant des acoustiques différentes. Par ailleurs, beaucoup d'entre eux présentent des défauts plus ou moins prononcés. Dans ces conditions, il n'est pas étonnant d'entendre nombre d'artistes ou de mélomanes critiquer la mauvaise qualité acoustique des salles.

Il existe aujourd'hui deux types de technique pour corriger ces problèmes et moduler l'acoustique.

### Les techniques passives

consistent à modifier le temps de réverbération en jouant sur l'absorption acoustique. Elles font appel à des moyens mécaniques qui se révèlent souvent lourds, bruyants et, de surcroît, onéreux. Citons, par exemple, les réflecteurs, les panneaux mobiles ou les rideaux absorbants, les éléments scéniques, décors, conques d'orchestre..., et même, parfois, les parois et les plafonds mobiles.

### Les techniques actives

permettent d'apporter à la salle les composantes acoustiques qui lui font défaut (les premières réflexions, la réverbération, le niveau sonore). Elles utilisent des systèmes électroacoustiques, constitués de microphones, de filtres, d'amplificateurs et de haut-parleurs.

Carmen® est une nouvelle génération de technique active totalement originale, conçue par les chercheurs du CSTB, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Il est fondé sur un postulat musicologique essentiel : la salle, équipée de Carmen®, doit respecter les lois naturelles de l'acoustique pour préserver les couleurs sonores et la localisation des artistes, pour les musiciens comme pour les spectateurs.

Le principe de Carmen® repose sur la création de murs virtuels actifs, constitués d'un ensemble de cellules réparties autour de la salle et au plafond.

### Chaque cellule

capte et restitue en temps réel les sons comme s'ils étaient naturellement réfléchis. Un poste de traitement numérique spécialement développé effectue le pilotage de l'ensemble et le traitement des signaux. Une telle architecture permet le contrôle facile et précis de tous les paramètres acoustiques et préserve la cohérence spatiotemporelle du champ sonore.

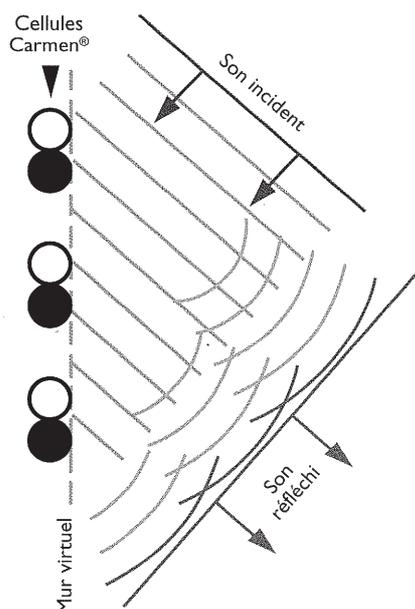
### Chaque mur virtuel

est constitué de plusieurs cellules actives ; un système complet en comporte de vingt à trente.

L'enrichissement du champ sonore s'obtient à partir de l'interaction entre les cellules, à l'image de ce qui se passe dans une classique salle de spectacle, où la réverbération se construit par le jeu des réflexions successives sur les parois.

Contrairement à beaucoup d'autres procédés actifs, Carmen® n'est donc pas assimilable à un système de sonorisation et ne présente pas les risques d'artefacts qu'entraînent de tels procédés (réverbération non naturelle, sonorité "électronique", amplification excessive...).

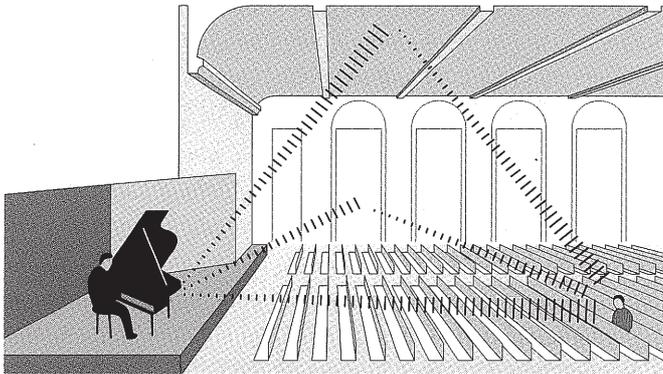
Carmen® ne nécessite aucune modification architecturale autre que l'éventuelle intégration des cellules à la décoration de la salle. Son principe de fonctionnement permet de s'affranchir de la présence de microphones sur la scène. Sans bruit propre audible, Carmen® respecte totalement l'acoustique naturelle et la redéploie dans toute sa pureté.



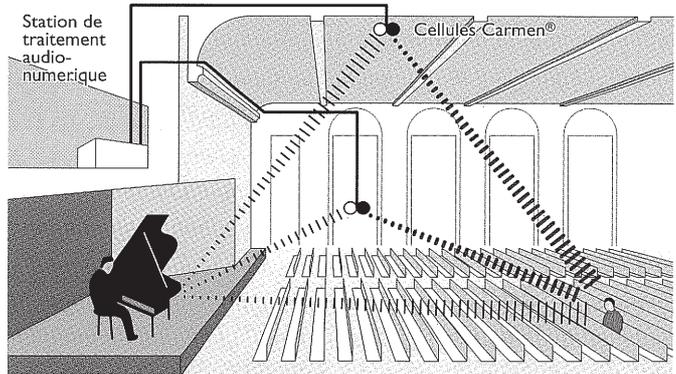
# Carmen®

*"L'installer et l'oublier"*

## ACOUSTIQUE NATURELLE



## ACOUSTIQUE OPTIMISÉE PAR LE SYSTÈME CARMEN®



Une fois installé, Carmen® fait partie intégrante de la salle, au même titre que les murs et les plafonds. Ainsi, toutes les salles de spectacles peuvent instantanément moduler leurs caractéristiques acoustiques en fonction du spectacle projeté. Quand on connaît la variation considérable des durées de réverbération souhaitables entre un concert de jazz (0,8 à 1,2 seconde) et une symphonie romantique (1,8 à 2,5 secondes), il est aisé de mesurer ce qu'apporte Carmen® à la qualité et au

confort acoustiques. De plus, il permet également de contrôler la distribution du niveau sonore dans la salle, l'intelligibilité...

Programme	Durée de réverbération
Musique populaire, jazz	0,8 - 1,2
Salle de conférence	0,8 - 1
Théâtre	1 - 1,2
Musique de chambre	1,3 - 1,5
Opéra	1 - 1,6
Concert symphonique	1,8 - 2,5

*Carmen® permet de moduler la durée de réverbération selon un programme.*

Avec Carmen®, une salle qui pourrait souffrir d'un manque de réverbération, se traduisant par une restitution "étriquée" de la musique, retrouve toute l'ampleur et la chaleur nécessaires au plaisir des mélomanes.

Dans l'auditorium Rainier-III à Monaco, où Carmen® a été présenté à l'Orchestre Philharmonique de la Principauté, l'effet fut spectaculaire, pour le public comme pour les musiciens et la presse, qui se déclarèrent enthousiasmés (cf. citation du *Monde*).

## Carmen®

**Pour toutes les salles,  
pour tous les spectacles,  
des murs virtuels  
pour une acoustique naturelle préservée.**

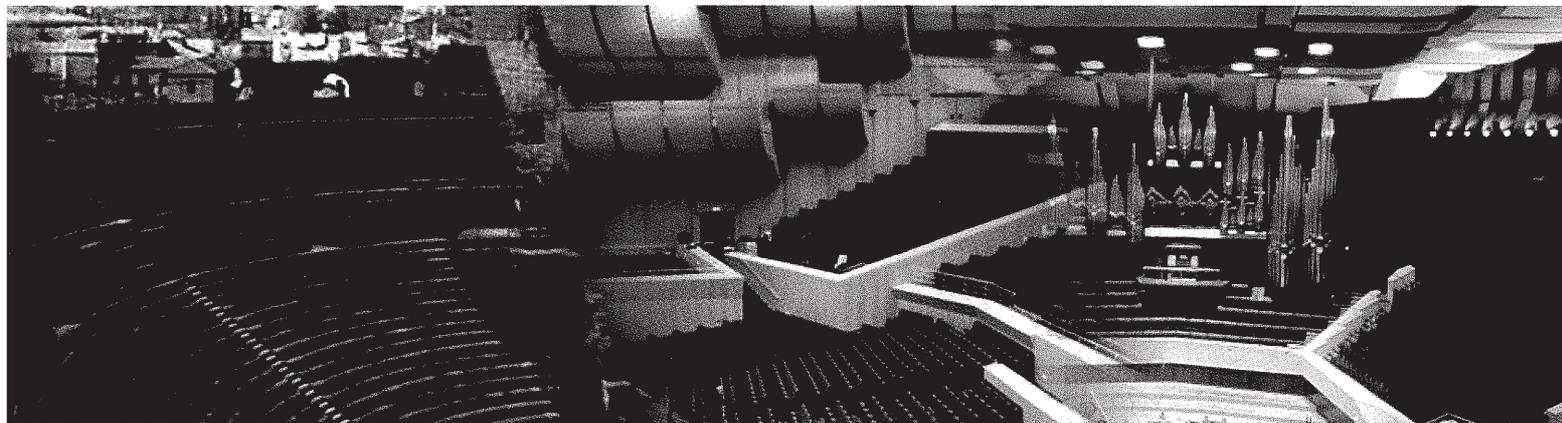
**Un équipement simple,  
autonome,  
fidèle,  
discret.**

**Une solution acoustique rentable.**



# Carmen®

*Un système clé en main*



## Une installation professionnelle

Elle s'effectue en deux étapes.

### En amont

Pré-étude en concertation avec l'éventuelle maîtrise d'œuvre et la direction technique, définition des besoins spécifiques, proposition technique et devis. Possibilité de simulation sonore de la salle équipée du système prévu.

### Après commande

Etude complète en concertation avec l'architecte pour le positionnement des cellules, leur intégration à la salle..., câblage et intégration des cellules par une société partenaire spécialisée dans l'intégration et la mise en œuvre des systèmes audionumériques, réglage du système et des différentes acoustiques pré-programmées, sessions de tests avant mise à disposition du produit fini.

## Un matériel performant

L'utilisation de matériel audio professionnel garantit un bruit de fond inaudible et une gamme dynamique offrant une réponse parfaite du pianissimo au fortissimo. Le traitement numérique des signaux assure la stabilité des performances.

Le système est conforme aux normes en vigueur et intégralement sécurisé : l'accès à l'ordinateur est verrouillé, les unités de filtrage et d'amplification sont isolées, un onduleur protège des perturbations et des coupures électriques.

## Des délais de mise à disposition courts

Ils sont généralement de deux semaines pour les études et de trois semaines pour l'installation et l'ensemble des réglages (hors éventuels travaux d'accompagnement). Il faut prévoir trois jours d'indisponibilité complète de la salle pour les sessions de test.

## Un rapport qualité/prix sans concurrence

Carmen® ne nécessite aucune transformation de la salle de spectacles. C'est un système modulaire dont le nombre de cellules varie selon l'acoustique initiale de la salle et les utilisations souhaitées. Le coût de Carmen® dépend principalement du nombre de cellules installées et des contraintes liées à leur intégration dans le site.

## Un investissement rentable

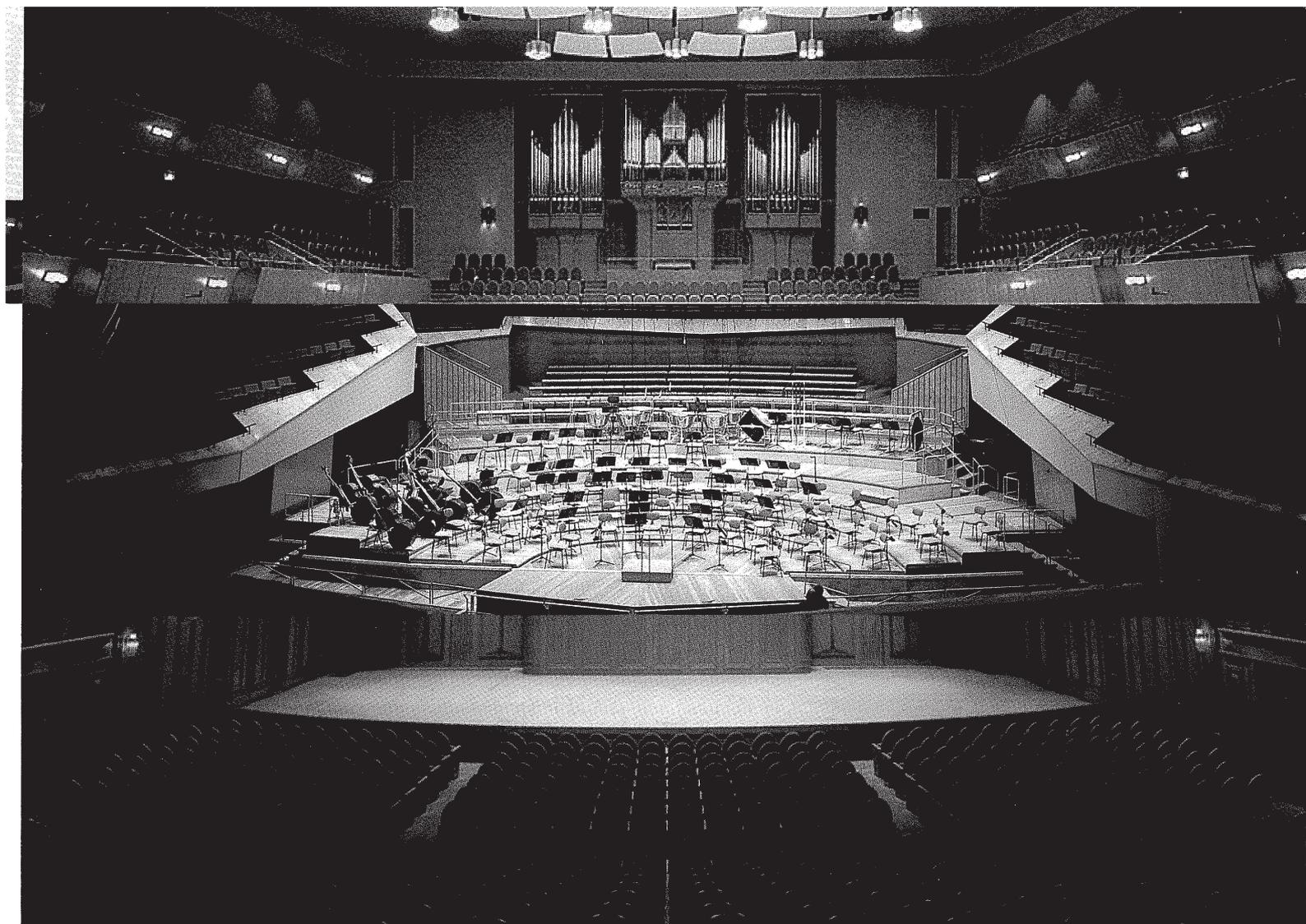
La rentabilité de la salle est augmentée puisque l'on peut programmer des spectacles qui n'auraient pas pu l'être sans Carmen®.

## Une utilisation facile

Carmen® est simple et rapide à manier : la mise en marche et l'arrêt s'effectuent à l'aide d'une clé. Pour changer de configuration (opéra, symphonie...), il suffit de sélectionner le pré-réglage correspondant sur un boîtier de commande.

## Une maintenance entièrement prise en charge

La maintenance est assurée avec des délais d'intervention garantis. Le matériel informatique peut bénéficier d'une télémaintenance.



# Carmen®

*Au service de l'excellence musicale*

Carmen® est un système actif permettant d'adapter l'acoustique d'une salle à chaque type de spectacle. C'est également, dans de nombreux cas, la solution idéale pour corriger l'acoustique des salles déficientes.

Musiciens et spectateurs peuvent enfin retrouver l'émotion musicale dans toutes les salles.

***Carmen® prolonge, embellit et adapte  
l'acoustique naturelle des salles de spectacle***

 **CARMEN**  
L'acoustique sur mesure

“Carmen semble écarter les murs, remonter le plafond et augmenter le volume ; la musique respire avec plus d'aisance ; les timbres paraissent plus soyeux ; le niveau des aigus est relevé sans aucune brillance, celui des graves aussi, sans que cela crée des ondes stationnaires qui brouillent l'écoute dans les plus mauvaises salles. La balance de l'orchestre n'est pas changée, chaque groupe instrumental reste à sa place sur le plateau. ”

Alain Lompech,  
Le Monde, 17 octobre 1996

# Salles équipées avec un système Carmen®

- La Rampe  
(Echirolles, France)
- Festival Berlioz  
(La Côte Saint André, France)
- Micropolis  
(Besançon, France)
- Salle des Princes  
(Grimaldi Forum, Monaco)
- Salle  
Prince Pierre de Polignac  
(Grimaldi Forum, Monaco)
- Brighthon Dome  
(Brighton, Angleterre)
- Théâtre Mogador  
(Paris, France)

## Quelques références du CSTB en Acoustique des Salles

- Opéra-Bastille  
(Paris, France)
- Cité de la Musique  
(Paris, France)
- Théâtre du Bolchoï  
(Moscou, Russie)
- Salle Pleyel  
(Paris, France)
- Halle aux Grains  
(Toulouse, France)
- Théâtre municipal  
(Besançon, France)
- Opéra de Normandie  
(Rouen, France)
- Opéra de Lyon  
(France)
- Centre de Congrès et  
Exposition  
(Grimaldi Forum, Monaco)
- National Grand Theatre of  
China  
(Pékin, Chine)
- Oriental Art Center  
Shanghai  
(Chine)

*Les photographies utilisées dans ce document  
n'impliquent aucune relation avec le CSTB ni  
avec le système Carmen®*

*“ Il est mélancolique  
De danser sans orchestre...  
Et vive la musique  
Qui nous tombe du ciel ! ”*

*Carmen,  
act II, scene 6*

 **CARMEN**  
*L'acoustique sur mesure*

CSTB  
Jean-Paul Vian  
24, rue Joseph Fourier  
38400 Saint Martin d'Hères  
Grenoble  
Tél. : (33) 04 76 76 25 25  
Fax : (33) 04 76 44 20 46  
Email : vian@cstb.fr

  
*le futur en construction*

*Installation / maintenance*  
Paul Chervin  
Audio Équipement  
Lumière et Son  
Parc d'activité Mérieux - Farge  
147/153 rue Marcel Mérieux  
69007 Lyon  
Tél. : (33) 04 78 61 23 44  
Fax : (33) 04 78 72 28 77  
Email : pch@audio-equipement.com

PARIS - MARNE-LA-VALLÉE - GRENOBLE - NANTES - SOPHIA ANTIPOLIS  
**CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT**

84, avenue Jean Jaurès - Champs-sur-Marne - 77447 Marne-la-Vallée cedex 2  
Tél. : (33) 01 64 68 82 82 - Fax : (33) 01 60 05 70 37  
Internet : <http://www.cstb.fr>

## *Le système Carmen au*

# THEATRE MOGADOR

(PARIS • 9<sup>e</sup>)

Septembre 2002

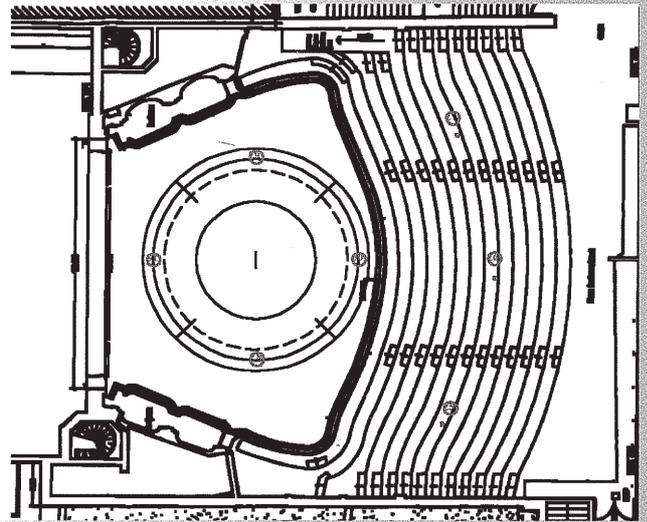
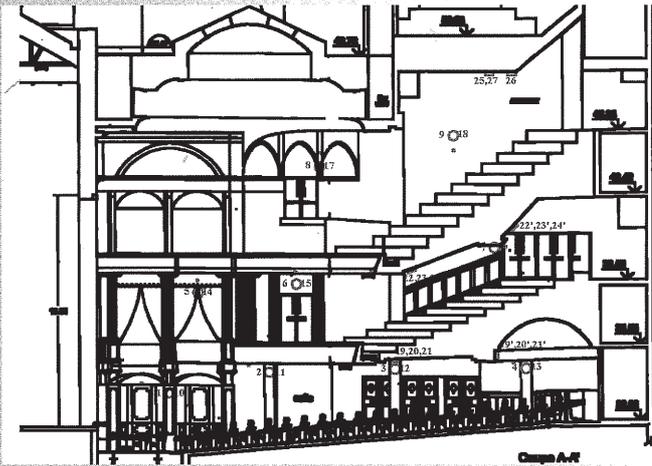
### Description

Théâtre parlé ou Music Hall, avec deux balcons profonds et un dôme.

Le théâtre est devenu en septembre 2002 la nouvelle résidence de l'Orchestre de Paris.

1 800 sièges - V~7 000m<sup>3</sup> - TR<sub>Passif</sub> = 1,3 s

Plancher de fosse d'orchestre mobile pouvant servir d'avant-scène.



Système à 31 cellules et renfort de scène, partiellement dissimulé dans la décoration :

- 18 cellules sur les murs latéraux
- 6 cellules en sous-face des balcons + 6 cellules étendues
- 3 cellules au plafond du balcon
- 4 cellules dans le dôme
- 2 microphones d'avant-scène pour le confort de la voix des chanteurs



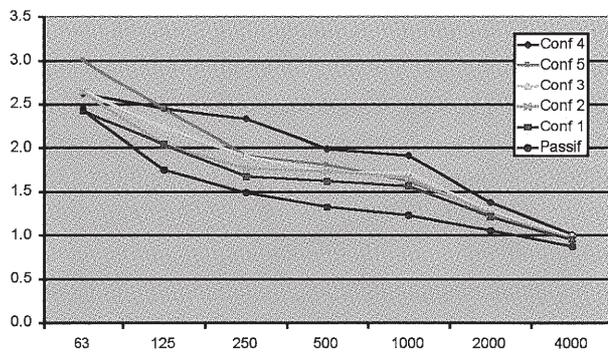
## Configurations prédéfinies :

Cinq configurations ont été programmées à la demande des utilisateurs.

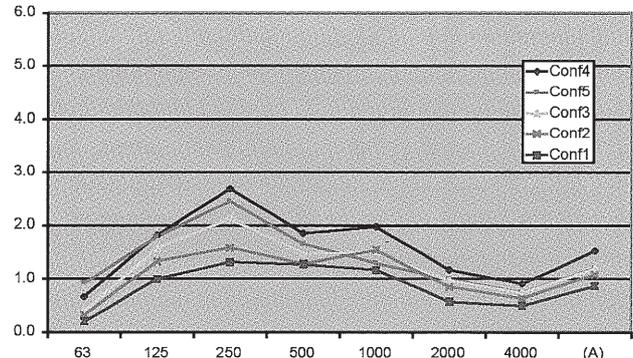
N° Conf.	Description	Utilisation
0	Système coupé (1.3 s).	Conférence, musique amplifiée
1	Légère augmentation du TR (1.6 s)	Musique de chambre
2	Augmentation moyenne du TR (1.7 s) Effet latéral renforcé	Concerto baroque, soliste
3	Augmentation moyenne du TR (1.7 s)	Symphonique : symphonie classique, concerto
4	Forte augmentation du TR (2.0 s) Renfort de la réverbération du dôme	Symphonique : grosse symphonie classique, symphonie romantique
5	Augmentation moyenne du TR (1.8 s) Renfort de scène	Opéra, oratorio

## Résultats mesurés (salle vide) :

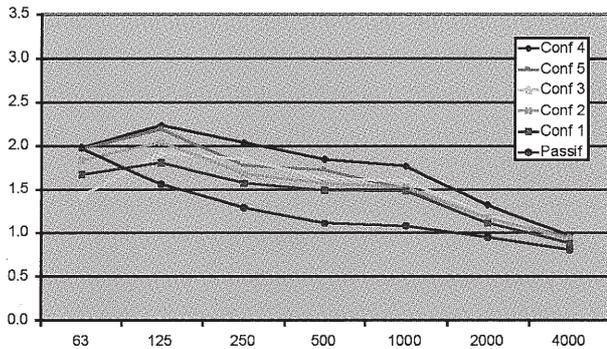
THEATRE MOGADOR RT30



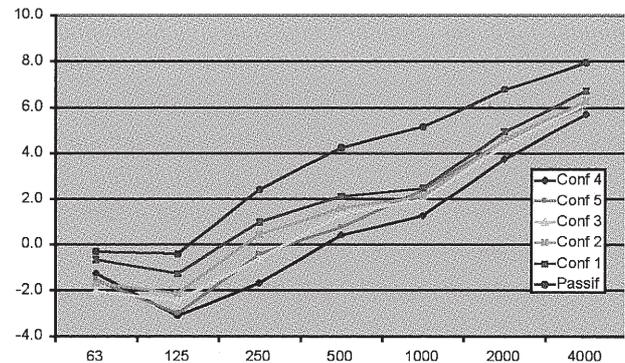
THEATRE MOGADOR Delta Lp



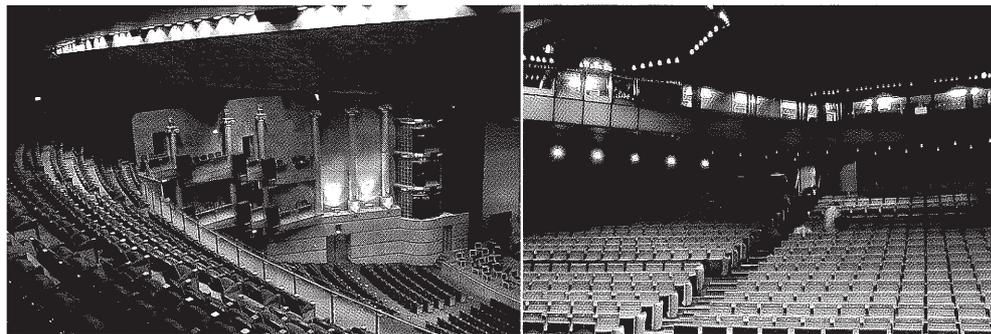
THEATRE MOGADOR EDT



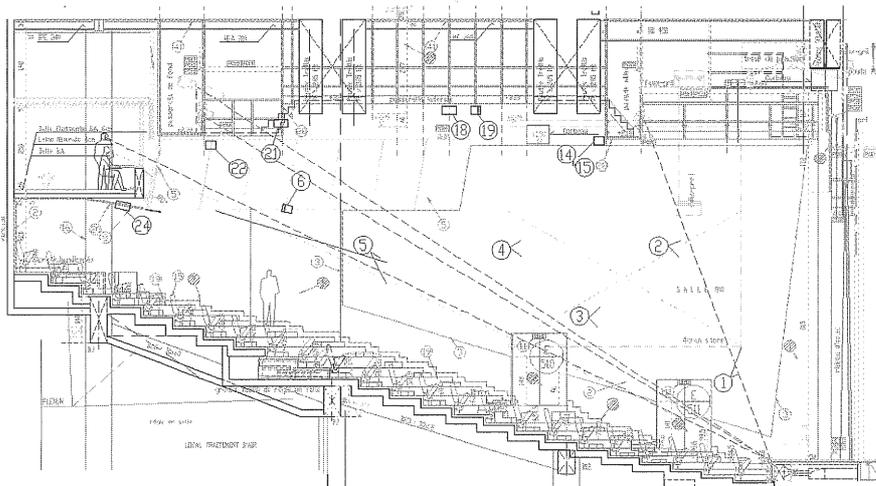
THEATRE MOGADOR Clarity 80ms



# CARMEN® au Grimaldi Forum



Dès la genèse du projet, le CSTB a été associé à la conception acoustique du Grimaldi Forum à Monaco. Pour gérer la variabilité acoustique inscrite au programme, le maître d'ouvrage et l'architecte ont opté pour le système CARMEN®, dont le prototype avait été testé en 1996 dans la salle Rainier III du Centre des Congrès Auditorium de Monaco.



l'utilisation d'éléments acoustiques variables (panneaux ou plafonds mobiles, rideaux...) pour l'utilisation en salle d'opéra et en salle de congrès,

- un réglage de base de l'acoustique de la salle pour les congrès avec l'utilisation de CARMEN® pour les activités culturelles. Cette deuxième solution a finalement été préférée car, moins onéreuse, elle laissait une plus grande liberté d'expression à l'architecte.

Pour la salle des Princes, les autorités monégasques avaient d'abord opté pour un réglage acoustique de base pour l'opéra, avec un recours à CARMEN® pour les concerts symphoniques et l'utilisation d'éléments absorbants traditionnels pour les congrès. Là encore, le nombre d'éléments à utiliser générait des contraintes importantes pour l'architecture intérieure. De plus, le cumul des coûts d'une solution acoustique passive classique avec ceux de l'installation du système CARMEN® rendait cette solution très onéreuse.

## Acoustique des salles

Comment le CSTB, avec le système CARMEN®, adapte l'acoustique des salles, sans travaux, en respectant l'architecture, selon chaque type de concert : opéra, ballet, concert, théâtre, congrès...

D'une surface de 35 000 m<sup>2</sup> (hors locaux de services), le Grimaldi Forum à Monaco a ouvert ses portes en juillet 2000. Il accueille les congrès, expositions et activités culturelles organisées par la principauté monégasque. Il compte trois salles de spectacle de 1 900, 800 et 400 places. Les deux premières, la salle des Princes et la salle Prince Pierre de Polignac sont équipées du système CARMEN® pour faire varier l'acoustique en fonction de leur utilisation (opéra, ballet, concert, théâtre, congrès...)

Lors de la conception de ces deux salles, deux approches acoustiques ont été étudiées:

- un réglage de base de l'acoustique de la salle pour les concerts symphoniques et

## Variabilité Acoustique

La décision a été prise de réaliser toute la variabilité acoustique de la salle avec le système CARMEN®, en prévoyant une acoustique de base pour les congrès réglée sur une durée de réverbération de 1,2 secondes et d'atteindre pour l'opéra 1,6 secondes et plus de 2 secondes pour les concerts symphoniques avec CARMEN®. Pour les mêmes raisons, une décision voisine a également été adoptée pour la salle Prince Pierre de Polignac.

Intégrés dans la décoration, les systèmes CARMEN® installés dans ces deux salles sont invisibles et pré-réglés :

### Six configurations dans la salle des Princes :

- opéra
- théâtre
- musique de chambre, concerto
- symphonie classique
- symphonie romantique, oratorio
- conférences et congrès avec diffusion de la voix naturelle.

### Quatre configurations dans la salle Prince Pierre de Polignac :

- musique de chambre
- concerto
- symphonique
- conférences et congrès avec diffusion de la voix naturelle.

### De la symphonie à l'opéra

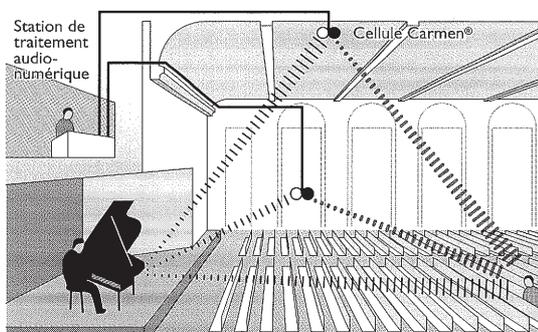
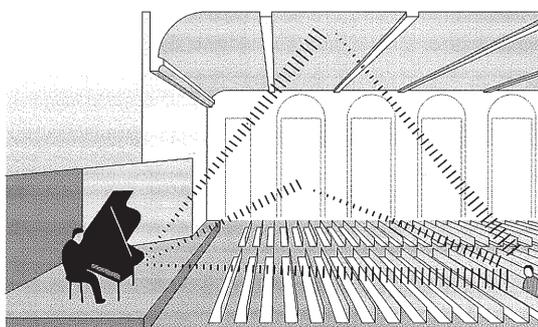
Les concerts organisés à l'occasion de l'inauguration de ces salles, en septembre et novembre dernier, ont permis au public, aux musiciens et aux chanteurs d'apprécier la qualité acoustique des salles équipées du système CARMEN® qui ne peut se différencier à l'oreille de celle des salles classiques de grande réputation. En particulier au cours d'une même soirée, le public Monégasque a pu apprécier successivement la qualité de trois acoustiques différentes, pour le concert symphonique avec orchestre et solistes sur scène sans conque, puis pour le ballet avec l'orchestre dans la fosse et enfin pour un extrait d'opéra avec décors, chœur et solistes.

## Avec CARMEN®, les salles deviennent polyvalentes

Imaginé par les acousticiens du CSTB, CARMEN® est un système actif permettant d'adapter l'acoustique d'une salle à chaque type de spectacle (théâtre, opéra, concert...) en jouant notamment sur le temps de réverbération. Il est fondé sur un postulat musicologique essentiel : respecter les lois naturelles de l'acoustique pour préserver les couleurs sonores et la localisation des artistes, pour les musiciens comme pour les spectateurs.

Le principe consiste à créer des murs virtuels actifs, constitués d'un ensemble de cellules associant un microphone et une enceinte acoustique réparties autour de la salle et au plafond. Chaque cellule capte et restitue en temps réel les sons comme s'ils étaient naturellement réfléchis par un mur. Un poste de traitement effectue le pilotage de l'ensemble et le traitement des signaux.

CARMEN® est également utilisé pour les festivals de musique, dans un espace semi-ouvert, afin de créer un effet de salle de concert. C'est ainsi qu'il équipe la halle médiévale de la Côte Saint André (Isère) qui accueille chaque année le festival Berlioz.



*"CARMEN® semble écarter les murs, remonter le plafond et augmenter le volume ; la musique respire avec plus d'aisance ; les timbres paraissent plus soyeux ; le niveau des aigus est relevé sans aucune brillance, celui des graves aussi, sans que cela crée des ondes stationnaires qui brouillent l'écoute dans les plus mauvaises salles. La balance de l'orchestre n'est pas changée, chaque groupe instrumental reste à sa place sur le plateau."*

Alain Lompech, *Le Monde*,  
17 octobre 1996

**Contact :** Jean-Paul Vian  
Tél. : (33) 04 76 76 25 30  
Fax : (33) 04 76 44 20 46  
Email : vian@cstb.fr

**Directeur de la publication :** Alain Maugard, Président,  
**Coordination :** Jacques Rilling, Directeur de la recherche et du développement,  
**Rédaction :** Mireille Héros.

**CSTB**  
*le futur en construction*

**SERVICE COMMUNICATION**

PARIS - MARNE LA VALLÉE - GRENOBLE - NANTES - SOPHIA ANTIPOLIS  
**CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT**

4, avenue du Recteur Poincaré – F-75782 Paris Cedex 16  
Tél. : (33) 01 40 50 28 28 – Fax : (33) 01 45 25 61 51 – www.cstb.fr

# Carmen®

## Fiche technique

∞	-27	-21	-15	-9	-2
2	90	-2.3	0.85		
3	513	-1.1	0.72		
4	2143	-0.4	0.46		
5	1250	-2.5	0.33		
6	150	-1.5	2.00		

**Définition :** Système électroacoustique actif pour le contrôle de l'acoustique des salles de spectacle.

**Utilisation :** Adaptation de l'acoustique aux exigences particulières à chaque type de spectacle. Correction acoustique de salles déficientes.

**Principe :** Mur virtuel composé de cellules actives à réaction quasi-locale.

**Performances :** Des configurations pré-réglées correspondent aux différentes acoustiques souhaitées (théâtre-conférence, musiques populaires, opéra, musique de chambre, musique symphonique classique, romantique...)

Chaque configuration se caractérise par :

- niveau et couverture sonore,
- fraction d'énergie latérale,
- temps de réverbération précoce et tardif,
- intelligibilité,
- balance tonale.

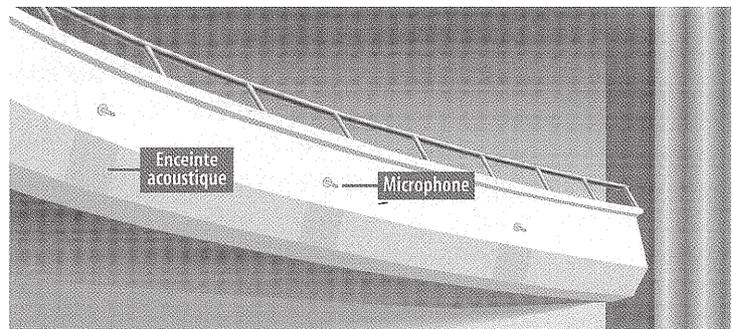
**Maniement :** Mise en marche et arrêt par automate à commande centralisée. Rappel d'un pré-réglage en pressant le bouton correspondant sur le boîtier de commande.

**Matériel :** Les cellules sont indépendantes. Elles comportent un microphone, un amplificateur, et un haut-parleur. Le traitement numérique est centralisé. Haut-parleurs et microphones peuvent être intégrés dans les parois de la salle. L'ensemble est alimenté par un onduleur.

**Option :** Renfort de voix (sans prise de son rapprochée) pour théâtre, conférences, opéra.

### Quelques caractéristiques techniques\* :

- Nombre de cellules :** 16 à 48 selon les besoins.
- Puissance électrique crête en sortie :** 300W / cellule
- Niveau sonore permanent maximal :** > 100dB<sub>SPL</sub> (bruit rose) typiquement pour un système 24 cellules.
- Niveau crête admissible sur les micros :** > 130dB.
- Bande passante minimale des enceintes :** 80-16000Hz. Plus si nécessaire.
- Niveau de bruit de fond propre :** < 25 dB(A), ou NR 15.
- Entrée ligne stéréo (pour diffusion) :** +26 dBu niveau max.
- Sorties ligne (pour enreg.) :** 2 à 4, +26 dBu niveau max.



Exemple d'intégration de cellules Carmen® dans un balcon.

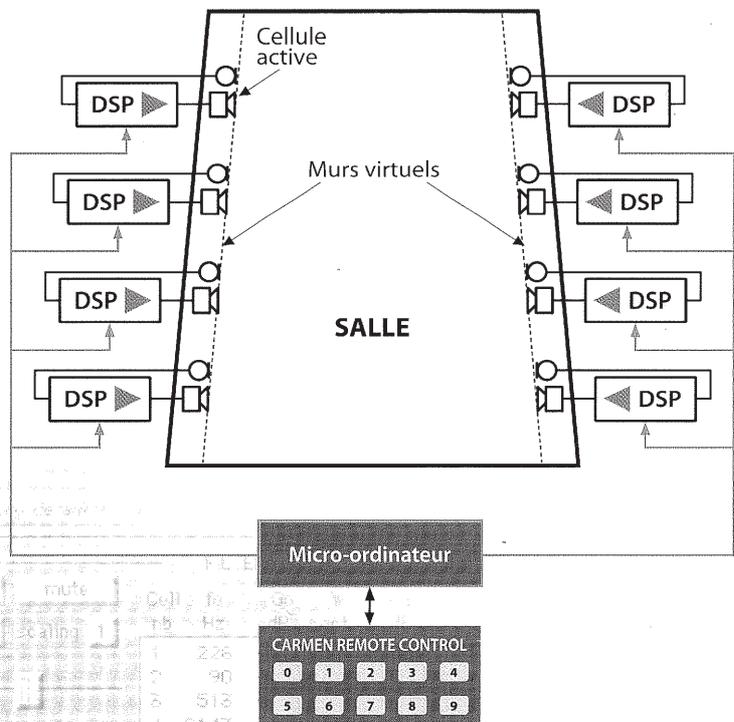


Schéma-bloc du système Carmen®

**Traitement numérique :**  
 Convertisseurs A/D 24 bits, D/A 20 bits  
 DSP 56002, calcul 24/48 bits. Dynamique : 110dB(A).

**Garantie :** 1 an

**2 contrats de maintenance :**

- Intervention de l'installateur, remise en service garantie sous 48 h.
- Intervention par le client sous contrôle de l'installateur, remise en service immédiate.

\* Spécifications non contractuelles.

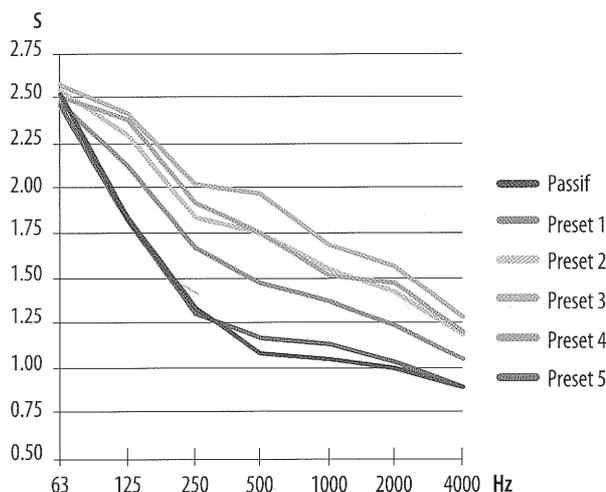


Carmen® Active Reverberation Enhancement System

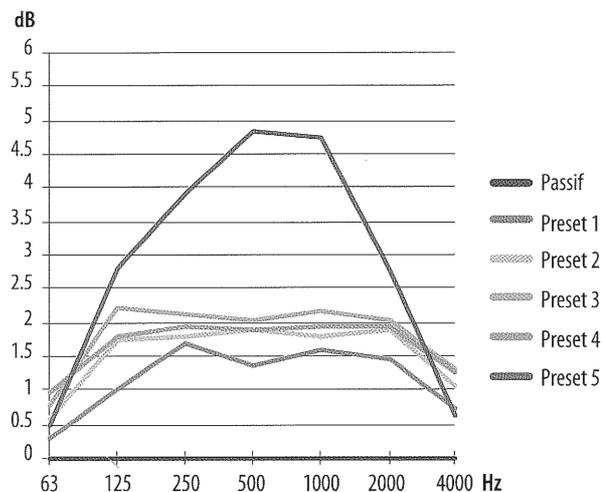
## Boîtier de commande



Ci-dessous : exemple de résultats obtenus dans différentes configurations d'un système Carmen® à 24 cellules avec option renfort de voix installé dans un auditorium de 1200 places.



Durée de réverbération



Élévation du niveau sonore

## Publications scientifiques :

O. Vuichard, X. Meynial,

*On microphone positioning in electroacoustic reverberation enhancement systems.*

Soumis à la revue Acta Acustica en février 1998.

X. Meynial, O. Vuichard,

*Objective measure of sound colouration in rooms*

À paraître dans la revue Acta Acustica.

X. Meynial, M. Buret, O. Vuichard,

*On controlling early energy and speech intelligibility in rooms equipped with reverberation enhancement systems*

Soumis au journal de la Société Américaine d'Acoustique en novembre 1997.

O. Vuichard, X. Meynial,

*Simulations numériques de systèmes de réverbération assistée*

4<sup>e</sup> Congrès Français d'Acoustique, Marseille, 1996, 291-294.

### Contact :

Jean-Paul Vian  
CSTB  
24, rue Joseph Fourier  
38400 Saint Martin d'Hères  
Grenoble  
Tél. : (+33) 4 76 76 25 25  
Fax : (+33) 4 76 44 20 46  
Email : vian@cstb.fr

**CARMEN**  
*L'acoustique sur mesure*

**CSTB**  
*le futur en construction*

### Installation/maintenance :

Jean-Pierre Bellegarde  
Audio Équipement  
22, rue Bechevelin  
69007 Lyon  
Tél. : (+33) 4 78 61 23 44  
Fax : (+33) 4 78 72 28 77  
Email : caudio@hol.fr