



Le stade de France à l'écoute !

Alain MAYEROWITZ, BE IMPÉDANCE

Parmi les 9 ambitions de la feuille de route que s'est fixé le Stade de France concernant le développement durable, 2 d'entre elles résument la démarche qui a animé le chantier de remplacement de la sonorisation, et plus particulièrement la mise en place du système de mesure et de maîtrise des émergences acoustiques, inédits dans les stades :

« Valoriser le patrimoine immobilier tout en maîtrisant ses impacts sur l'environnement »

&

« Concevoir des événements et commercialiser des produits et services en minimisant leur impact sur l'environnement »

La valeur symbolique du stade et les impacts significatifs qu'il génère imposent en effet de mettre le respect de l'environnement au cœur de sa stratégie d'évolution, à travers une exploitation plus performante et efficace, ainsi que des projets de rénovation adaptés.

Plus souple, plus moderne et en phase avec les besoins des spectacles sportifs et culturels, la nouvelle sonorisation pourra offrir aux organisateurs un moyen d'enrichir à moindre coût leur propre dispositif technique. Elle garantit plus de confort et une qualité de son exceptionnelle à tous les spectateurs tout en répondant aux exigences de sécurité d'un stade de cette envergure. Cette nouvelle installation permet l'optimisation du contrôle de la diffusion sonore grâce à la technologie line-array. Cette solution facilite le contrôle et l'optimisation des

niveaux sonores dans les tribunes et de l'intelligibilité. Avec pour objectif de toujours mieux vivre avec son quartier, et respecter ses habitants et les spectateurs, le système de sonorisation du stade offrira un nouveau service : la mesure permanente des émergences sonores dans le voisinage et la pression acoustique auprès des publics dans les tribunes.

Enfin, fidèle à son engagement autour de l'accessibilité pour tous, le Stade de France a mis en place un système, novateur et dédié, permettant aux sourds et malentendants de partager l'émotion et la magie de cette arène de 80 000 places et ce quelle que soit sa place. Ce nouveau service s'appuie sur les technologies des émetteurs HF et des boucles magnétiques individuelles.

Une arène de 80 000 places en plein cœur d'un quartier urbain

Une trentaine de manifestations sont programmées par le Stade de France tous les ans dont une vingtaine de manifestations sportives utilisant la sonorisation fixe du stade et une dizaine de manifestations de tous types (concerts, spectacles vivants...) avec une sonorisation événementielle dédiée.

Le stade est situé au cœur d'un quartier urbain bordé et desservi par de grandes infrastructures de transports terrestres (autoroutes A1, RN1, A86). Ce quartier a sensiblement évolué depuis sa construction en 1998, notamment en partie Est avec la construction de nouveaux ensembles immobiliers. À ce jour, un voisinage sensible se trouve implanté à proximité de l'établissement (entre 100 et 300 m de l'arène) se répartissant selon l'illustration page 20.



A. Un immeuble de logements « le Gai-Logis », préexistant à la construction du stade -, jouxte le parvis au nord-ouest ;
 B. Plusieurs ensembles immobiliers à l'Est comprenant des activités tertiaires au premier plan (bureaux, commerces, restaurants...) mais également des logements au second plan ;
 C. Un quartier de logements collectifs anciens et plus récents, au-delà du canal Saint-Denis au Nord-Est.

Bilan de l'impact acoustique de l'exploitation

L'exploitation du stade a fait l'objet d'un bilan acoustique complet en 2006 et 2007. La réalisation de plusieurs campagnes de mesurages acoustiques in-situ a été confiée au bureau d'études acoustiques IMPEDANCE pour déterminer la situation existante au regard de la réglementation. Menées en étroite concertation avec les associations de riverains du quartier, les investigations techniques ont permis de caractériser la situation sonore simultanément en plusieurs emplacements d'observation tant à l'intérieur de l'arène que dans son environnement comprenant :

- L'ambiance sonore préexistante dans le quartier en l'absence de manifestations, les jours et aux périodes habituelles d'exploitation de l'arène (mercredi et samedi principalement) ;
- Les fluctuations de bruit ambiant engendrées par stade en exploitation, pour différents types d'événements représentatifs de la programmation courante : matches de football et rugby ainsi que sports mécaniques.

Le constat a été globalement le suivant :

- Des émergences sonore parfois supérieures aux seuils réglementaires en matière de bruit de voisinage (décret n° 2006-1099 du 31/08/2006).
- Si l'on exclut l'influence de quelques événements attendus

comme bruyants au cours des manifestations observées (feu d'artifice de fin de rencontre, essais F1 ou dragsters) l'analyse des échantillons sonores a confirmé le caractère pénalisant de l'exploitation de la sonorisation (musique d'ambiance, jingles, pubs et voix speaker) en grande partie à l'origine des émergences constatées.

- Des essais de réduction des niveaux de bruit diffusés par la sonorisation menés en vraie grandeur lors d'un match de football ont révélé des résultats encourageants pour la réduction des niveaux de bruit ambiant dans le voisinage mais au prix d'une dégradation des conditions d'intelligibilité des messages en partie supérieure de la tribune haute (en fonction du bruit généré par le public). Or la sonorisation fixe est aussi le dispositif destiné à la diffusion des messages de sécurité en cas de besoin d'évacuation du public, ce qui n'autorise aucun compromis sur ce critère.

Le projet de renouvellement de la sonorisation de l'arène

Fort de ce diagnostic et conscient des enjeux de sécurité liés à une installation technique vieillissante, mais également en phase avec ses valeurs de développement durable pour minimiser son impact sur l'environnement, le Stade de France a donc entrepris en 2008 un projet de renouvellement complet de l'installation de sonorisation fixe de l'arène (tribunes et aire de jeu). Les objectifs ont été clairement exprimés auprès des concepteurs avec l'élaboration d'un programme fonctionnel détaillé précisant l'ensemble des contraintes de définition et de dimensionnement devant être vérifiées par le nouveau dispositif.

S'agissant de l'impact acoustique sur l'environnement, deux axes de travail se sont imposés :

- 1. L'optimisation de la diffusion sonore en tribunes et la maîtrise des niveaux rayonnés à l'extérieur de l'arène ;** compte tenu de la configuration des lieux (arène semi-ouverte, bruit de fond élevé en tribunes dû au trafic routier environnant et proximité du voisinage) ainsi que des contraintes d'exploitation (jauge 80 000 places, types de manifestation..), la réflexion des concepteurs a été orientée vers un système de sonorisation de nouvelle génération de type « ligne source » (line-array) pour ses possibilités étendues de pilotage : maîtrise des caractéristiques de directivité, niveaux de diffusion, phases et réponses en fréquences... ;
- 2. L'installation d'un système de surveillance acoustique pertinent,** permettant :
 - a. De surveiller en temps réel, depuis la régie ou les services de contrôle de la manifestation, les niveaux de bruit diffusés en tribunes et à l'extérieur du stade,



Actualités

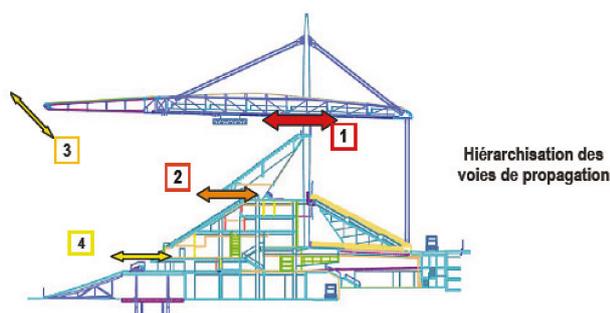
- b. D'obtenir une image représentative des valeurs d'émergence sonore potentielles engendrées dans l'environnement au cours de l'événement,
- c. D'agir en connaissance de cause sur la sonorisation (à l'initiative du régisseur) en cas de dépassements des seuils d'alertes préalablement fixés (en cohérence avec le respect des exigences réglementaires);

Maîtrise des niveaux sonores diffusés à l'extérieur du stade

Un modèle numérique 3D a été réalisé pour préciser les conditions de propagation acoustique dans l'environnement, à partir des niveaux de bruit diffusés par l'ancienne sonorisation. Ce modèle a permis notamment de préciser et hiérarchiser les différentes voies de propagation de l'énergie sonore contribuant à l'exposition des riverains dans le proche voisinage.

Celles-ci se décomposent de la manière suivante (par ordre décroissant d'importance):

1. **L'ouverture au droit de la coursive haute**, sur l'ensemble du périmètre de l'arène (la surface émissive restant variable compte tenu de la hauteur de la tribune haute dans l'axe Nord-Sud et Est-Ouest). À noter que ce phénomène est renforcé par la position et l'orientation des clusters actuels présentant des axes de propagation dirigés directement vers l'extérieur;
2. **Les ouvertures entre tribunes intermédiaires et tribunes hautes** (présente sur la moitié du périmètre de l'arène environ);
3. **L'ouverture centrale du toit;**
4. **Les autres ouvertures ponctuelles** (escalier accès tribune haute, vomitoires tribune basse...).



Performances attendues...

Sur le premier axe de travail, visant la réduction à la source de l'énergie sonore « non utile aux spectateurs », rayonnée à l'extérieur de l'arène par les principales voies de propagation identifiées précédemment (notamment surface émissive périphérique au droit de la coursive haute), l'objectif acoustique suivant a été recherché (obligation de résultats):

- **-10 dB (A)** au droit des ouvertures de la coursive haute/

niveau de pression acoustique nominal en gradins (L_{préf.}):

- **-15 dB (A)** au droit de l'ouverture centrale du toit/L_{préf.}

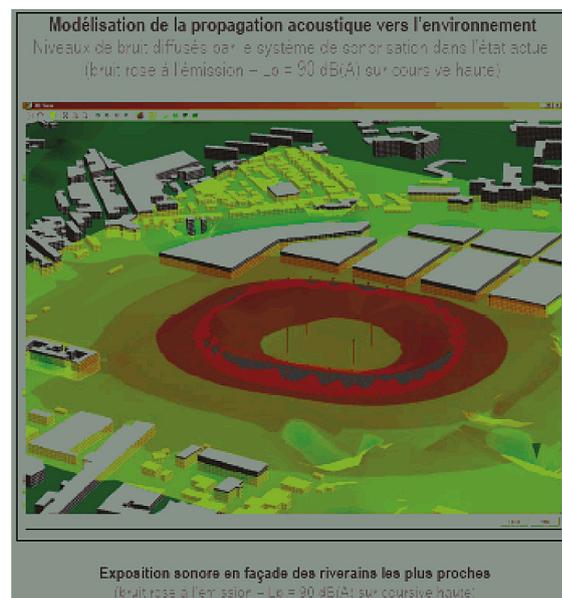
Ce gain minimum s'entend par rapport au niveau de pression acoustique nominal diffusé en gradins (L_{préf.}), pour un spectre de bruit rose à l'émission, et avec les caractéristiques d'atténuation minimales en fréquences récapitulées dans le tableau suivant. Pour information, le niveau de pression acoustique nominal attendu en gradins, par le nouveau dispositif était fixé à 96 ± 2 dB (A) pour un fonctionnement continu sur 6 heures, sans distorsions (< 5 % sur gamme 100 Hz – 5 kHz).

Gabarit d'atténuation/octave – Ouverture coursive haute

Bande d'Octave (Hz)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	dBA rose
Gain minimum / L _p ref (dB)	-4	-6	-7	-8	-9	-10	-10	-10	-10

Gabarit d'atténuation/octave – Ouverture centrale (toit)

Bande d'Octave (Hz)	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	dBA rose
Gain minimum / L _p ref (dB)	-6	-9	-12	-15	-15	-18	-18	-18	-15



Performances obtenues après réception de l'installation

Plusieurs séries d'essais acoustiques ont été réalisées lors des différentes phases du projet afin de s'assurer de l'obtention des résultats attendus en matière d'impact sur l'environnement.

La première a été organisée dès la phase d'appel d'offres afin de qualifier par un « essai probatoire » en vraie grandeur, sur une portion du stade, les performances des dispositifs électro-acoustiques proposés par les trois candidats en lice. L'entreprise Melpomen a été retenue pour le projet. Elle a



Actualités

proposé une installation de diffusion composée de clusters line-array avec enceintes de la gamme Nexo Geo S12 associés à un sub. cardioïde Nexo RS 18C spécialement développé pour ce projet.

On aboutit finalement aux résultats suivants :

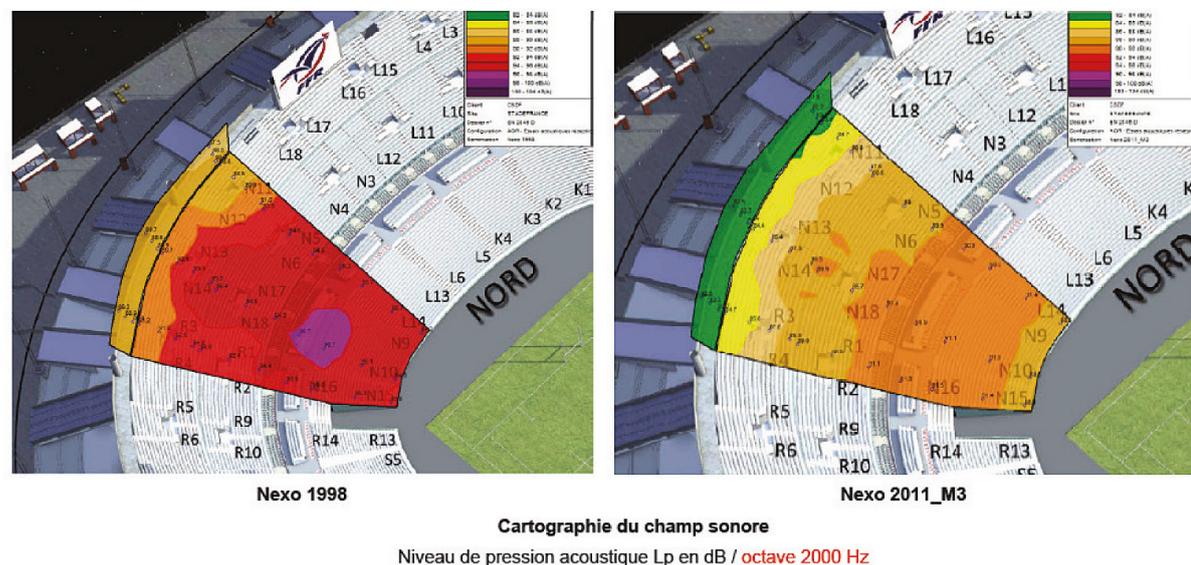
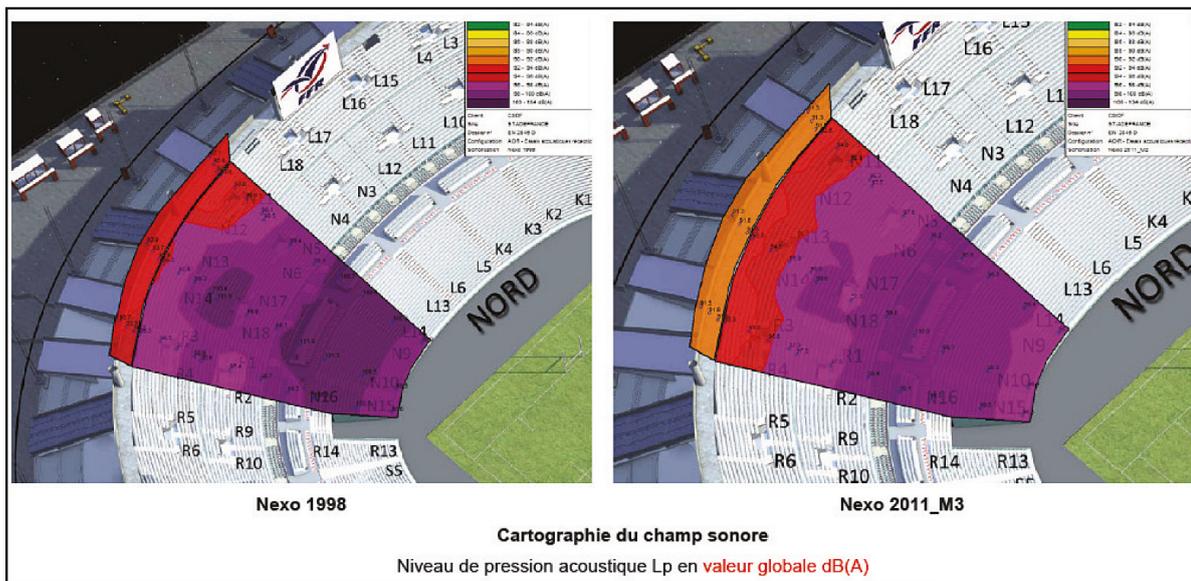
- La valeur d'atténuation atteint quasiment l'objectif fixé au CCTP avec **-9 dB (A)** (gain courseive/Lp moy. Tribune Intermédiaire - TI) en réponse à un spectre de bruit rose à l'émission.
- L'analyse par octave indique par ailleurs un gabarit d'atténuation globalement conforme à l'exigence du CCTP, avec :
 - une amélioration en basses fréquences (-4 dB à 63 Hz et -7 dB à -8 dB sur oct. 125 Hz -250 Hz),
 - un gain légèrement inférieur aux fréquences moyennes (octaves 500 Hz et 1 000 Hz).

La nouvelle installation est exploitée depuis le début de l'année 2011. Après un contrôle rigoureux de l'orientation et des caractéristiques de directivité des enceintes composant chaque cluster pour chaque secteur de tribunes, mais également du pilotage et de l'égalisation des signaux diffusés, le système a démontré sa capacité à satisfaire aux objectifs ambitieux de réduction de bruit à la source définis au cahier des charges.

Les essais acoustiques de réception ont permis d'ajuster et valider le paramétrage définitif de l'installation en lien avec le régisseur son du stade.

Comparatif des résultats d'essais électro-acoustiques entre ancienne installation (Nexo98/à gauche) et nouvelle installation (Nexo 2011/à droite)

Cartographie de pression acoustique en gradins et courseive bruit rose à l'émission





Actualités



Copyright Consortium Stade de France - Photo F. Aguilhon

Globalement, le gain de -9 dB (A) obtenu sur le rayonnement des émissions sonores au droit de la coursive haute s'est traduit par une baisse comprise entre -5 et -7 dB (A) dans le proche voisinage par rapport à l'ancienne installation, à niveau de pression acoustique équivalent en gradins (L_{préf.}).

Le système de surveillance acoustique permanent SySMA

Avec comme objectif de toujours mieux vivre avec le quartier et de respecter les habitants et les spectateurs, le système de sonorisation du stade a été complété d'un nouveau service : la mesure permanente 24 heures/24 des émergences sonores dans le voisinage et des niveaux d'exposition sonore des publics situés en tribunes ou sur l'aire de jeux.

Le second volet du projet « son » du stade a donc consisté en la définition, l'étude et au déploiement d'un système de surveillance acoustique de dernière génération. La solution retenue a été fournie et sera exploitée pendant 10 ans par la société Bruël & Kjaer, sur la base de son offre de services « Noise Sentinel ».

Composé de :

- **6 stations de mesurages fixes** - 4 stations dans le périmètre « Arène » (1 en toiture et 3 sur le chemin de ronde en tribune haute NE/NO/SE au droit des surfaces émissives faisant face aux 3 quartiers riverains) et 2 stations dans le périmètre « Parvis » : 2 localisées au droit des portes d'accès N (Nord-Ouest) et D (Est) station météo en porte N (vitesse/direction du vent).
- **2 stations mobiles** permettant une surveillance court-terme (quelques heures jusqu'à 2-3 j), un déploiement dans l'arène selon besoins ou encore une localisation dans les gradins ou sur l'aire de jeux centrale.,



Copyright Consortium Stade de France - Photo F. Aguilhon

Le système SySMA contrôle en temps réel un ensemble d'indicateurs acoustiques remarquables, restitués à travers d'une application extranet dédiée aux régisseurs (régie fixe et/ou mobile) ou à la direction d'exploitation, pour la maîtrise des émissions sonores propres à l'événement bien sûr, mais également pour surveiller les chantiers de montage/démontage des spectacles et plus globalement pour mieux comprendre et caractériser l'environnement sonore du Stade au quotidien.

Le Stade de France a souhaité disposer d'un écran de visualisation unique, simple et ergonomique pour son système de surveillance acoustique.



Actualités

L'un des enjeux du système de surveillance est la nécessité de restituer des indicateurs acoustiques directement lisibles pour l'exploitant. S'agissant de l'impact acoustique vers l'environnement la volonté était de ne pas se limiter à l'affichage des niveaux de bruit ambiant temps réel de chaque station implantée au Stade mais également de déduire les valeurs d'émergence sonore potentielle engendrée dans le voisinage, seul critère permettant d'apprécier le risque d'atteinte à la tranquillité des riverains.

Ainsi l'indicateur **d'émergence sonore** en valeur globale dB (A) restitué à l'écran est calculé par octave (63 Hz – 8 000 Hz) à partir des données mesurées et pré-paramétrées dans le système :

- **Spectres de bruit ambiant mesurés** en temps réels sur le système de surveillance (indicateur moyen terme Leq, 15 minutes/octave),
- **Fonctions de transferts Source (stations SySMA)/Récepteur (façade riverains)**, caractérisées à partir d'essais acoustiques in-situ après réception de l'installation de sonorisation (diffusion de Brose) et paramétrés dans le système pour chaque station.
- **Spectres du bruit résiduel** caractéristiques du voisinage. Ceux-ci ont été définis à partir d'une analyse statistique des fluctuations de bruit résiduel enregistrées par 2 stations BruitParif pendant 6 mois précédant la mise en service du système.

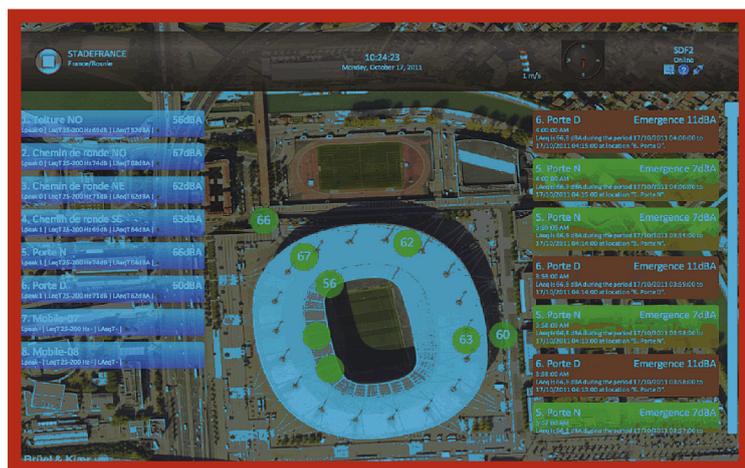
Le système autorise plusieurs connexions simultanées. En cas de régie mobile déployée dans l'arène. L'interface est ainsi mis à disposition du producteur de l'événement par le Stade afin de sensibiliser/responsabiliser les équipes intervenantes sur les risques d'impact sonore dans le quartier (ou de surexposition pour le public) et assurer ainsi une meilleure gestion de l'événement. En complément de cette interface « client », le système SySMA est entièrement administrable à distance.

Édition de rapport type après chaque manifestation

La volonté du Stade est également de pouvoir documenter rapidement, a posteriori, la situation sonore enregistrée au cours de l'événement pour les deux volets « exposition du public » et « impact sur l'environnement ». Pour cela, un ensemble de « reporting » types (format Excel®) est en cours de mise au point.

Les clefs de la réussite

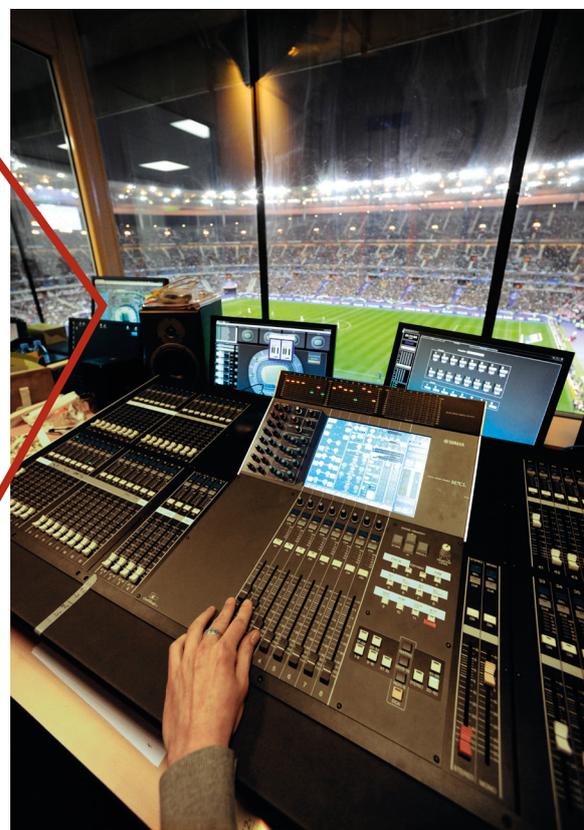
- **Forte implication de la maîtrise d'ouvrage** : Programmation/analyse des besoins, mobilisation de l'ensemble des parties prenantes (Direction Technique, exploitant, producteurs, régisseurs...), mise en service et exploitation.



Ecran de visualisation. © Consortium Stade de France - Photo F. Aguilhon

Cela a permis de paramétrer une première matrice de valeurs représentatives de l'environnement sonore du quartier et ce pour chaque jour de la semaine et chaque période de référence réglementaire (jour/soir/nuit).

Bien entendu, ces données sont modifiables et pourront être enrichies par les données acquises sur SySMA au fur et à mesure de son exploitation.



Ecran de contrôle en régie son.
© Consortium Stade de France - Photo F. Aguilhon



Actualités

Quelques chiffres :

- 15 mois d'études: programmation AMO (5 mois)/ validation MOU (mois)/ Études MOE (8 mois);
- 7 mois de travaux: 15 tonnes d'équipements, 10 km de câblage;
- 80 % de l'ancien matériel (enceintes et amplificateurs) sera réutilisé ou recyclé;
- poids du nouveau système a été divisé par 2;
- 400 heures de réglages
- Budget global: 2 200 000 euros (dont 400 000 euros d'études et 250 000 pour le système de surveillance SySMA).



© Consortium Stade de France - Photo F. Aguilhon

• Recours à une ingénierie acoustique et électroacoustique spécialisée:

- En amont: diagnostic et état des lieux/enjeu environnemental/analyse contexte réglementaire/expression de besoins, études de faisabilité...

- En phase projet: équipe MOE pluridisciplinaire, sélection d'entreprises spécialisées/essais probatoires in-situ en phase d'appel d'offres, suivi exécution et essais acoustiques de réception...

- A la mise en service: réglage, formation, accompagnement de l'exploitant...

• **Le choix de partenaires industriels reconnus et expérimentés**, d'envergure internationale pour un gage de maintenabilité des matériels sur la durée d'exploitation escomptée, soit environ 10 ans.

Les intervenants :

Maître d'ouvrage :

Consortium Stade de France

Maître d'œuvre et bureau d'études généraliste :

SNC LAVALIN

Maître d'œuvre et bureau d'études acoustique électro-acoustique :

Impédance sas

Bien entendu

Conseils Electro-acousticien :

Dispatch

Entreprise de sonorisation :

Melpomen (SSE Audio Group)

Système surveillance acoustique :

Bruël & Kjaer France



Tout sur le bruit
www.bruit.fr