



EHESP

Ingénieur d'études sanitaires

Promotion : **2008 - 2009**

Date du Jury : **septembre 2009**

**Exposition au bruit des spectateurs et
risques auditifs : le Grand Prix de
France moto et les 24 H du Mans auto**

Yves IBANEZ

Remerciements

Je tiens à remercier tous les collègues de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) de la Sarthe et tout particulièrement ceux du Service Santé-Environnement (SSE) pour leur accueil. Merci à Bernard Piriou, Ingénieur du Génie Sanitaire (IGS) du SSE, qui m'a fait confiance et m'a permis de découvrir dans de très bonnes conditions les missions du service. Son aide pour me mettre en relation avec certains interlocuteurs a été précieuse.

Durant ce stage, j'ai également pu compter sur le soutien de Dominique Mériot, technicienne sanitaire bruit et de Frédéric Coutier qui était en stage de 2^{ème} année de DEUST Vibrations Acoustique Signal (VAS). Je pense aussi à François Guyon de la Cellule d'Organisation et de Maintenance Informatique (COMI), un passionné des courses automobiles du Mans, sans qui de nombreuses mesures n'auraient pas été possibles. Sans leur disponibilité et leur aide, beaucoup de choses n'auraient pu être réalisées.

Je remercie également Gilles Barbier du SSE de la ville du Mans et son stagiaire pour les échanges très riches sur ce sujet. Et je n'oublie pas non plus le prêt de matériel qui a été très utile ! D'ailleurs, merci à la DDASS du Maine et Loire pour le sonomètre mis à disposition.

Merci aussi à Daniel Rivière, IGS à la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales (DRASS) Pays de Loire ainsi qu'à Nezha Leftah-Marie de la Cellule Inter Régionale d'Epidémiologie (CIRE) pour leur aide méthodologique et leur disponibilité. J'associe à ces remerciements les collègues des autres DDASS, à savoir, Jacky Levecq, Marc Esmenjaud, Nicolas Grénetier, Albert Godal, Dominique François, Frédéric Le Rallier, Véronique Baudry et Florence Meusnier qui ont tous très gentiment accepté de répondre à mes nombreuses sollicitations et m'ont envoyé des documents extrêmement précieux pour ce travail.

Merci également au Dr Maryse Morice, directrice du service Oto-Rhino-Laryngologie (ORL) du Centre Hospitalier du Mans, à Mme Corine Franquelin, audioprothésiste à la Mutualité Française et à Mme Martine Brunet de Santé au travail 72, d'avoir accepté de me recevoir.

Enfin, merci à Léon Tiéry de l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) et à Christophe Goeur, mon professeur référent à l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique (EHESP) qui ont apporté des éléments de réponse pertinents à des moments clés de ce stage.

Sommaire

Introduction	1
1 Intérêts et contexte local	2
1.1 Enjeux sanitaires et institutionnels.....	2
1.1.1 Capacité d'accueil du circuit et fréquentation	2
1.1.2 Etudes acoustiques environnementales existantes	2
1.1.3 Risques auditifs lors des compétitions automobiles	3
1.1.4 Institutions impliquées.....	4
1.2 Enjeux réglementaires.....	4
1.2.1 Quelle base réglementaire utiliser?	4
2 But de l'étude	5
3 Méthodologie.....	5
3.1 Objectifs opérationnels et phasage	5
3.2 Les professionnels contactés	6
3.3 Moyens.....	6
3.3.1 Mesures acoustiques existantes.....	6
3.3.2 Nombre de préleveurs	6
3.3.3 Appareillage de mesure	6
3.3.4 Echantillonnage	7
3.3.5 Choix des points de mesure	7
3.3.6 Choix du temps de mesure	7
3.3.7 Conditions météorologiques	7
3.3.8 Bruit enregistré.....	8
3.3.9 Logiciel.....	8
4 Résultats.....	9
4.1 Eléments d'acoustique.....	9
4.2 Effets auditifs du bruit.....	9
4.2.1 Exposition de longue durée	9
4.2.2 Exposition de courte durée	10
4.2.3 Variabilité individuelle	11
4.2.4 Etudes des circuits automobiles	12

4.2.5	Autres études intéressantes	13
4.3	Evaluation de l'exposition	14
4.3.1	Grand Prix de France moto	14
4.3.2	24 Heures du Mans auto	15
4.3.3	Cartographie du bruit des lieux accessibles au public.....	15
4.4	Caractérisation des risques	16
4.4.1	Pratiques actuelles	16
4.4.2	Réglementation nationale sur les manifestations sportives automobiles	16
4.4.3	Décision du Conseil d'Etat.....	16
4.4.4	Règlement ACO	17
4.4.5	Autres textes réglementaires pertinents	17
4.4.6	Comparaison entre les niveaux mesurés et les seuils indiqués dans la littérature scientifique et réglementaire	20
5	Discussion	22
5.1	Actions actuellement menées	22
5.1.1	Opération de prévention des risques auditifs engagée cette année sur le circuit des 24 Heures du Mans	22
5.1.2	Efficacité réelle des Protections Individuelles Contre le Bruit (PICB).....	22
5.1.3	Mise en place d'un recueil Traumatisme Sonore Aigu (TSA) au centre hospitalier du Mans	23
5.2	Actions et propositions	23
5.2.1	Modélisation du bruit	23
5.2.2	Besoin d'une approche sociale du bruit pendant les courses	23
5.2.3	Besoin d'une étude épidémiologique.....	24
5.2.4	Besoin d'une stratégie de communication et de prévention plus poussée.....	24
5.2.5	Réflexion sur les indicateurs et les seuils.....	25
5.3	Analyse critique.....	26
5.3.1	Choix méthodologiques	26
5.3.2	Apports de cette étude	26
	Conclusion.....	27
	Bibliographie.....	29
	Liste des annexes.....	I

Liste des sigles utilisés

ACO : Automobile Club de l'Ouest

CH : Centre Hospitalier

CIRE : Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie

CNECV : Commission Nationale d'Examen des Circuits de Vitesse

CSRSEN : Comité Scientifique des Risques Sanitaires Emergents et Nouveaux

COMI : Cellule d'Organisation et de Maintenance Informatique

dB : Décibel

dB (A) : Décibel pondéré A

dB (C) : Décibel pondéré C

DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

DDEA : Direction Départementale de l'Equipement et de l'Agriculture

DRASS : Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales

DTM : Deutsche Tourenwagen Masters

EHESP : Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique

ERS : Evaluation des Risques Sanitaires

GP de France moto : Grand Prix de France moto

IES : Ingénieur d'Etudes Sanitaires

IGS : Ingénieur du Génie Sanitaire

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

L_{eQ} : Niveau équivalent

$L_{ex, 8h}$: Niveau d'exposition pendant 8 heures

L_{min} : Niveau minimum

L_{max} : Niveau maximum

LMGT1 : Le Mans Grand Tourisme 1

LMGT2 : Le Mans Grand Tourisme 2

LMP1 : Le Mans Prototype 1

LMP2 : Le Mans Prototype 2

L_{pc} : Niveau de pression acoustique de crête mesurée en pondération C

ORL : Ortho Rhino Laryngé ou Oto-Rhino-Laryngologie

SSE : Service Santé-Environnement

SCENIHR : Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks

SCHS : Service Communal d'Hygiène et de Santé

TS : Technicien Sanitaire

TSA : Traumatisme Sonore Auditif

VAS : Vibration Acoustique Signal

Introduction

Les 24 Heures du Mans, course automobile d'endurance, se déroulent sur un circuit routier en Sarthe depuis plus de 85 ans. Cette course a lieu en juin. Elle emprunte une partie du circuit Bugatti et inclut une grande partie de la route départementale D338 (axe Le Mans/Tours). Les passages les plus célèbres sont les virages du Tertre Rouge, Mulsanne, Indianapolis, Maison Blanche et la ligne droite des Hunaudières.

Cette course mythique du sport automobile n'est cependant pas la seule à se produire tous les ans sur le site du circuit des 24 Heures du Mans. Pas moins de 11 compétitions, toutes catégories confondues, s'y déroulent. La majeure partie de ces manifestations a lieu sur le circuit Bugatti ou celui de Maison Blanche. Le Grand Prix de France moto a d'ailleurs lieu sur le circuit Bugatti (annexe 1 et 2).

Ces compétitions rassemblent beaucoup de spectateurs qui sont alors exposés, en général de leur plein gré, à des niveaux de bruit élevés. Ces manifestations sportives, suivies par un public familial, accueillent des spectateurs qui ne sont pas toujours conscients du risque auditif auquel ils sont exposés.

Globalement, les risques auditifs ne sont pas bien connus du grand public. Il est donc nécessaire de réaliser une étude détaillée du bruit émis lors de ces compétitions pour connaître le niveau de bruit réel auquel sont exposés les spectateurs. Grâce à ces informations, il sera alors possible d'émettre des hypothèses sur les effets sanitaires susceptibles d'apparaître après avoir assisté à ces événements sportifs.

Le rapport d'étude réalisé au sein du Service Santé-Environnement (SSE) de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) de la Sarthe de mi-mai à mi-juillet 2009 est découpé en 4 parties. Il décrit dans un premier temps, les enjeux (sanitaires, réglementaires et institutionnels) et le contexte local lié aux courses automobiles. Une seconde partie expose la méthodologie employée pour récolter les données pertinentes. La troisième partie répertorie les principaux résultats obtenus qui ont permis d'élaborer des propositions d'actions qui seront exposées dans la dernière partie de ce rapport.

1 Intérêts et contexte local

1.1 Enjeux sanitaires et institutionnels

1.1.1 Capacité d'accueil du circuit et fréquentation

La ville du Mans comptabilisait 144 016 habitants au 1^{er} janvier 2009 (site internet de l'Insee). La dernière édition des 24 Heures auto a été suivie par près de 260 000 spectateurs, soit quasiment 2 fois la population du Mans (site internet de l'ACO).

De nombreuses compétitions et entraînements sont programmés chaque année sur le circuit Bugatti qui accueille ainsi un nombre variable de spectateurs en fonction des compétitions (annexe 3). Les compétiteurs peuvent, en général, tester leur matériel et procéder aux qualifications avant la journée de compétition. Ces journées précédant la course, sont également ouvertes au public. Cependant, la fréquentation y est plus faible.

Les compétitions qui rassemblent le plus de monde autour du circuit sont les 24 H moto, le GP de France moto, les 24 H auto, le Mans Classic, les World series by Renault et les 24 H camions. Ces compétitions accueillent de 40 000 personnes aux 24 H camion à 260 000 environ pour les 24 H auto.

1.1.2 Etudes acoustiques environnementales existantes

Etude @dBC

Cette étude date de 2008. Elle visait à réaliser une étude acoustique préalable à la ré-homologation du circuit Bugatti. Les niveaux de bruit de six activités différentes ont été mesurés : l'école de pilotage GT, l'autosport academy, la formule 3, la formule campus, les essais moto, les 24 Heures moto.

Les auteurs ont réalisé une étude prévisionnelle des niveaux de bruit à partir de leurs propres mesures. Ce qui a tout de suite frappé dans cette dernière, ce sont les niveaux évalués pour la course des 24 H moto. Nous avons comparé les mesures faites cette année pendant les 24 Heures moto de 2009 (Coutier, 2009) par rapport aux leurs. On a pu observer qu'en règle générale, nos niveaux mesurés dans le public en L_{Aeq} étaient environ 7 dB (A) supérieurs aux leurs qui ont pourtant été mesurés en bord de piste. L'élément principal qui pourrait expliquer de tels écarts est le modèle mathématique utilisé pour simuler les niveaux sonores de certains tronçons de la piste. Ainsi, pour la course des 24 H moto, le modèle mathématique de l'étude @dBC sous-estime le niveau réel émis.

Etude d'Azimut Monitoring

Cette étude réalisée en 2009 était commanditée par l'ACO. Les niveaux sonores ont été déterminés à partir de 4 stations fixes de mesure situées à proximité ou autour du circuit.

Trois d'entre elles servent à mesurer le niveau de bruit au voisinage et une station (celle au dessus du module) sert à mesurer le bruit « à la source ». Cette dernière est située au dessus d'un bâtiment (le module) à une quarantaine de mètres environ de la piste à un endroit où le public n'a pas accès.

Dans ce rapport, apparaissent seulement les niveaux enregistrés en 2008. Le GP de France moto et la course des 24 H moto n'y figurent pas. La station était hors service du 16 avril au 12 juin 2008, période durant laquelle se déroulent ces 2 compétitions.

D'après cette étude, on constate que les World series by Renault, le Deutsche Tourenwagen Masters (DTM) et les 24 H auto sont les manifestations les plus bruyantes avec des niveaux moyens enregistrés de plus de 90 dB au niveau de la station fixe du module. Ces deux premières manifestations mériteraient également une attention toute particulière.

1.1.3 Risques auditifs lors des compétitions automobiles

Les enjeux sanitaires sont multiples lors de rassemblements tels que les 24 Heures auto du Mans et le GP de France moto. L'accès aux sanitaires, à l'eau potable, la protection contre le bruit, l'alcool, l'alimentation, etc. sont autant de points à surveiller. Beaucoup de moyens techniques, réglementaires et humains existent pour prévenir tous ces risques mais concernant l'exposition du public au bruit, on se rend compte que beaucoup de choses restent à faire (sensibilisation, prévention, information).

Risque accepté

Plusieurs témoignages de spectateurs renvoient à cette notion de risque accepté : « Nous, on vient aux 24 Heures du Mans pour en prendre plein les oreilles » ; « Les courses de motos du Mans sont réputées pour ça ! ».

Ces passionnés viennent admirer les compétiteurs, leurs machines et également le bruit qu'elles émettent. Le bruit des moteurs est donc un facteur extrêmement important. Les modèles de motos ou de voitures qui circulent sur le circuit sont très différents. Ils peuvent se différencier à l'écoute du moteur. Durant les 24 H auto, les moteurs des Peugeot 908 et des Audi R15 et R10 de la catégorie LMP1 sortaient très nettement du lot. Elles étaient équipées de moteurs diesel qui émettent beaucoup moins de bruit que les moteurs à essence. Dans la catégorie GT1, on pouvait également distinguer une Corvette, d'une Porsche ou d'une Ferrari en fonction du bruit qu'elles émettaient. Ceci explique en partie pourquoi les passionnés qui assistent à cette course, aiment tant écouter le bruit des véhicules. La notion de risque accepté est donc réelle pour une frange non négligeable des spectateurs.

Public sensible

Certaines personnes se disent « insensibles » au bruit et choisissent d'y être exposées. Mais d'autres plus fragiles n'ont pas choisies de l'être ou ne sont pas conscientes du risque encouru. On pense aux enfants (surtout les plus jeunes), aux femmes enceintes, aux personnes en état de fatigue, à celles qui ont des antécédents ORL et à celles qui ont des implants cardiaques (INRS, 2006 ; WHO, 1999, WHO, 2004).

1.1.4 Institutions impliquées

Ces courses automobiles représentent un enjeu économique pour l'Automobile Club de l'Ouest (ACO), la ville du Mans et les communes associées au Mans pour la course des 24 H auto : Arnage, Mulsanne, Moncé-en-Belin, Laigné-en-Belin, Saint-Gervais-en-Belin et Ruaudin. L'ACO est l'exploitant du circuit des 24 Heures et gère la promotion et l'organisation des compétitions qui s'y déroulent. Il s'agit donc d'un interlocuteur essentiel. La Commission Nationale d'Examen des Circuits de Vitesse (CNECV), la DDASS 72, la Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture (DDEA), le Service Santé-Environnement de la ville du Mans, la préfecture de la Sarthe, les maires des différentes villes participant à ces courses, la Direction Départementale de la Jeunesse et des Sports, la gendarmerie, les pompiers, les services de Police, les services de secours (Croix Rouge, etc.) sont également engagés dans ces manifestations.

La DDASS en tant que service technique du préfet, intervient sur les aspects sanitaires des manifestations (bruit, eau potable, alimentation, déchets, blocs sanitaires fixes et mobiles, légionelles, etc.).

1.2 Enjeux réglementaires

1.2.1 Quelle base réglementaire utiliser?

Aujourd'hui en France, il n'existe aucune réglementation nationale protégeant l'audition du public qui assiste aux courses automobiles. Les autres textes dédiés au bruit se focalisent sur le bruit environnemental de voisinage (Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables, 2007 ; Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 2000) ou alors sur le bruit au travail (Canetto P. & Guillemy N., 2007). Il est donc très difficile de trouver des valeurs réglementaires de gestion qui permettent de protéger la population. Le gestionnaire est obligé de se tourner vers la réglementation au travail ou celle des lieux musicaux diffusant de la musique amplifiée. Ces réglementations, à défaut d'être parfaites, sont les seules qui permettent de faire une analogie avec le scénario d'exposition que l'on retrouve sur les circuits automobiles en termes de niveau sonore et de durée. La réglementation au travail est beaucoup plus préventive sur les risques auditifs par rapport à la réglementation sur les activités de loisirs.

2 But de l'étude

Etant donné le manque d'informations concrètes sur les niveaux sonores auxquels sont exposés les spectateurs, il a été décidé de réaliser une évaluation du niveau de bruit auquel sont exposés les spectateurs au bord de la piste pendant les courses du Grand Prix moto de France et des 24 Heures moto, afin de caractériser l'exposition et le risque pour le public.

Cette étude est nécessaire au vu des éléments cités ci-dessus : nombre de personnes potentiellement exposées, manque d'information en général sur les risques auditifs liés aux circuits automobiles et besoin d'aide à la décision.

3 Méthodologie

Aucun cadre normatif, réglementaire et scientifique n'existe sur ce sujet. L'étude s'est donc contentée dans un premier temps de réaliser une évaluation de l'exposition et de la comparer à d'autres activités beaucoup mieux encadrées pour constituer un document d'aide à la décision. Ce n'est en aucun cas une évaluation des risques sanitaires (ERS) car aucune relation dose/réponse n'est clairement établie aujourd'hui pour des expositions intenses de courte durée dans la population générale.

3.1 Objectifs opérationnels et phasage

Pour réaliser cette étude, des objectifs opérationnels ont été définis suivant quatre grandes phases : acquisition de données, traitement des données, interprétation des données, propositions. Ils se déclinent dans cet ordre chronologique :

- Contacter des interlocuteurs spécialistes du bruit et de leurs effets sanitaires,
- Réaliser une revue bibliographique sur les effets auditifs du bruit,
- Réaliser un tour d'horizon de la réglementation en vigueur (réglementation du travail comprise),
- Réaliser des mesures de bruit à différents endroits du circuit, avec les différentes catégories de véhicules (cylindrées, moto, auto, etc.),
- Utiliser du matériel de mesure adapté,
- Cartographier les zones autour du circuit accessibles au public avec les niveaux de bruit correspondants,
- Trouver des points de comparaison entre les courses automobiles et d'autres événements similaires en termes d'exposition,
- Emettre des recommandations pour élaborer une stratégie de prévention et d'information efficace (en termes de lieux et de personnes).

Le calendrier du stage reprend ces objectifs opérationnels (annexe 4). Les dates des manifestations sportives étant fixes (annexe 5 et 6), elles ont donné le calendrier général

à respecter. La date de début de stage a été avancée au 14 mai 2009 pour permettre d'assister au Grand Prix de France moto. Des mises au point hebdomadaires ont eu lieu avec le maître de stage.

3.2 Les professionnels contactés

La liste est consultable en annexe 7.

3.3 Moyens

3.3.1 Mesures acoustiques existantes

Frédéric Coutier était déjà en stage à la DDASS de la Sarthe depuis le début du mois d'avril. Il suivait sa 2^{ème} année de DEUST d'acoustique à l'université du Maine au Mans durant cette période. Il a réalisé quelques mesures pendant les 24 Heures moto du mois d'avril 2009 (Coutier, 2009). D'autres mesures effectuées l'année précédente par 2 autres stagiaires de la même formation étaient déjà disponibles (Ménard, 2008 ; Leleu, 2008). Toutes ces mesures ont constitué un point de départ pour mettre en place le plan d'échantillonnage de cette étude.

3.3.2 Nombre de préleveurs

Nous étions 2 à 3 préleveurs pour réaliser les campagnes de mesure lors du GP de France moto et des 24 H auto.

3.3.3 Appareillage de mesure

Grand Prix de France moto

Trois appareils de mesure ont été utilisés :

- Un sonomètre 01dB modèle SIP 95 de classe 1, possédant à la fois la fonction de sonomètre classique et de sonomètre intégrateur-moyenneur,
- Un dosimètre exposimètre de classe 2 (appartenant au SSE de la Ville du Mans), possédant à la fois la fonction de sonomètre classique et de sonomètre intégrateur-moyenneur mais seulement sur une période d'une minute,
- Un sonomètre 01dB modèle blue solo de classe 1 (appartenant à la DDASS 49) qui possède à la fois la fonction de sonomètre classique, de sonomètre intégrateur-moyenneur avec analyse fréquentielle.

Pour pouvoir exploiter les niveaux équivalents enregistrés par le dosimètre (L_{Aeq}) et les niveaux de pression acoustique de crête (L_{pc}), nous avons réalisé des comparaisons de mesurage avec le SIP 95. En moyennant les mesures enregistrées par le dosimètre sur 20 minutes (environ 6 mesures prises sur cet intervalle), on obtenait des L_{Aeq} et des L_{pc} similaires à ce qu'enregistrait le SIP 95 au même endroit pendant 20 minutes. Les mesures que nous avons effectuées avec le dosimètre ont pu être validées.

24 Heures auto

Pour les 24 Heures du Mans auto, le dosimètre a été remplacé par un sonomètre de type solo de classe 1. Ce dernier, qui appartient également au SSE de la ville du Mans, est beaucoup plus performant et pratique. Nous disposons donc de 3 appareils pour nos mesures : un sonomètre 01dB modèle SIP 95 de classe 1, un sonomètre 01dB modèle blue solo de classe 1 et un sonomètre 01dB modèle solo de classe 1

3.3.4 Echantillonnage

Aucune norme existante ne permet de cadrer ce genre de manifestation. Il a été décidé que la NF S 31-010 sur la caractérisation et le mesurage des bruits de l'environnement, même imparfaite, était celle qui répondait le mieux à notre cas d'étude. Nous l'avons donc suivie pour respecter un cadre normatif.

3.3.5 Choix des points de mesure

Etant limités par le nombre de préleveurs disponibles (2 voir 3 au maximum), et le nombre d'appareils (également 2 ou 3), il a fallu multiplier les mesures afin de déterminer les zones représentatives de l'exposition.

Les critères d'inclusion des points de mesure à effectuer étaient les suivants :

- Emplacements accessibles au public et au préleveur même au pic d'affluence
- Emplacements où il y a du public au plus près de la piste

3.3.6 Choix du temps de mesure

D'après la norme NF S 31-010 et selon la méthode dite « de contrôle », il est nécessaire de réaliser des mesures dont la durée cumulée des intervalles de mesurage ne doit pas être inférieure à 30 min. Une recommandation écrite dans le fascicule de l'OMS intitulé la « mesure acoustique » datant de 2000 indique que pour une exposition de 24 H, il faut au minimum une mesure d'une heure. Cette recommandation vise à réduire les biais de mesure dus aux variations temporelles du bruit.

Notre objectif était de réaliser un maximum de mesures. Nous avons donc opté pour des mesures d'une durée minimale de 10 minutes qui se sont réparties dans l'espace (tout autour du circuit) et dans le temps. Certaines mesures ont largement dépassé cette durée minimale. Ces dernières ont été étalées sur l'ensemble des journées de compétition (essais compris) afin de multiplier les enregistrements et effectuer des tests de mesure en fonction de la distance par rapport à la piste et aux endroits représentatifs (en terme de niveau sonore et d'affluence).

3.3.7 Conditions météorologiques

Selon la norme NF S 31-010, si la distance source/récepteur est inférieure à 40 m, il faut vérifier que la vitesse du vent est faible et qu'il n'y a pas de pluie marquée. Il y a

effectivement eu de la pluie et du vent lors des compétitions mais pas de manière marquée. De plus, vu les niveaux mesurés et la distance entre les sources mesurées et les sonomètres, on peut également estimer que le vent n'a pas eu d'influence sur nos mesures. Cependant, quand nous estimions que les conditions météorologiques étaient défavorables, nous avons installé les boules anti-vent et anti-pluie qui étaient fournies avec les sonomètres pour nos mesures.

A noter que la pluie a tout de même eu un effet sur les niveaux de bruit : les pilotes roulaient moins vite et les niveaux émis étaient plus faibles.

3.3.8 Bruit enregistré

Le bruit ambiant global a été enregistré. La source principale provenait des véhicules. Les sources secondaires correspondaient aux haut-parleurs, aux cris et dialogues du public, aux sirènes du public, à la sirène du stand, à la musique du village dans l'enceinte du circuit, etc.

3.3.9 Logiciel

Les données enregistrées pendant les courses ont été extraites et dépouillées avec le logiciel dBTrait de 01dB.

4 Résultats

4.1 Éléments d'acoustique

Pour la compréhension des résultats, certains éléments d'acoustique doivent être maîtrisés. Une fiche bruit en annexe 8 apporte une aide au lecteur novice dans ce domaine.

4.2 Effets auditifs du bruit

Les impacts sanitaires liés au bruit sont de trois ordres (AFFSET, 2007) : impacts sur l'audition, effets extra auditifs (sommeil, sphère végétative, système endocrinien, système immunitaire, santé mentale) et les effets subjectifs (gêne, effets sur les attitudes, les comportements, les performances et l'intelligibilité de la parole). Pour notre cas d'exposition, seuls les effets auditifs sont pertinents et décrits.

4.2.1 Exposition de longue durée

Surdité

L'exposition prolongée à des niveaux de bruits intenses détruit les cellules ciliées de l'oreille interne (INRS, 2008). Elle conduit progressivement à une surdité de perception qui est irréversible. Celle-ci se décompose en 3 stades (CAREPS et DRASS IdF, 2005) : la surdité légère (fréquences de la parole peu touchées), la surdité moyenne (fréquences aiguës de la conversation touchées) et la surdité profonde et irréversible. L'exposition à certains solvants, dits ototoxiques, peut amplifier ce phénomène (INRS 2008).

Norme ISO 1999 : 1990 et NF S 31-013

Les normes ISO 1999 : 1990 et NF S 31-013 contiennent en annexe des tableaux qui répertorient la perte auditive en fonction du niveau sonore et de la durée d'exposition. Ces données ont été obtenues à partir d'enquêtes menées dans différents pays du monde. Une étude de Damongeot (1980), reprend ces données pour indiquer le risque auditif exprimé en termes de pourcentage d'une population présentant une atteinte auditive (annexe 9), ce qui correspond pour un individu donné, à la probabilité de souffrir de cette atteinte.

Bien que les bases scientifiques qui ont permis la réalisation de ce tableau datent de 1980, il n'est acté que depuis 1985, les nouvelles études épidémiologiques dans le monde du travail ne remettent pas en cause ces résultats (Tiéry, 2004a). Ces valeurs sont à l'origine de la directive « bruit » européenne 2003/10/CE qui a été transposée en droit français par le décret 2006-892 du 9 juillet 2006 modifiant le Code du travail et l'arrêté du 19 juillet 2006. De cette norme ISO 1999 : 1990 découlent les valeurs de gestion

réglementaires que l'on connaît aujourd'hui dans le monde du travail (INRS, 2006). Ceci est clairement indiqué dans la directive 2003/10/CE à l'article 2.c.

Ces atteintes auditives décrites dans la norme, sont également différenciées par fréquences. Il est admis aujourd'hui que les fréquences qui sont touchés en premier sont celles autour de 4 kHz. Ce sont d'ailleurs elles qui sont dépistées en routine lors des audiogrammes. Cependant, les fréquences de 3 000 et 6 000 Hz sont également très fragiles (AFFSET, 2004). Parfois, un audiogramme ne détecte pas de perte aux fréquences de routine alors qu'à ces fréquences, elles sont significatives (Entretien avec Maryse Morice).

4.2.2 Exposition de courte durée

Perte auditive temporaire et permanente

A la suite d'une exposition à un bruit intense, on peut souffrir temporairement de sifflements d'oreilles ou de bourdonnements (acouphènes ou *tinnitus*) ainsi que d'une baisse de l'acuité auditive (INRS, 2008 ; Mouret & Vallet, 1998, Camard J.-P., 2005 ; WHO, 2004). Ces signes peuvent constituer un premier symptôme de perte d'audition suite à une exposition sonore (Echo Bruit, 2007 ; Greenfacts, 2008). Certains sons peuvent également paraître distordus. On parle alors de paracousie (WHO, 2004). Les dégradations de l'audition se situent en particulier au niveau du haut médium et de l'aigu (Mouret & Vallet, 1998). Cette fatigue auditive demande quelques semaines sans surexposition au bruit pour disparaître (INRS, 2008).

Dans le document rédigé par Mouret & Vallet en 1998, intitulé « les effets du bruit sur la santé », apparaissent très clairement des données chiffrées sur les pertes auditives associées à des niveaux de bruit et des temps d'exposition. Ces valeurs sont le fruit d'un travail bibliographique réalisé par Loth en 1994. Il indique que :

- une exposition à 88 dB (A) pendant 100 minutes, provoque des pertes auditives temporaires (Temporary Treshold Shift : TTS) de 8 dB à 4 kHz,
- une exposition de 100 dB (A) pendant 2 heures, induit des TTS de 15 dB,
- une exposition de 100 à 120 dB (concert de rock), entraîne des TTS de 15 dB.

Cette étude conclut même à un risque potentiel d'atteinte permanente (Permanent Treshold Shift : PTS) à ces niveaux. Les auteurs indiquent également que les variations de sensibilité au bruit rendent malheureusement difficiles la fixation de normes universelles qui simplifieraient la tâche des gestionnaires du bruit.

L'OMS indique que l'oreille adulte peut supporter un niveau sonore occasionnel de 140 dB mais pour l'enfant, ce niveau ne devrait jamais dépasser les 120 dB (OMS, 2001). L'AFSSET indique quant à elle qu'à 120 dB, les tympans et l'oreille interne peuvent subir des lésions importantes (AFFSET, 2007 et 2008; NIDCD, 2008).

Yaremchuk *et al.* (1997), estiment qu'une exposition à des niveaux supérieurs à 115 dB peut entraîner des effets sur l'audition à n'importe quelle durée d'exposition.

Surdité

Un bruit soudain très intense, par exemple lors d'une explosion, peut entraîner une surdité brutale, totale ou partielle, réversible ou non. L'effet de souffle (ou de blast) peut en effet entraîner une déchirure du tympan, mais aussi des lésions des os et la destruction des cellules de la cochlée.

Bruit impulsionnels

Les bruits impulsionnels tels que définis par la norme NF S 31-013 (annexe 8), accentuent les effets auditifs du bruit (Tiéry, 1990). Cependant on ne connaît pas exactement de combien le risque est majoré et il n'existe pas non plus de relation dose/effet pour les bruits impulsionnels (Entretien téléphonique avec Léon Tiéry).

Le niveau maximum critique à ne pas dépasser est de 140 dB. Il est considéré que des individus sensibles peuvent avoir des lésions s'ils sont exposés 1 minute à 130 dB ou 10 secondes à 135 dB ou 2 secondes à 140 dB. Le spectre du bruit est aussi un facteur très important. Les très basses fréquences sont considérées comme moins dommageables pour l'audition que les énergies concentrées autour de 3 kHz (WHO, 2004).

4.2.3 Variabilité individuelle

L'apparition de traumatisme sonore auditif (TSA) est multifactorielle (AFFSET, 2004). L'âge, le sexe, certains facteurs génétiques et anatomiques, les fatigues passagères, les sensibilités individuelles, etc. sont autant de paramètres intrinsèques à un individu qui jouent un rôle dans un traumatisme sonore auditif (CAREPS et DRASS IdF, 2005). On sait, par exemple, que certaines personnes sont dépourvues de muscle stapédien (entretien avec Maryse Morice). L'activation réflexe de ce muscle entraîne le déplacement de la tête de l'étrier vers l'arrière qui diminue la tension s'exerçant sur le tympan afin de protéger ce dernier contre les bruits intenses (AFFSET, 2004). Son action est étudiée par le réflexe stapédien. Quand il se déclenche, toute augmentation à de fortes intensités (environ 120 à 130 dB) du son perçu est atténuée pour protéger l'oreille interne. Cependant, comme tous les muscles, le *stapedius* se fatigue. Le système neurosensoriel qui le met en œuvre a également un temps de réponse. Lors d'un bruit impulsionnel (explosion, claquement de porte) l'oreille n'est pas protégée. Ainsi, il est bon de se boucher les oreilles lorsque l'on pressent qu'il va y avoir un bruit élevé.

De plus, une même personne soumise au même bruit peut avoir une réaction différente (Entretien avec Corine Franquelin). On rencontre d'ailleurs très souvent des échelles de bruit où un seuil de douleur est défini. Ces seuils de douleur restent des valeurs

indicatives moyennes qui ne reflètent pas la sensation de douleur réelle de chaque individu. On devine facilement que ce seul varie en fonction de l'âge de la personne et de son état physiologique.

C'est dire la difficulté pour déterminer avec certitude un seuil d'apparition d'un TSA et une relation dose/réponse pour une exposition intense de très courte durée.

4.2.4 Etudes des circuits automobiles

Les expositions sonores considérées comme les plus délétères aujourd'hui sont les concerts de rock, les discothèques et les baladeurs (Le concours médical, 2008b). Cela explique peut être pourquoi il n'existe que très peu de documents écrits spécifiques aux circuits automobiles. Quelques études trouvées dans la littérature ou grâce aux contacts noués avec des professionnels font référence aux risques auditifs sur les circuits automobiles. Une étude de Lindermann et Brusis (1985), s'intéresse aux employés et aux pilotes de voiture. Les niveaux enregistrés dans l'habitacle des voitures, avoisinait les 125 dB (A) et les 130 dB (A) à l'extérieur de l'habitacle. Onze employés des stands et dix-huit pilotes ont participé à cette étude qui conclut que les employés et pilotaient des pertes significatives d'audition. La conclusion de cette étude indique malgré tout qu'il n'y a pas de risque significatif de surdité pour ce groupe de personnes. Le temps d'exposition relativement faible selon les auteurs (entre 150 et 180 heures par an) et le port régulier de protections auditives, les protégeraient efficacement.

Une autre étude sur les courses de stock cars (Rose *et al.*, 2008), conclut qu'elles peuvent induire des pertes auditives temporaires. Les niveaux enregistrés pendant ces courses étaient de 96.5 à 104 dB (A) à 46 mètres de la piste et de 99 à 109 dB (A) à 6 mètres de la piste. Le pic du niveau de pression à 6 mètres était de 109 dB (A).

Les auteurs recommandent donc de porter des protections auditives, surtout pour les personnels exposés sur de plus longues périodes. Ils concluent également que les spectateurs occasionnels de ce genre de courses ne peuvent pas développer de perte auditive permanente.

Une étude sur le circuit de Formule 1 de Bahrain (Alnaser *et al.*, 2006) indique que les niveaux bruit variaient de 128 dB (A) au niveau du balcon des VIP à 80 dB (A) dans les loges VIP. A 100 mètres de la piste en extérieur, ce niveau est de 118 dB (A) et à 50 mètres de la piste, il passe à 126 dB (A). L'étude conclut également à la nécessité du port de protections auditives pour les employés de bord de piste, les pilotes et les fans.

Une autre étude fournie par la DDASS de la Nièvre concerne le circuit de Magny Cours (DDASS de la Nièvre, 2005). Au passage d'une voiture, le niveau sonore montait à 121 dB (A). Le bruit de fond mesuré durant la course était de 80 dB (A). Ce niveau de fond est d'ailleurs estimé comme trop élevé pour permettre le repos des cellules de l'oreille interne. Cette étude conclut que les intensités sonores élevées mesurées pouvaient être

de nature à produire des effets sur l'audition des personnes exposées. Le port généralisé de protections auditives est préconisé.

Un travail de synthèse réalisé par le bureau d'étude Azimut Monitoring en collaboration avec Bruitparif (2009), fait un état des lieux des bruits générés par différentes manifestations automobiles. L'inconvénient du tableau qu'elle contient, est le manque d'informations concernant les stations de mesure utilisées et les périodes de mesure retenues. On se retrouve ainsi avec des niveaux de bruit pour le Grand Prix de France moto inférieurs au niveau de bruit des 24 Heures autos. Comme on le verra dans les résultats de cette étude, ces chiffres ne reflètent pas la réalité d'exposition à laquelle nous avons été confrontés lors de nos mesures. Cependant, cette synthèse conclut que les courses automobiles sont souvent problématiques vis-à-vis des impacts sanitaires pour les travailleurs et les visiteurs sur le site.

Concernant les travailleurs sur le circuit Bugatti, une étude réalisée par Santé au Travail 72 datant de 2006 et portant sur les mécaniciens lors des 24 H moto, indique que le seuil de danger défini dans la réglementation au travail de 85 dB (A) et le seuil de pression crête de 135 dB (C) sont dépassés pour les mécaniciens en bord de piste. La mesure a été prise pendant environ 6 heures à l'aide d'un exposimètre et d'un sonomètre. Cette étude conclut donc à un risque important pour l'intégrité des oreilles des opérateurs à ce poste à court terme.

4.2.5 Autres études intéressantes

Une étude sur l'exposition au bruit lors des shows aériens (Pääkkönen et al., 2002) se focalise sur les doses de bruit pour les spectateurs. Les niveaux maximum vont de 100 à 115 dB (A). Les auteurs concluent que les pressions sonores élevées et instantanées peuvent causer des pertes auditives temporaires et des acouphènes. Ils recommandent ainsi de mettre à disposition des protections auditives pour les personnes sensibles au bruit pendant les shows aériens.

D'autre part, le SSE d'Indre et Loire a également commandité une étude d'impact sanitaire à Néodyme (2005) concernant la manifestation « Tractosaures Indoor ». Le principe de cette course est de traîner une remorque lestée sur une piste en terre battue d'une longueur de 60 m. Ce sont des pick-up aux moteurs sur-vitaminés qui sont utilisés pour ces courses. Les temps d'exposition sont très courts mais les niveaux sonores sont intenses de l'ordre de 121 dB (A) à 10 mètres de la piste à 101 dB (A) à 67 mètres de la piste. Les auteurs de cette étude préconisent également le port de protections auditives pour les spectateurs car selon eux, une exposition sans protection provoquerait des lésions probablement irréversibles.

Enfin, une étude de Bess et Poyner repertoriée dans l'article de Yaremchuck *et al.* (1997), indique que 17 sujets (12 conducteurs et 5 passagers) exposés pendant 2 heures aux

bruits des motos-neige présentait des TTS. Les niveaux sonores mesurés variaient de 105 à 136 dB (A).

4.3 Evaluation de l'exposition

L'ensemble des données concernant les mesures (heure de mesure, temps de mesure, lieu de mesure, L_{eqA} , L_{min} , L_{max} , L_{pc}) réalisées pour les 2 courses sont consultables en annexe 10 et 11.

4.3.1 Grand Prix de France moto

Durée totale des mesures

La durée totale des mesures enregistrées est d'environ 9 heures et 20 minutes sur l'ensemble des 3 jours pour les 3 catégories confondues. Ce total englobe toutes les mesures effectuées tout autour du circuit. En séparant chaque catégorie, on obtient 2 h 40 min de mesures pour les 125cc, 3 h de mesures pour les 250cc et 3 h 50 min de mesures pour les motos GP. Si on regarde de plus près le programme de cette course, on peut voir que chacune des catégories circulait en moyenne 4 heures sur le circuit pendant ces 3 jours. Au total, 11 lieux de mesure différents ont été choisis pour essayer de couvrir au mieux le circuit Bugatti. Les courbes en annexe 12, 13, 14 et 15 synthétisent les niveaux de bruit mesurés.

Niveaux sonores moyens en L_{Aeq}

Les 3 catégories de motos qui ont circulé sur le circuit apparaissent sur ces courbes. En jaune, on distingue les motos GP qui présentent des niveaux sonores moyens supérieurs aux autres catégories d'environ 2 à 7 dB (A) en fonction des points considérés. Dans la partie du circuit correspondant aux stands, les niveaux moyens enregistrés cette année dépassent les 105 dB (A). Ensuite, on retrouve des niveaux entre 100 et 105 dB (A) sur la fin de la ligne droite des stands et au niveau de la ligne droite du Chemin aux Bœufs. On peut admettre que le bâti environnant dans le début de la ligne droite joue un rôle dans la réverbération du son ce qui induit très probablement les niveaux plus élevés. De plus, le public est environ à 15 mètres de la piste en début de ligne droite. Cette distance s'accroît en fin de ligne droite et au niveau du Chemin aux Bœufs ; ce qui peut également expliquer cette différence de niveau.

Concernant les 125cc et les 250cc, on ne distingue pas, dans l'ensemble, de différence de niveau. Il ne dépasse pas les 100 dB (A) en moyenne. Et les niveaux toutes catégories et points de mesures confondus ne descendent jamais en dessous des 85 dB (A).

Niveaux de pression acoustique de crête en dB (C)

Le SIP 95 était configuré de manière à enregistrer les niveaux dépassant les 120 dB (C). Etant donné que les 125cc et les 250cc dépassaient rarement ce seuil, nous avons enregistré beaucoup moins de valeurs qu'avec le blue solo. Cela explique la disparité de l'information pour des mêmes points de mesure. On peut en déduire que pour les points manquants, les niveaux de pression acoustique de crête sont inférieurs à 120 dB (C). Concernant les motos GP, on constate que les 130 dB(C) sont dépassés quasiment à tous les endroits accessibles au public.

4.3.2 24 Heures du Mans auto

Durée totale des mesures

La durée totale des mesures est d'environ 17 heures sur l'ensemble de la compétition. Les voitures ont circulé 35 heures au total pendant les 5 jours de compétition. Vingt six lieux de mesure ont été choisis pour caractériser au mieux l'exposition au bruit sur le circuit des 24 H du Mans auto.

Niveaux sonores moyens en L_{Aeq}

Les L_{Aeq} les plus élevés ont été enregistrés au niveau de la ligne droite des stands, à la sortie du virage de Mulsanne et de la ligne droite d'Indianapolis. A ces endroits, les L_{Aeq} sont supérieurs à 100 dB (A). Les niveaux les plus faibles enregistrés sont retrouvés au niveau du virage de la Chapelle. En tout point du circuit, les niveaux semblent ne jamais descendre en dessous des 87 dB(A).

Niveaux de pression acoustique de crête en dB (C)

Les niveaux les plus élevés ont également été enregistrés à ces endroits avec un seuil de 130 dB (C) voire 135 dB (C) régulièrement dépassé. Pour le virage de Mulsanne, le niveau n'est pas indiqué car le solo qui a servi à la mesure n'était pas bien paramétré. On peut tout de même supposer que la pression acoustique de crête dépassait très probablement les 135 dB (C) car il s'agissait du point le plus bruyant lors de nos mesures. On constate, par ailleurs, que les niveaux crête ne descendent pas en dessous des 125 dB(C).

4.3.3 Cartographie du bruit des lieux accessibles au public

Les cartographies du bruit des circuits du GP de France moto et des 24 H auto sont consultables en annexe 1 et 2. Sur ces cartes, on peut lire les niveaux sonores moyens en L_{Aeq} (moyenne arithmétique) et maximum en L_{pc} enregistrés sur la totalité des 2 compétitions. Etant donné que ces niveaux mesurés sont indicatifs, ils sont arrondis à la demi décimale pour simplifier la lecture d'autant plus que la perception au niveau de l'oreille se fait entre 2 et 3 dB (Entretien avec Gilles Barbier).

Il s'agit d'une synthèse très visuelle des niveaux mesurés. Pour aller dans le détail, il est préférable de se référer aux tableaux des annexes 10 et 11 où est répertorié l'ensemble des mesures.

4.4 Caractérisation des risques

4.4.1 Pratiques actuelles

Aucune fiche « toxicologique » sur le bruit n'établit une relation dose/réponse pour ce genre d'exposition. Le seul moyen pour le gestionnaire de gérer ce manque est d'utiliser les seuils établis dans la réglementation.

4.4.2 Réglementation nationale sur les manifestations sportives automobiles

La réglementation est pauvre concernant le bruit des véhicules pendant les épreuves automobiles sportives. Seuls 2 textes portent sur les manifestations automobiles sportives (Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire et Ministère de la Jeunesse, des Sports et de la Vie Associative, 2006) : le décret n° 2006-554 du 16 mai 2006 et l'arrêté du 7 août 2006 pris pour l'application des articles 5, 7 et 14 du décret n° 2006-554 du 16 mai 2006 relatif aux concentrations et manifestations organisées sur les voies ouvertes ou dans les lieux non ouverts à la circulation publique et comportant la participation de véhicules terrestres à moteur. L'exposition des spectateurs et leur protection auditive ne sont pas évoquées.

4.4.3 Décision du Conseil d'Etat

Le Conseil d'Etat a décidé que seules les fédérations sportives sont habilitées à définir les contraintes et règles nécessaires à l'homologation des activités sur les circuits (décision du 11/01/2008). Ceci inclut le bruit émis par les véhicules autorisés à circuler sur la piste. Dans le règlement de la Fédération Internationale Automobile (FIA) des véhicules de Grand Tourisme (GT) de 2009, il est indiqué au chapitre 5.7.5 que « le bruit émis par la voiture ne doit pas dépasser 112 dB (A) pendant les essais qualificatifs et la course. La mesure sera effectuée à 15 mètres du bord de la piste ». Il s'agit du niveau mesuré lors de tests dynamiques, c'est-à-dire en situation de course (Kaiser & Embrechts, 2007). La réglementation de la Fédération Française de Sports Automobiles (FFSA) respecte également ce seuil.

Une méthode de contrôle à la source (dite « statique ») existe également. Pour un contrôle de véhicule standard, le niveau sonore max est de 100 dB à 75 % du régime max. Pour les GT1 et GT2, ce niveau passe à 110 dB à 3 800 tours par minute. Il est mesuré à 50 cm de l'échappement selon un angle de 45°. Pour les motos, le niveau sonore à ne pas dépasser est de 102 dB pour les 125cc et les 250cc à 7 000 tours par minute et 102 dB pour les 800cc à 5 000 tours par minutes pour des 2 cylindres et 5500

tours par minute pour des 4 cylindres. Ce niveau est également mesuré à 50 cm de l'échappement selon un angle de 45°. Si un concurrent ne respecte pas les seuils de bruit indiqués dans les règlements des différentes fédérations, il peut être disqualifié par un commissaire de course.

On peut remarquer qu'il n'y a pas de prise en compte du nombre total de véhicules qui circulent sur le circuit. La seule limitation du nombre est liée à des contraintes de sécurité de fonctionnement. On constate également très souvent des niveaux bien supérieurs en condition de course. Cela s'explique par les technologies mises en jeu à très forts régimes, ce qui n'est pas le cas lors des tests de contrôle (Azimut Monitoring et Bruitparif, 2009).

4.4.4 Règlement ACO

Concernant les voitures engagées aux 24 H auto, l'ACO respecte la valeur de la réglementation de la FIA indiquée ci-dessus. Ainsi pour les voitures des 24 H, on peut lire dans le règlement de l'ACO au chapitre 5.5.1 du règlement que « le bruit émis par chaque voiture ne devra pas dépasser 112 dB (A) pendant les essais qualificatifs et la course. La mesure sera effectuée à 15 mètres du bord de la piste ». Et concernant les voitures LM GT1 et LM GT2, on peut lire exactement les mêmes prescriptions ; ce qui revient à ce que la FIA impose.

4.4.5 Autres textes réglementaires pertinents

Réglementation européenne prenant en compte la protection auditive

La directive européenne 2003/10/CE (appelée « directive bruit ») prend en compte explicitement la protection auditive des personnes en indiquant des niveaux acoustiques à respecter qui sont repris dans la réglementation nationale. Dernièrement, la décision de la Commission européenne du 23 juin 2009 indique que, d'après l'avis du Comité Scientifique des Risques Sanitaires Emergents et Nouveaux (CSRSEN), le temps d'exposition au bruit des baladeurs à un niveau sonore de 80 dB (A) est limité à 40 heures par semaine. Pour un niveau sonore de 89 dB (A), le temps d'exposition est limité à 5 heures par semaine. Ceci constitue une nouveauté importante dans la réglementation pour le public car le temps d'exposition associé à un niveau sonore est clairement indiqué.

Réglementation française prenant en compte la protection auditive du public

En règle générale, la réglementation qui vise le grand public est axée sur les effets non auditifs ou subjectifs (le stress, la gêne, le trouble du sommeil) et donc essentiellement les bruits de voisinage dans leur ensemble. Seuls les textes de lois suivants comportent une limite de puissance sonore qui cible la protection auditive du public :

- Article L.5232-1 du Code la Santé Publique : « Les baladeurs musicaux vendus sur le marché français ne peuvent excéder une puissance sonore maximale de sortie correspondant à une pression acoustique de 100 décibels S.P.L. Ils doivent porter un message de caractère sanitaire précisant que, à pleine puissance, l'écoute prolongée du baladeur peut endommager l'oreille de l'utilisateur. »
- Décret n° 98-1143 du 15 décembre 1998 : « En aucun endroit, accessible au public, de ces établissements ou locaux, le niveau de pression acoustique ne doit dépasser 105 dB (A) en niveau moyen et 120 dB en niveau de crête, dans les conditions de mesurage prévues par arrêté ». Ces valeurs sont reprises dans le Code de l'Environnement à l'article R-571-26.
- Arrêté du 15 décembre : « Le niveau de pression acoustique moyen admissible en tout point accessible au public..., est exprimé en niveau continu équivalent pondéré A, selon la définition qui en est donnée par la norme NF S 31-010 relative à la caractérisation et au mesurage des bruits de l'environnement ».

Les salles réservées à l'enseignement de la musique, de la danse, les concerts en plein air, les locaux de répétition et les salles de cinéma ne sont pas inclus dans la réglementation sur les établissements diffusant de la musique amplifiée à titre habituel (le concours médical, 2008a).

La réglementation au travail

La définition des paramètres quantifiant l'exposition sonore au travail est renvoyée à la norme ISO 1999 :1990 (INERIS, 2006 ; Dobie, 2008). L'exposition quotidienne $L_{ex, 8 h}$ exprimée en dB (A) représente la « dose journalière » de bruit reçu. La pression acoustique de crête exprimée L_{pc} caractérise les niveaux impulsionnels de bruit. Ces 2 paramètres sont ainsi confrontés à des seuils dont la nature est très différente.

Tableau 1: Seuils d'action dans la réglementation du bruit au travail

Seuils	Paramètres	Ancienne réglementation (1988)	Nouvelle réglementation (2006)
Valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (VAI)	Exposition moyenne (Lex,8h)	85 dB (A)	80 dB (A)
	Niveau de crête (Lpc)	135 dB	135 dB (C)
Valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS)	Exposition moyenne (Lex,8h)	90 dB (A)	85 dB (A)
	Niveau de crête (Lpc)	140 dB	137 dB (C)
Valeur limite d'exposition (VLE)	Exposition moyenne (Lex,8h)	Aucune	87 dB (A)
	Niveau de crête (Lpc)	Aucune	140 dB (C)

Le rapport du CSRSEN (ou SCENIHR) sur lequel se base la décision de la Commission Européenne du 23 juin 2009 souligne qu'il est possible d'utiliser les relations établies en santé travail pour des activités de loisirs. Ce constat est justifié par la règle d'égalité d'énergie suivante : la quantité d'énergie absorbée par l'oreille est physiquement le produit de l'intensité sonore par la durée d'exposition (Peters, 2009). Ainsi, une augmentation du

niveau sonore de 3 dB (A) conduit à une diminution de la durée d'exposition de moitié. Pour illustrer cette relation, on indique qu'une exposition de 8 heures à 80 dB (A) est équivalente à une exposition de 4 heures à 83 dB (A) (Concours médical, 2008 ; INRS, 2007, Tiéry, 2004 ; Damongeot, 1980, SCENIHR, 2008). Cette relation est valable pour des activités de loisirs mais seulement pour une exposition répétée sur une longue période (SCENIHR, 2008). Ce cas de figure correspond parfaitement à une écoute de baladeurs mais ne convient pas à une exposition de courte durée pendant les courses automobiles ou dans une discothèque. C'est d'ailleurs le problème majeur auquel tous les gestionnaires du bruit sont actuellement confrontés.

Réglementation belge sur les lieux musicaux

En région de Bruxelles-Capitale, l'arrêté royal du 24 février 1977 fixant les normes acoustiques pour la musique dans les établissements publics et privés, et qui concerne la protection du public accédant aux établissements, est toujours en application. Cette norme prévoit que le niveau sonore maximum émis par la musique ne peut dépasser 90 dB (A) à n'importe quel endroit des établissements publics où peuvent accéder les personnes (Echo Bruit, 2007).

Réglementation suisse sur les lieux musicaux

L'ordonnance « son et laser » entrée en vigueur le 1^{er} avril 1996 autorise un niveau moyen de 93 dB (A) par intervalle de 60 minutes. Elle a été révisée le 1^{er} mai 2007.

Le niveau de pression acoustique L_{eqA} mesuré toutes les heures dans la zone accessible au public doit en théorie ne pas dépasser 93 dB (A), mais des valeurs plus importantes de niveau sonore peuvent être autorisées sous certaines conditions (Tiéry, 2004b, Maassen *et al.*, 2009). Les manifestations dont le niveau sonore se situe entre 93 dB (A) et 96 dB (A) ou les manifestations d'une durée inférieure à 3 heures et dont le niveau sonore se situe entre 96 dB (A) et 100 dB (A) doivent (outre l'annonce de la manifestation aux autorités d'exécution) surveiller la valeur limite au moyen d'un sonomètre, informer le public du risque encouru et lui communiquer le niveau sonore maximal de la manifestation et distribuer gratuitement des protections auditives.

Pour les manifestations d'une durée supérieure à 3 heures et dont le niveau sonore se situe entre 96 dB (A) et 100 dB (A), l'organisateur doit, en plus mesurer le niveau sonore au moyen d'un appareil de surveillance électronique pendant toute la durée de la manifestation et s'assurer que le public a, à sa disposition, une zone de récupération auditive dans laquelle les émissions sonores ne doivent pas dépasser le niveau sonore de 85 dB (A).

Une étude réalisée lors d'un festival à Nyon, en Suisse (Mercier *et al.*, 2009), indique que la valeur de 100 dB (A) semble être un bon compromis. Mais les auteurs recommandent le port de bouchons d'oreilles pour ce genre d'événement.

Dans d'autres pays européens comme l'Italie et l'Autriche, la valeur de 93 dB (A) est également réglementée dans les lieux musicaux (Echo Bruit, 2007). La réglementation française est donc beaucoup moins stricte que celle de certains de ces voisins européens sur les lieux musicaux (Kerdudou, 2008, Echo Bruit, 2007).

4.4.6 Comparaison entre les niveaux mesurés et les seuils indiqués dans la littérature scientifique et réglementaire

Etant donné la masse d'informations récoltées durant ces campagnes de mesure, seuls les enregistrements du départ de la course des 24 H auto et du GP de France moto ont été dépouillés (annexe 16 et 17). Pour ces analyses détaillées sont présentés : les spectres moyen et maximum (en linéaire) et les évolutions temporelles des indices L_{Aeq} et L_{pc} . Nous avons choisi ces enregistrements car selon nos observations, il s'agit du moment le plus critique en termes de lieu, de niveau et de population.

Moto GP

Nous avons enregistré les niveaux sonores les plus forts avec une pression acoustique de crête max de 138 dB (C) et un L_{max} de 126 dB (A) dans les tribunes de la ligne droite au départ de la course. Une moto réalisait un tour en 1 minute et 40 secondes en moyenne ce qui correspond à la fréquence d'exposition maximale du public sur cette course. Durant les 45 minutes de course, le public dans les tribunes est exposé à des pressions acoustiques de crête supérieures à 131 dB (C) toutes les 2 minutes, des L_{max} supérieurs à 118 dB (A) et des L_{Aeq} supérieurs à 104.5 dB(A).

Si on regarde les spectres moyens et maxima de bruit (représentés en linéaire) de la mesure réalisée au niveau du module, on peut voir que la fréquence la plus forte en intensité est la 500 Hz. Et généralement, de 125 Hz à 8 kHz, les niveaux sont supérieurs à 80 dB pour le spectre moyen et supérieurs à 100 dB pour le spectre maximum.

24 H auto

Les niveaux les plus élevés étaient également enregistrés au départ de la course avec une pression acoustique de crête max de 136 dB (C) et un L_{max} de 115 dB (A) dans les tribunes de la ligne droite. Sur la courbe d'évolution temporelle, on observe qu'une fois que la course est lancée, le niveau de bruit est continu. A la fin de cette mesure, la course a été neutralisée à cause d'un accident, ce qui explique la baisse des niveaux. En excluant les 5 dernières minutes de cette mesure, on peut remarquer que le public est

exposé à des pressions acoustiques de crête supérieures à 128 dB (C), des L_{max} supérieurs à 109 dB (A) et des L_{Aeq} supérieurs à 98 dB(A) toutes les 2 minutes.

Si on regarde les spectres moyens et maxima de bruit (représentés en linéaire) de la mesure réalisée au niveau du module, on peut voir que la fréquence la plus forte en intensité est la 125 Hz. Et généralement, de 125 Hz à 1 kHz, les niveaux sont supérieurs à 80 dB pour le spectre moyen et supérieurs à 100 dB pour le spectre maximum.

Comparaison

En synthétisant tous les seuils énumérés dans la littérature réglementaire et scientifique, on obtient le tableau suivant :

Tableau 2 : Synthèse des indicateurs trouvés dans la littérature

Type de littérature	Indicateurs	Etendue	Risques ou mesures à prendre
Scientifique	L_{Aeq}	88 – 120 dB(A)	Pertes temporaires
	L_{Aeq}	99 – 136 dB(A)	Port de protections auditives
	L_{max}	115 - 120 dB	Pertes temporaires et/ou permanentes
	L_{max}	130 - 140 dB	Ne pas dépasser
	Fréquences	Entre 3 et 4 kHz	Fréquences de l'audition touchées en premier
Réglementaire	L_{max}	100 dB (A) à 0.5m 112 dB(A) à 15m	Disqualification d'une course si seuil dépassé
	L_{Aeq}	90 - 105 dB (A)	Interdiction d'exploiter (lieu diffusant de la musique amplifiée)
	L_{pc}	135 – 140 dB(C)	Ne pas dépasser (réglementation travail)

En comparant nos résultats à ces différents seuils, il apparaît clairement que la réglementation des sports automobiles ne semble pas être respectée à certains endroits de la piste, que des pertes auditives et/ou permanentes sont possibles sur le circuit et que le port de protections auditives s'impose.

De plus, si on observe les fréquences d'exposition, on voit que les basses fréquences sont plus marquées pour les véhicules des 24 H auto et que les hautes fréquences sont plus marquées pour le GP de France moto. Les protections auditives protègent surtout sur les moyennes et les hautes fréquences. Elles seraient donc indispensables pour le moto GP.

5 Discussion

5.1 Actions actuellement menées

5.1.1 Opération de prévention des risques auditifs engagée cette année sur le circuit des 24 Heures du Mans

La DDASS de la Sarthe a commencé à mettre en place dès 2008, en partenariat avec la DRASS Pays de Loire et l'ACO, des actions de prévention (atelier sur les risques auditifs, plaquette d'information associée à une distribution de bouchons d'oreilles). Cette année, l'effort a été poursuivi avec la parution d'encadrés sur les risques auditifs dans les journaux locaux, la mise en place d'affiches dans l'enceinte du circuit sur les risques auditifs et la réédition d'une nouvelle plaquette. La nouveauté cette année résidait dans la distribution gratuite au niveau des postes de secours de bouchons d'oreilles pour les moins de 16 ans. Le bilan de cette action est mitigé car seulement 5 400 paires ont été distribuées pendant le GP de France moto alors que 92 000 spectateurs sont venus sur le site. Parallèlement, l'ACO vend les mêmes bouchons d'oreilles à 1€ la paire dans ses boutiques officielles.

5.1.2 Efficacité réelle des Protections Individuelles Contre le Bruit (PICB)

Les bouchons distribués par la DDASS et vendus par l'ACO sont apparemment inadaptés aux jeunes enfants. Ils sont trop gros pour les conduits auditifs ce qui engendre des mauvaises poses des bouchons (photo 1). Leur efficacité est donc affaiblie (INRS, 2008).



Photos 1 et 2: Enfant portant les bouchons distribués sur le circuit (à gauche) et un casque antibruit (à droite) (Source : Ouest France, 2009)

Les casques antibruit pour enfants semblent être la meilleure solution de protection. Les coquilles des casques sont plus petites et s'adaptent mieux aux contours de l'oreille. En revanche, un casque pour adulte, même avec un arceau réglable, n'est pas assez efficace car il y a forcément des interstices entre le contour de la coquille et l'oreille ce qui diminue la capacité d'isolation du casque.

Après quelques recherches, nous n'avons pas réussi à trouver de bouchons jetables pour enfants. Cependant, des bouchons d'oreilles profilés semblent exister (contact avec l'entreprise Dorise, négoce technique industriel).

Par ailleurs, un travail de l'INRS sur l'affaiblissement acoustique *in situ* des PICB (2008), indique qu'une décote doit être appliquée par rapport à l'atténuation indiquée sur les étiquettes : - 5 dB (A) pour les serre-tête, - 7 dB (A) pour les serre tête montés sur casque, - 10 dB (A) pour les bouchons en mousse, fibre et - 5 dB (A) pour les bouchons moulés individualisés. Cette atténuation étant contrôlée en laboratoire, elle ne correspondrait pas toujours à la réalité d'exposition.

5.1.3 Mise en place d'un recueil Traumatisme Sonore Aigu (TSA) au centre hospitalier du Mans

Le docteur Maryse Morice, directrice du service ORL du Centre Hospitalier du Mans, a mis en place depuis le mois de mai dernier un recueil TSA. Elle avoue qu'elle est aujourd'hui incapable de savoir si certaines personnes ayant assisté aux courses automobiles du Mans sont venues consulter pour des TSA. Un essai est réalisé pour une période de 6 mois pour voir si un tel recueil est pertinent. La fiche type de recueil TSA est consultable en annexe 18.

5.2 Actions et propositions

5.2.1 Modélisation du bruit

Une première carte du bruit a été réalisée pendant ce stage sur les circuits Bugatti et des 24 H du Mans auto. Cette carte pourrait être idéalement complétée par une modélisation du bruit tout autour du circuit. Des outils de modélisation tels que les logiciels Mithra accompagné du module Identif (@dBC, 2008) ou CADNA accompagné d'un Système d'Information Géographique (SIG) permettent de faire cette cartographie.

Des contacts avancés ont été pris avec le CETE de l'Ouest pour envisager les solutions de modélisation possibles. D'autres partenaires tels qu'AcouSTB, Azimut Monitoring ou Acouphen environnement pourraient également être sollicités s'il s'avère que le CETE Ouest n'est pas en mesure de répondre favorablement à cette demande.

5.2.2 Besoin d'une approche sociale du bruit pendant les courses

La sensation de douleur est propre à chaque individu. Pour estimer la gêne engendrée par le bruit des courses automobiles du Mans, il serait judicieux de réaliser un questionnaire destiné à sonder les spectateurs. Comparées aux niveaux de bruit constatés sur le circuit, ces données pourraient améliorer les messages de prévention car ils permettraient de mieux cerner l'approche sociologique du bruit sur les circuits automobiles.

5.2.3 Besoin d'une étude épidémiologique

La rencontre avec Mme Morice Maryse a permis de discuter de la suite à donner à cette étude. Il est très difficile de caractériser les effets sur la santé des courses du Mans. Une étude épidémiologique pourrait être mise en place pour quantifier les effets auditifs à court terme par la réalisation d'une campagne audiométrique avant et après exposition (Camard *et al.*, 2004 et 2005). Pour réaliser une telle étude, il faudrait :

- Trouver des volontaires originaires du Mans ou des alentours qui pourraient se soustraire à une série de 3 audiogrammes,
- Trouver des volontaires qui accepteront d'être exposés.
- Trouver des volontaires qui accepteront de porter des protections auditives pendant toute la durée de l'exposition. L'objectif serait de tester l'efficacité réelle du port des protections
- Réaliser 3 audiogrammes par personne qui seront accompagnés systématiquement d'un questionnaire. Cette série d'audiogrammes permettrait de voir l'évolution temporelle des profils auditifs avant, pendant et après exposition.
- Créer ces questionnaires qui comporteront globalement des informations sur les antécédents ORL, les activités bruyantes annexes (baladeurs, discothèques, concerts, travail, tir, etc.), les durées approximatives d'exposition, le temps passé sur le circuit, les endroits fréquentés sur le circuit, etc.

Une opération de dépistage audiométrique a déjà été menée au Mans. Cette étude concernait les jeunes exposés à la musique amplifiée. Une cabine audiométrique mobile avait été louée à cette occasion.

Par ailleurs, un contact avec Mr Alain Londero, ORL de l'hôpital Georges-Pompidou à Paris a permis de découvrir qu'un programme financé par la région Ile-de-France sous le nom de PICRI devrait voir le jour sur le bruit. Ce programme inclura comme partenaire institutionnel l'Institut Français du Pétrole ainsi qu'un organisme de la société civile : l'association Acouphène. Cette étude vise à établir un bilan des relations entre les émissions de bruit et d'échappement des véhicules à moteur terrestres et ses effets sur la santé. L'exposition au bruit pendant les manifestations automobiles pourrait également faire partie du champ d'étude de ce programme de recherche qui serait lancé en 2010 pour une période initiale de 3 ans. Il y a donc des synergies possibles entre tous ces projets.

5.2.4 Besoin d'une stratégie de communication et de prévention plus poussée

Lors des mesures pendant les compétitions, les réactions des spectateurs étaient plutôt favorables mais parfois légèrement opposées à notre démarche. Certains redoutent une interdiction de ces manifestations. A l'inverse, d'autres personnes saluent cette action car ils estiment manquer d'informations sur les risques auditifs et se plaignent de

bourdonnements après avoir assisté à la course. Il est donc essentiel d'expliquer au public que l'objectif de cette étude n'est pas d'interdire mais plutôt d'informer et de prévenir.

Il est clairement établi que la dose de son reçu (combinaison entre durée et niveau d'exposition) pendant une vie entière est limitée pour tout individu qui veut préserver une bonne audition. Au même titre que le « capital soleil », on pourrait parler de « capital auditif ». Un enfant ne ressentira donc pas forcément d'effets immédiats mais l'accumulation des expositions pendant sa vie entraînera une perte auditive définitive plus ou moins importante et de façon précoce. Bien que cette étude ne conclue pas à une quantification des atteintes auditives après une exposition au bruit des courses automobiles du Mans, une action de prévention et de sensibilisation est recommandée. Certains spectateurs aux passages des véhicules posaient leurs mains sur leurs oreilles au passage des véhicules. Cela traduit bien une sensation de douleur ou de gêne à minima.

Pour accentuer les actions mises en place depuis 2 ans, il serait utile de distribuer des bouchons d'oreilles à toutes les personnes qui le souhaitent. Il serait même envisageable d'offrir une paire de bouchons au moment de l'achat du billet d'entrée. Il serait également judicieux d'informer le public de se protéger au moment du départ des courses. A ce moment critique de la course, les véhicules sont concentrés et accélèrent très fortement ce qui engendre des niveaux de bruit intenses. La ligne droite des stands constitue le point noir du circuit à tout moment de la course et pour les 2 courses. Même si les niveaux tout autour du circuit ne permettent pas le repos des cellules auditives, il faut bien indiquer que cet endroit est particulièrement nocif pour l'audition. Des messages répétés du speaker semblent être tout indiqués pour informer les spectateurs.

Parallèlement, une information par voie de presse quelques jours avant les manifestations indiquant que des protections auditives sont disponibles à la vente dans les pharmacies, magasins de bricolage et supermarchés serait un plus. Cette information devrait indiquer que pour les enfants, des casques anti-bruit adaptés à leur morphologie existent.

5.2.5 Réflexion sur les indicateurs et les seuils

Une étude très intéressante réalisée par Kaiser et Embrechts (2007) discute des indicateurs qui seraient plus pertinents pour quantifier le niveau sonore autour des circuits automobiles. Les auteurs proposent une méthodologie de mesurage du bruit correspondant à un enregistrement avec un ou plusieurs sonomètres placés à 15m de la piste sur une portion du circuit où les véhicules sont à leur maximum d'accélération est proposée. Cette mesure devrait être réalisée en $L_{A, Fast, max}$ ou en $L_{Aeq, 125ms}$ pour garantir une bonne appréciation du niveau maximum émis. Par contre, il n'y a aucune justification sanitaire et scientifique qui accompagne cette préconisation.

D'autre part, après avoir discuté avec différents contacts, il apparaît que la pondération C (utilisée pour enregistrer les niveaux de pression acoustique de crête) serait également plus pertinente que la pondération A pour l'enregistrement des bruits intenses. Cette pondération éviterait l'écrasement des fréquences extrêmes et serait plus représentatives du spectre d'exposition. Le seul souci, est le manque de point de comparaison avec d'autres valeurs dans la littérature. Seuls les spécialistes en acoustique arriveront à manipuler ces valeurs et le message de santé publique serait peut être trop confus pour la population. Le choix d'un autre indicateur semble donc très compliqué.

5.3 Analyse critique

5.3.1 Choix méthodologiques

D'autres expositions au bruit sur le circuit auraient également pu faire partie de cette étude. On pense essentiellement aux concerts, à la musique environnante, aux bruits dans les campings alentours. Ces autres temps d'exposition ne facilitent pas le repos des cellules auditives dès lors que le public s'éloigne de la piste. Nous avons, bien entendu, pensé à ces autres expositions mais nous manquions de temps et de moyens pour nous y consacrer. On aurait également pu ajouter l'exposition à d'éventuels polluants chimiques ototoxiques et aux vibrations qui peuvent aggraver les effets sur l'audition comme cela est prévu dans la réglementation du travail (INRS, 2006).

Nous avons donc fait le choix de prioriser les mesures autour du circuit où les niveaux sont les plus forts et impactent un plus grand nombre de personnes.

5.3.2 Apports de cette étude

Cette étude est le fruit d'un travail personnel et non d'un groupe d'experts. Elle n'a pas pour but de remettre en cause les pratiques actuelles mais plutôt de sensibiliser et informer les décideurs locaux pour éventuellement justifier une action de santé publique de plus grande envergure.

Aujourd'hui, plusieurs activités bruyantes ne sont pas réglementées pour protéger l'audition de la population. Elles pourraient faire l'objet d'une réflexion (Maaseen *et al.*, 2009). Comme nous l'avons vu dans la partie ce rapport consacrée à la réglementation, d'autres pays sont beaucoup plus avancés que la France sur ce sujet. Des exemples à suivre existent. L'environnement général permet l'accès à un très large public à des activités très bruyantes (Home cinéma, baladeurs mp3/4, discothèque, concerts, étalement urbain, intensification des trafics routier et aériens, etc.) (Passchier-Vermeer & Paschier, 2000 ; Echo Bruit, 2007). Les pratiques changent. La réglementation se doit donc d'évoluer pour protéger le capital auditif des plus jeunes afin qu'ils ne soient pas handicapés dans leur vie sociale et professionnelle futures.

Conclusion

Malgré la prise en main des risques auditifs depuis quelques années, les courses automobiles ne sont toujours pas, à l'heure actuelle, réglementées de manière à protéger l'audition des spectateurs. Ce constat est apparemment identique dans l'Union Européenne (Kaiser & Embrechts, 2007). Pourtant, au même titre que la pollution atmosphérique, on peut dire que le bruit, lors de ces compétitions automobiles, représente un risque diffus impactant un grand nombre de personnes. On peut donc affirmer que la prise en compte des risques auditifs constitue un réel enjeu de santé publique. Cette étude est donc originale et pertinente d'un point de vue sanitaire mais aussi réglementaire.

Après l'étude détaillée des niveaux de bruit autour du circuit et une comparaison avec les seuils rencontrés dans la littérature réglementaire et scientifique, il est évident que d'assister aux courses des 24 H du Mans et du GP de France moto peut avoir un impact sur l'audition du public. La gravité des effets susceptibles d'apparaître est variable en fonction des individus allant de pertes temporaires à définitives

Cette variabilité interindividuelle des effets du bruit rend difficile la protection absolue de tous les individus exposés au bruit (Le concours médical, 2008b). Aujourd'hui la protection individuelle est encore très souvent le seul palliatif immédiat aux risques dus à l'exposition au bruit (INRS, 2008). Depuis 2 ans, l'ACO expérimente la distribution de bouchons d'oreilles pour les moins de 16 ans. Leur action est à encourager car elle est tout à fait justifiée. En revanche, il faudrait pousser ces actions afin de prendre réellement en charge les risques auditifs autour du circuit. Rien ne les oblige à réaliser cette démarche mais il est dans leur intérêt de montrer l'exemple en étant précurseur sur cet enjeu de santé publique.

La DDASS de la Sarthe est prête à continuer d'assister l'ACO dans cette démarche en allant plus loin dans la caractérisation des risques. Les conclusions de cette pré-étude seraient peut être confirmées ; ce qui apporterait du poids supplémentaire aux décisions prises dans le futur.

Bibliographie

Etudes et synthèses:

@dBC, 2008. Rapport de mesures acoustiques. Circuit Bugatti. Etude acoustique relative à la tranquillité publique. Rapport n° PM/ext/08012432 Rév. 1.0. 150p

AFSSET, 2004. Impacts sanitaires du bruit. Etats de lieux, indicateurs bruit-santé. [Consulté le 20-05-2009] : http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/731096103331826363717461694944/impacts_sanitaires_bruit.pdf

AFFSET, 2006. Fiche bruit. [Consulté le 20/05/2009.]: http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/079062893738687466889281521492/16_bruit.pdf.

AFSSET, 2007. Effets biologiques et sanitaires du bruit. Comment lutter contre le bruit ? Bruit et santé. ISBN 978-2-11-097043-5. [Consulté le 25-05-2009] : <http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/765620276977173074127425901380/effets-biologiques-sanitaires-bruit.pdf>

Azimut Monitoring, 2009. Rapport sur les émissions sonores. Résultats d'observations. Années 2007 et 2008. 56p

Azimut Monitoring & Bruitparif, 2009. Note de synthèse sur les impacts sonores d'un circuit de Formule 1. 12p

Camard J.-P. *et al.*, 2005. Le bruit et ses effets sur la santé, estimation de l'exposition des Franciliens. Observatoire régional de santé d'Ile de France. [Consulté le 25-05-2009] : <http://www.ors-idf.org/etudes/pdf/BruitsantelDF.pdf>

Canetto P., Guillemly N., 2007. Le bruit. Aide-mémoire juridique Tj 16. INRS. 5^{ème} édition. ISBN p78-2-7389-1532-0. 26p. [Consulté le 25-05-2009] : [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/TJ%2016/\\$File/tj16.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/TJ%2016/$File/tj16.pdf)

CAREPS & DRASS IdF, 2005. Etat des connaissances sur l'impact sanitaire des aéroports –Risques liés aux agents physiques et microbiologiques. Rapport n°549-1. 76p

Coutier F., 2009. Études acoustiques au sein de la D.D.A.S.S. 72 et Évaluation des niveaux de bruit sur les circuits du Mans. DDASS de la Sarthe. 48p

DDASS de la Nièvre, 2005. Bilan de l'action de prévention et d'évaluation de l'exposition du public au bruit. Grand prix de France de Formule 1. Circuit de Nevers Magny Cours. 1,2 et 3 juillet 2005.18p

INRS, 2006. Une nouvelle réglementation au travail. TC 110. Dossier médico-technique. Documents pour le médecin au travail. N°107. 3^{ème} semestre 2006. pp297-307

INRS, 2008. Affaiblissement acoustique *in situ* des protecteurs individuels contre le bruit – Etude bibliographique. Hygiène et sécurité du travail. Cahiers de notes documentaires.3^{ème} trimestre 2008. pp43-59

Kerdudou, 2008. Prévention des risques auditifs dans les lieux diffusant de la musique amplifiée. Contribution méthodologique au contrôle des discothèques. DRASS Pays de Loire. 56pp

Le concours médical, 2008a. Dossier bruit. Partie 1. Prendre conscience de son impact sanitaire. Tome 130-5 du 13-03-2008.

Le concours médical, 2008b. Dossier bruit. Partie 2. L'excès de bruit altère la fonction auditive ? Quels sont les symptômes ? Tome 130-16 du 21-10-2008.

Leleu A., 2008. Etude sur les incidences possibles d'une exposition prolongée au bruit : le circuit des 24 Heures du Mans. DDASS de la Sarthe. 30p

Ménard B., 2008. Missions et campagnes de mesure effectuées au de la DDASS sur les circuits du Mans et dans les lieux « communs ». DDASS de la Sarthe 24p

Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables, 2007. Fiches sur la loi du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit.

Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 2000. Lettre circulaire DGS/7C n° 104 du 8 novembre 2000 concernant la transmission d'information et de documentations relatives à la lutte contre le bruit. 2p

Mouret J, Vallet M, 1998. Les effets du bruit sur la santé. Paris : Ministère de la Santé. 129 p.

Néodyme, 2005. Etude de l'impact sanitaire de la manifestation Tractosaures Indoor. Rapport LIGERIS. R-PL-1105-1a. Tours. 55p

OMS, 2000a. Bruit et santé. Collectivités locales, environnement et santé. N°36. Bureau régional de l'OMS pour l'Europe. 28p

OMS, 2001. Le bruit au travail et le bruit ambiant. Aide-mémoire n°258. [Consulté le 25-05-2009] : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs258/fr/>

Santé au travail 72, 2006. Evaluation de l'exposition au bruit des mécaniciens lors des séances d'essai. 27p

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), 2008. Potential health risks of exposure to noise from personal music players and mobile phones including a music playing function. 81p

Tiéry L., 2004a. Analyse des données épidémiologiques décrivant les pertes d'audition et leur relation avec l'exposition à des bruits professionnels. IET-NP/04DT-009LT. 20p

Tiéry L., 2004b. Estimation du risque auditif attribuable à la musique pour les professionnels du monde du spectacle. 29p

WHO, 1999. Guidelines for community noise. World Health Organisation, Geneva. 161p

WHO, 2004. WHO lares. Final report. Noise effects and morbidity. Interdisciplinary research network « Noise and Health ». Berlin Center of Public Health. 20p

Magazines :

Echo Bruit, 2007. Musiques amplifiées et gestion du risque auditif. Actes du colloque. 1^{ère} partie. Volume 116. Mars, 2007.

Articles :

Alnaser W.E. *et al.*, 2006. Bahrain's Formula-1 racing circuit : energy and environmental considerations. Applied Energy. Volume 83. pp 353-370

Camard J.-P. *et al.*, Observatoire régional de santé d'île de France, 2004. Effets du bruit sur la santé : données épidémiologiques récentes. Environnement, risques & santé. Volume 3, n°4, 235-42.

Damongeot A., 1980. Les effets du bruit sur l'homme. Les limites admissibles. Travail et Sécurité - Revue mensuelle de l'INRS. 9pp

Dobie R.A., 2008 The Burdens of Age-related and Occupational Noise-Induced Hearing Loss in the United States. Ear and Hearing. pp565-577

Kaiser X. & Embrechts J.J., 2007. Analysis of différentes approaches to the management of motor sports noise and application to an international racing track. Inter Noise 2007.8p

Lindemann J, Brusis T. Is there a risk of noise-induced hearing loss in automobile drivers and in automobile sport racing?. Laryngol.Rhinol.Otol.(Stuttg) 1985;64(9). pp476-80.

Maassen *et al.*, 2001. Ear damage caused by leisure noise. Noise and Health. 4;13. pp1-16

Rose A. S. *et al.*, 2008. Noise exposure levels in stock car auto racing. Ear, Nose & Throat Journal. pp 689-692

Pääkkönen R. *et al.*, 2003. Noise exposure of spectators at Finnish air shows. Applied acoustics. Volume 64. pp121-127

Thiery L, Meyer-Bisch C. Hearing loss due to partly impulsive industrial noise exposure at levels between 87 and 90 dB (A). J.Acoust.Soc.Am. 1988;84(2). pp651-59.

Van Campen Luann E. L.E. *et al.*, 2005. Ototoxic occupational exposures for a stock car racing team: Noise surveys. Journal of Occup Environ Hyg. Aug;2(8). pp383-90

Yaremchuk K. *et al.*, 1997. Noise level analysis of commercially available toys. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology. Volume 41. pp 187-197

Réglementation (classement selon la hiérarchie des normes):

Directive européenne 2003/10/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques. 7p

Décision de la Commission européenne du 23 juin 2009 concernant les exigences de sécurité que doivent comporter les normes européennes relatives aux baladeurs conformément à la directive 2001/95/CE relative à la sécurité générale des produits. 2p

Code de l'environnement -article R-571-26.

Code la Santé Publique - Article L5232-1

Décision du Conseil d'Etat du 11 janvier 2008 concernant le circuit de Bresse. 3p

Décret n° 2006-554 du 16 mai 2006 relatif aux concentrations et manifestations organisées sur les voies ouvertes ou dans les lieux non ouverts à la circulation publique et comportant la participation de véhicules terrestres à moteur. 11p

Décret n°98-1143 du 15 décembre 1998 relatif aux prescriptions applicables aux établissements ou locaux recevant du public et diffusant à titre habituel de la musique amplifiée, à l'exclusion des salles dont l'activité est réservée à l'enseignement de la musique et de la danse. 5p

Arrêté du 15 décembre 1998 pris en application du décret n° 98-1143 du 15 décembre 1998 relatif aux prescriptions applicables aux établissements ou locaux recevant du public et diffusant à titre habituel de la musique amplifiée, à l'exclusion des salles dont l'activité est réservée à l'enseignement de la musique et de la danse. 3p

Arrêté du 7 août 2006 pris pour l'application des articles 5, 7 et 14 du décret n° 2006-554 du 16 mai 2006 relatif aux concentrations et manifestations organisées sur les voies ouvertes ou dans les lieux non ouverts à la circulation publique et comportant la participation de véhicules terrestres à moteur. 3p

Circulaire Intérieur INTD060095C du 27 novembre 2006 relative à l'application du décret n° 2006-554 du 16 mai 2006 relatif aux concentrations et manifestations organisées sur la voie publique ou dans les lieux non ouverts à la circulation publique et comportant la participation de véhicules terrestres à moteur. 9p

Réglementation étrangère

Ordonnance sur la protection contre les nuisances sonores et les rayons laser lors de manifestations. (Ordonnance son et laser, OSLa) du 28 février 2007. 10p

Arrêté royal du 24 février 1977 fixant les normes acoustiques pour la musique dans les établissements publics et privés et qui concerne la protection du public accédant aux établissements.

Règlements sportifs :

FIA, 2009. Règlement Technique pour Voitures de Grand Tourisme de Série Technical Regulations for Series Grand Touring Cars (Groupe GT2 / Group GT2). 18p

ACO, 2009. Règlement technique ACO - PROTOTYPE "LM"P1 - "LM"P2. 40p

ACO, 2009. Règlement technique ACO - « LE MANS » "LM"GT1. 26p

ACO, 2009. Règlement technique ACO - « LE MANS » "LM"GT2. 24p

Normes :

ISO 1999 : 1990, 1990. Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. 17p

Norme NF S 31-010, 1996. Caractérisation et au mesurage des bruits de l'environnement. 48p

Norme NF S 31-013. Evaluation de l'exposition au bruit en milieu professionnel et estimation du déficit auditif, induit par le bruit, de populations exposées. 29p

Sites internet :

Site ACO [Consulté le 25/05/2009] :

http://www.lemans.org/24_Heuresmoto/pages/accueil_fr.html

Site du grand prix de France moto [Consulté le 25/05/2009]:

<http://www.gpfrancemoto.com/>

Site de la FIA [Consulté le 27/06/2009]: <http://www.fia.com/en-GB/Pages/HomePage.aspx>

Site de la FIM [Consulté le 27/06/2009]: <http://www.fim.ch/fr/>

Site de la FFSA [Consulté le 27/06/2009]: <http://www.ffsa.org/>

Site de la FFM [Consulté le 27/06/2009]: <http://www.ffmoto.org/>

Site de l'Insee [Consulté le 25/05/2009]: <http://www.insee.fr/fr/ppp/bases-de-donnees/recensement/populations-legales/commune.asp?depcom=72181>

Site de l'INRS (dossier bruit): [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Dossier%20Bruit/\\$File/Visu.html](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Dossier%20Bruit/$File/Visu.html)

Site du RESE

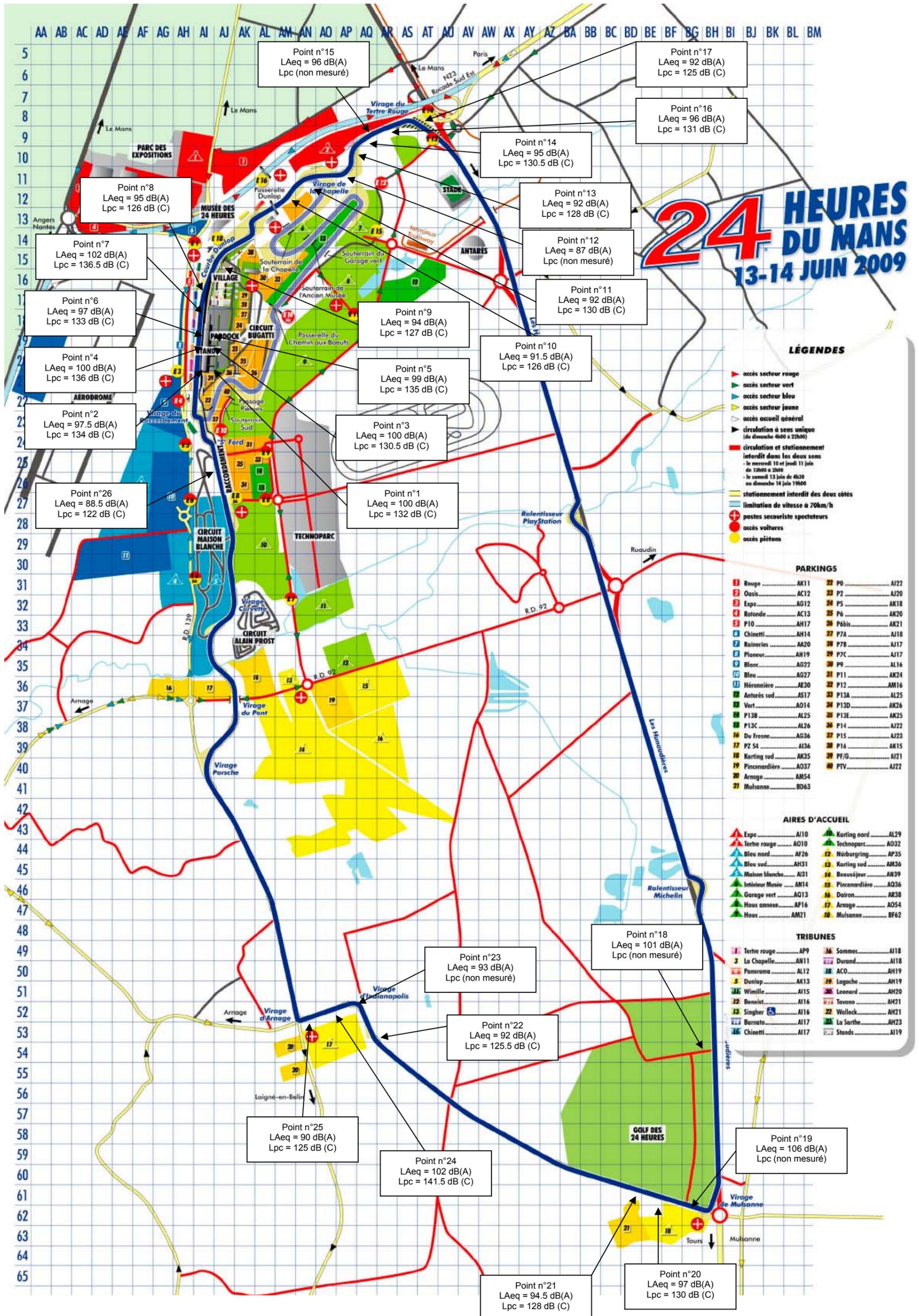
Liste des annexes

Annexe 1 : Carte du circuit du Grand Prix de France moto et niveaux sonores (en $L_{pc\ max}$ et L_{Aeq}) aux différents points de mesurage pour les motos GP	II
Annexe 2 : Carte du circuit des 24 Heures auto et niveaux sonores (en $L_{pc\ max}$ et L_{Aeq}) aux différents points de mesurage pour les 24 Heures auto	III
Annexe 3 : Informations générales sur les compétitions automobiles du Mans et fréquentation	IV
Annexe 4 : Calendrier du stage	V
Annexe 5 : programme du Grand Prix de France moto	VI
Annexe 6 : Programme des 24 Heures du Mans auto.....	VII
Annexe 7 : Liste des contacts pris pendant le stage	VIII
Annexe 8 : Fiche bruit simplifiée (Source : site Internet de l'INRS, norme NF S 31-013, fiche bruit de l'AFFSET)	IX
Annexe 9 : Risque d'un déficit de 25 dB calculé sur les fréquences 500, 1 000 et 2 000 Hz en fonction du niveau sonore moyen pondéré A et du nombre d'années d'exposition (Damongeot, 1980).....	XII
Annexe 10 : Détail des mesures effectuées pendant le GP de France moto	XIII
Annexe 11 : Détail des mesures effectuées pendant les 24 H du Mans auto	XVI
Annexe 12 : Niveaux sonores équivalents (L_{Aeq}) en dB (A) mesurés en 2009 autour du circuit GP de France moto.....	XVIII
Annexe 13 : Niveaux de pression acoustique de crête en dB (C) mesurés en 2009 autour du circuit GP de France moto.....	XIX
Annexe 14 : Niveaux sonores équivalents (L_{Aeq}) en dB (A) mesurés en 2009 autour du circuit des 24 H du Mans auto	XX
Annexe 15 : Niveaux de pression acoustique de crête en dB (C) mesurés en 2009 autour du circuit des 24 H du Mans auto	XXI
Annexe 16 : analyse détaillée de 2 mesures réalisées pendant le GP moto de France au départ de la course.....	XXII
Annexe 17 : analyse détaillée de 2 mesures réalisées pendant les 24 H auto au départ de la course.....	XXV
Annexe 18 : Fiche TSA du centre hospitalier du Mans.....	XXVIII

Annexe 1: Carte du circuit du Grand Prix de France moto et niveaux sonores (en $L_{pc\ max}$ et L_{Aeq}) aux différents points de mesurage pour les motos GP (Source pour la carte: site Internet du GP de France Moto)



Annexe 2 : Carte du circuit des 24 Heures auto et niveaux sonores (en $L_{pc\ max}$ et L_{Aeq}) aux différents points de mesurage pour les 24 Heures auto (Source : Site internet de l'ACO)



Annexe 3 : Informations générales sur les compétitions automobiles du Mans et fréquentation

Tableau 1 : Compétitions et entraînements du Mans et nombre de jours correspondant

Compétitions et entraînements	Nombre de jours
Rallye Moto de la Sarthe	1
Superbike	2
24 H Motos	4
Moto GP	3
24 H du Mans (autos)	5
Le Mans Classic	3
Promosport	2
World series by Renault	4
24 H Camions	2
DTM	4
Inter Ecuries	2
Entraînements moto	28
Entraînements Auto	8
Total	68

Tableau 2 : Fréquentation aux épreuves en 2008

Compétitions et entraînements	Nombre de jours	Nombre de spectateurs sur l'ensemble de la compétition
Superbike	2	8 000
24 H Motos	4	83 700
Moto GP	3	90 000
24 H du Mans (autos)	5	258 000
Le Mans Classic	3	81 200
Promosport	2	3 500
World series by Renault	4	170 000
24 H Camions	2	46 000
DTM	4	18 000

Annexe 4 : Calendrier du stage

	S 20 14 - 17 mai	S 21 18 - 24 mai	S22 25 - 31 mai	S23 1 - 7 juin	S24 8 - 14 juin	S25 15 - 21 juin	S26 22 - 28 juin	S27 29 juin au 5 juillet	S28 6 -12 juillet
Création du plan d'échantillonnage									
Mesures Grand Prix de France moto									
Dépouillement des données									
Recherche bibliographique									
Prise de contacts avec des professionnels (RDV, téléphone, mail)									
Mesures 24 H auto									
Rédaction									

Annexe 5 : programme du Grand Prix de France moto

(Source : site internet du GP de France moto)

Vendredi 15 mai

10h00 – 12h00	Visite voie des stands	
12h40 – 13h40	125 cc	Essais libres 1
13h55 – 14h55	MotoGP	Essais libres 1
15h10 – 16h10	250 cc	Essais libres 1
18h00 – 19h30	Rencontre avec les pilotes	
21h00	Concert	

Samedi 16 mai

9h00 – 9h40	125 cc	Essais libres 2
09h55 – 10h55	MotoGP	Essais libres 2
11h10 – 12h10	250 cc	Essais libres 2
12h20 – 13h00	Animations	
13h00 – 13h40	125 cc	Essais qualificatifs
13h55 – 14h55	MotoGP	Essais qualificatifs
15h10 – 15h55	250 cc	Essais qualificatifs
18h00 – 19h30	Rencontre avec les pilotes	
20h00 – 21h30	Show mécanique	
21h45	Concert	

Dimanche 17 mai

8h40 – 9h00	125 cc	Warm up
9h10 – 9h30	250 cc	Warm up
9h40 – 10h00	MotoGP	Warm up
10h05 – 10h45	Animations	
11h00 – 12h00	125 cc	COURSE - 24 tours
12h15 – 13h15	250 cc	COURSE - 26 tours
14h00 – 14h45	MotoGP	COURSE - 28 tours

Annexe 6 : Programme des 24 Heures du Mans auto

(Source : Site internet de l'ACO)

Lundi 8 juin

14h30 / 18h00	Vérifications Administratives et Techniques 24 Heures du Mans
----------------------	---

Mardi 9 juin

08h30 / 17h00	Vérifications Administratives et Techniques 24 Heures du Mans
----------------------	---

Mercredi 10 juin

09h00 / 12h00	Vérifications Administratives et Techniques Formula Le Mans Cup (Circuit)
10h00	Briefing Team Managers 24 Heures du Mans
11h00	Briefing Pilotes 24 Heures du Mans
15h00	Briefing Pilotes Formula Le Mans Cup
16h30 / 17h30	Essais Libres Formula Le Mans Cup
18h00 / 24 H00	Essais Libres 24 Heures du Mans ®

Jeudi 11 juin

09h00 / 13h00	Vérifications Administratives et Techniques Le Mans Legend (Circuit)
14h00 / 12h00	Briefing Pilotes Le Mans Legend
16h00 / 17h00	Essais Chronométrés Le Mans Legend
17h30 / 18h30	Essais Chronométrés Formula Le Mans Cup
19h00 / 21h00	Essais Qualificatifs 24 Heures du Mans ®
22h00 / 24 H00	: Essais Qualificatifs 24 Heures du Mans ®

Vendredi 12 juin

10h00 / 20h00	Découverte des stands
18h00 / 19h00	Parade des pilotes (Centre Ville)

Samedi 13 juin

08h30 / 09h15	Warm-Up 24 Heures du Mans ®
09h30 / 10h15	Course Le Mans Legend
10h30 / 11h30	Course (12 tours) 1 tour de formation Formula Le Mans Cup
14h22	Début de la procédure de départ
15h00	Départ 77ème édition des 24 Heures du Mans ®

Dimanche 14 juin

15h00	arrivée de la 77e édition des 24 Heures du Mans
--------------	---

Annexe 7 : Liste des contacts pris pendant le stage

Contacts	Informations
Daniel Rivière	DRASS Pays de Loire (IGS)
Frédéric Le Rallier	DDASS 79 (IGS)
Nicolas Grénetier	DDASS 94 (IGS)
Dominique François	DDASS 46 (IGS)
Nezha Leftah-Marie	CIRE Ouest (IGS)
Emmanuel Briand	DGS (IGS)
Gilles Souet	DDASS 36 (IGS)
Jacky Levecq	DDASS 73 (IES)
Albert Godal	DDASS 78 et DGS (IES)
Jacky Guillou	DDASS 49 (IES)
Régis Boulanger	DDASS 33 (IES)
Daniel Brachet	DDASS 28 (IES)
Louis Di Guardia	DSDS 97 (IES)
Dominique Le Saec	DDASS 56 (IES)
Marc Esmenjaud	DDASS 38 (TS)
Véronique Baudry	DDASS 53 (TS)
Florence Meusnier	DDASS 37 (TS)
David Chaigneau	DDASS 85 (TS)
Jean Michel Lorillot	DDASS 58 (TS)
Philippe Bièvre	DDASS 71 (TS)
Laure Fremery	DDASS 41 (TS)
Henri Ly-Cong-Kieu	DDASS 91 (TS)
Maryannick Prat	MISP DRASS Pays de Loire
Charlotte Fouillet	Chargé d'affaire qualité sécurité environnement au service technique de l'ACO
Ghislain Robert	Directeur technique des services techniques de l'ACO
Maryse Morice	Médecin ORL
Corine Franquelin	Médecin audioprothésiste de la mutualité française
Christophe Goery	Professeur EHESP
Gilles Barbier	SCHS du Mans (Responsable cellule bruit)
Brigitte Quetglas	Documentaliste Centre d'Information sur le Bruit (CIDB)
Laurent Droin	Ingénieur société Acouphen
Monsieur Chapeau ou Monsieur Dufourné	Ingénieurs société Azimut Monitoring
Gérard Lafage	CETE ouest Responsable cartographie du bruit
Muriel Teytu et Jordan Marais	Ingénieure et technicien d'étude AcouSTB
Martine Brunet	Préventiste santé au travail 72
Thierry Leon	Ingénieur Bruit INRS Nancy
Stéphanie Moreau	DDTEFP sarthe ingénieure de prévention
Professeur Bruno Frachet	Responsable service ORL hôpital Bobigny (Avicenne)

Annexe 8 : Fiche bruit simplifiée (Source : site Internet de l'INRS, norme NF S 31-013, fiche bruit de l'AFFSET)

1. Définitions

Le son

Les sons sont des vibrations de l'air qui se propagent en ondes acoustiques. Ils sont définis par leur fréquence, exprimée en Hertz (Hz). De manière générale, le seuil de perception est à 0 dB et le seuil de douleur voisin de 120dB. En moyenne, l'oreille humaine entend des sons entre 16 Hz et 20 000 Hz et perçoit avec une sensibilité maximale ceux compris entre 1 000 et 5 000 Hz.

Tableau 1 : Echelle des fréquences sonores

Infrasons	Sons audibles (par l'homme)	Ultrasons
< 20 Hz	20 à 20 000 Hz	> 20 000 Hz

Selon l'exemple suivant, on comprend globalement comment ces signaux sont interprétés :

- Vibrations rapides = fréquence élevée = son aigu
- Vibrations lentes = fréquence faible = son grave

Le sonomètre est l'appareil qui permet de mesurer le niveau sonore d'un bruit ou d'un son. Pour prendre en compte la sensibilité de l'oreille (seuil de perception auditive) par rapport aux fréquences audibles, on utilise les décibels audiométriques dB (A). Les dB (A) évaluent la pression sonore en tenant compte de la sensibilité plus importante de l'oreille humaine pour les sons de fréquence comprise entre 1 000 et 5 000 Hz.

Paramètres physiques du bruit

L'intensité (I), la fréquence (F), le spectre et la durée d'un bruit sont les paramètres qui caractérisent un bruit. L'intensité est mesurée en W/m^2 , la fréquence en Hz, le durée en seconde (Mouret & Vallet, 1998.). Chacun de ces paramètres influe sur les effets sanitaires que l'on peut observer après une exposition au bruit.

Niveau acoustique de pression, L_p

Ce niveau est donné en décibels par la formule suivante : $L_p = 10 \log (p/p_0)^2$

Où p est la pression acoustique (en pascals). La pression acoustique de référence est p_0 à 20 μPa .

Niveau de pression acoustique pondéré A, L_{pA}

Valeur du niveau de pression acoustique, en décibels, déterminé avec la pondération fréquentielle A, donnée par la formule suivante : $L_{pA} = 10 \log (p_A/p_0)^2$

Niveau de pression acoustique de crête, L_{pc}

Il est donné, en décibels, par la formule suivante :

$$L_{pc} = 10 \log (p_c/p_0)^2$$

Où p_c est la valeur maximale de la pression acoustique instantanée

Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, $L_{Aeq, T}$

Valeur du niveau de pression acoustique pondéré A d'un son continu stable qui, au cours d'une période spécifiée T, a la même pression acoustique moyenne quadratique qu'un son considéré dont le niveau varie en fonction du temps. Il est défini par la formule suivante :

$$L_{Aeq, T} = 10 \log [1/(t_2-t_1) \int_{t_1}^{t_2} (p_A(t)/p_0)^2 dt]$$

où

$L_{Aeq, T}$ est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, en décibels, déterminé pour un intervalle de temps T, qui commence à t_1 et se termine à t_2 .

$p_A(t)$ est la pression acoustique instantanée pondérée A du signal acoustique

p_0 est la pression acoustique de référence (20 μ Pa).

Bruit impulsionnel

Bruit consistant en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique ayant chacune une durée inférieure à environ 1 seconde et séparées par des intervalles de temps de durées supérieures à 0,2 secondes.

2. L'audition

L'oreille comprend trois parties ayant des fonctions distinctes d'inégale importance :

- **l'oreille externe** qui comprend le pavillon et le conduit auditif. Elle guide le son jusqu'au tympan. Le tympan est une membrane séparant l'oreille externe de l'oreille moyenne, dont le rôle est de capter les variations de pression sonore, comme le fait la membrane d'un micro.
- **l'oreille moyenne**, constituée par une chaîne de 3 osselets - le marteau, l'enclume et l'étrier - transmet les mouvements du tympan à l'oreille interne ; elle est en communication avec le milieu extérieur par la trompe d'Eustache habituellement fermée et s'ouvrant à la déglutition.
- **l'oreille interne** est au cœur du système auditif. C'est un milieu liquide renfermant deux ensembles fonctionnels distincts : le vestibule, organe de l'équilibre, et la cochlée (ou limaçon), dédiée à l'audition. La cochlée abrite environ 15 000 cellules sensorielles ciliées qui ont un rôle déterminant dans l'audition. Par l'intermédiaire de ces cellules, la cochlée exerce

une triple action : elle amplifie les vibrations qui lui parviennent, elle analyse ces mêmes vibrations et les oriente en fonction de leur fréquence vers les fibres nerveuses qui lui sont connectées, elle transforme l'énergie vibratoire en influx nerveux.

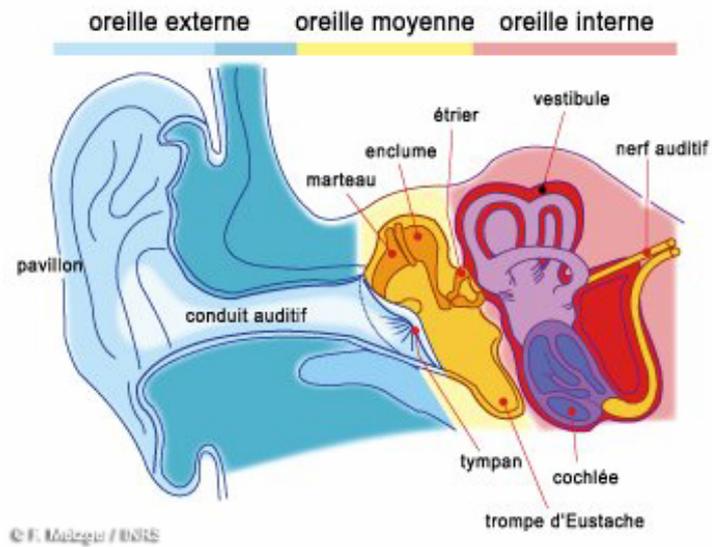


Figure 1 : Schéma de l'oreille

L'influx nerveux généré par la cochlée est conduit jusqu'aux aires auditives du cerveau par un faisceau de fibres nerveuses. Le cortex cérébral interprète le message nerveux qu'il reçoit, et génère la sensation auditive, image perceptive du message sonore capté par l'oreille.

**Annexe 9 : Risque d'un déficit de 25 dB calculé sur les fréquences
500, 1 000 et 2 000 Hz en fonction du niveau sonore moyen pondéré
A et du nombre d'années d'exposition (Damongeot, 1980)**

Niveau acoustique équivalent en décibels (A)		Nombre d'années d'exposition									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
<80	Risque supplémentaire %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total en % présentant une altération de l'ouïe pour le groupe de référence	1	2	3	4	6	10	14	21	33	50
85	Risque supplémentaire %	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7
	Total en % présentant une altération de l'ouïe pour le groupe de référence	1	3	6	9	12	17	22	30	43	57
90	Risque supplémentaire %	0	4	10	14	16	16	18	20	21	15
	Total en % présentant une altération de l'ouïe pour le groupe de référence	1	6	13	18	22	26	32	41	54	65
95	Risque supplémentaire %	0	7	17	24	28	29	31	32	29	23
	Total en % présentant une altération de l'ouïe pour le groupe de référence	1	9	20	28	34	39	45	53	62	73
100	Risque supplémentaire %	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33
	Total en % présentant une altération de l'ouïe pour le groupe de référence	1	14	32	41	48	53	58	65	74	83
105	Risque supplémentaire %	0	18	42	53	58	60	62	61	54	41
	Total en % présentant une altération de l'ouïe pour le groupe de référence	1	20	45	57	64	70	76	82	87	91
110	Risque supplémentaire %	0	26	55	71	78	78	77	72	62	45
	Total en % présentant une altération de l'ouïe pour le groupe de référence	1	28	58	75	84	88	91	93	95	95
115	Risque supplémentaire %	0	36	71	83	87	54	81	75	64	47
	Total en % présentant une altération de l'ouïe pour le groupe de référence	1	38	74	87	93	94	95	96	97	97

Annexe 10 : Détail des mesures effectuées pendant le GP de France moto

Tableau 1 : Points de mesures choisis

Module	Début tribunes paddocks	Milieu tribunes paddocks	Tribune Michelin	Fin tribunes paddocks	Welcome VIP	Tribune face Welcome	Dunlop	Sortie virage la Chapelle	Sortie virage musée	Ligne droite chemin aux bœufs
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K

Tableau 2 : Mesures du vendredi 15/05/2009

125cc	Lieu mesure	K	I	J	B	E	D	G	H	
	Heure de mesure	12h52	13h07	13h34	Non dispo			12h59	13h15	13h33
	Durée de la mesure (minutes)	10	10	9	Mesure avec le dosimètre			11	10	10
	L _{Aeq}	92,6	87,2	87,4	98,5	98	96,1	93,5	86,7	
	L _{min}	65,6	69	62,6	97	95,7	63	65,3	65,8	
	L _{max}	106,1	97,4	101,9	99,5	99,3	108,9	106,8	97,2	
	L _{pc}				123,2	125,1	123,2	121,4	111,1	
250cc	Lieu mesure	K	I	J	A	B	E	D	G	H
	Heure de mesure	15h10	15h29	15h46	Non dispo			15h12	15h26	15h56
	Durée de la mesure (minutes)	15	15	17	Mesure avec le dosimètre			12	20	15
	L _{Aeq}	95,1	90,9	86,2	98,5	97,9	98,7	97,9	96	85,7
	L _{min}	65,1	62,3	62,8	95,2	97,5	96,1	56,6	53,5	64,2
	L _{max}	107,7	104,6	97,9	101,2	98,3	100,6	112,4	110,7	102,1
	L _{pc}	Non dispo	Non dispo	Non dispo	124,5	121,1	123,6	129,6	125	109,8
Moto GP	Lieu mesure	K	I	J	A	B	E	D	G	H
	Heure de mesure	13h55	14h13	14h43	Non dispo			13h58	14h16	14h43
	Durée de la mesure (minutes)	15	15	8	Mesure avec le dosimètre			15'	13	10
	L _{Aeq}	102,4	97,4	90,8	104,5	107,9	102,6	106,1	103	85,1
	L _{min}	67,5	69,7	64,9	60,1	104,9	100	59,3	63,9	61,3
	L _{max}	119,4	111,7	106	112,8	109,3	104,3	121,7	120,7	99,9
	L _{pc}	138,1	Non dispo	Non dispo	141,1	136,3	133,8	136,1	135,3	114,6

Tableau 3 : Mesures du samedi 16/05/2009

125cc	Lieu mesure	A	B	E	K	J	A	B	E	B	D	G	D	G	
	Heure de mesure	9h02	9h18	9h33	13h04	13h24	9h02	9h18	9h33	non dispo	9h05	9h18	13h06	13h25	
	Durée de la mesure (minutes)	11	10	8	16	16	Mesure avec le dosimètre				10	10	15	22	
	L_{Aeq}	96,7	99	98,5	94,9	92	96,4	99,2	98,6	99,3	95	93,6	96,1	94,1	
	L_{min}	60,8	86,7	75,2	62,6	70,5					57,2	65,4	62,6	66,4	
	L_{max}	108,3	107,2	107,1	107,2	103,4					109,6	106,4	107,5	107	
	L_{pc}						119,7	120	120,3	120,5	123,9	120,3	125	122,4	
250cc	Lieu mesure	F	C	K	J	F	C	B	D	D	G				
	Heure de mesure	11h11	11h54	15h10	15h29	11h11	11h54	non dispo	11h20	15h16	15h45				
	Durée de la mesure (minutes)	10	15	15	15	Mesure avec le dosimètre				16	26	15			
	L_{Aeq}	97,1	99,1	97,7	94,8	97,8	97,9	101,4	97,5	97,8	95,4				
	L_{min}	67,5	66,9	62,8	68,4				58,5	59,8	62,3				
	L_{max}	108,7	11,8	110,3	108,6				113,9	112,8	109,8				
	L_{pc}					123,6	122	127,2	128,4	128,7	124,1				
Moto GP	Lieu mesure	B	C	F	K	J	B	C	F	B	D	G	H	D	G
	Heure de mesure	9h55	10h13	10h34	13h57	14h23	9h55	10h13	10h34	non dispo	10h01	10h19	10h42	14h00	14h28
	Durée de la mesure (minutes)	11	10	10	22	21	Mesure avec le dosimètre				15	15	19	25	25
	L_{aeq}	108,8	106,6	100,2	103,3	96,8	110	106,8	101,2	107,5	106	101,9	90,4	104,8	101,8
	L_{min}	80,3	74	68,2	69,4	69,1					69,7	69,5	67,5	64,8	67,9
	L_{max}	121,5	120,3	117,7	120,1	111,8					120,2	119,7	106,5	121,3	120,9
	L_{pc}	135,2	133,3	133,1	137,9		136,1	134	131,2	136	135,6	134,7	121,5	136,6	136,2

Tableau 4 : Mesures du dimanche 17/05/2009

125cc	Lieu mesure	C	C	A
	Heure de mesure	8h41	11h02	11h06
	Durée de la mesure (minutes)	20	32	20
	L_{aeq}	98,3	98,4	96,8
	L_{min}	64,5	73,4	66,8
	L_{max}	107,1	114,3	112,7
250cc	L_{pc}			125,3
	Heure de mesure	9h11	12h16	12h21
	Durée de la mesure (minutes)	20	32	20'
	L_{aeq}	100,3	100,3	97,9
	L_{min}	71,1	62,5	58,7
	L_{max}	112,1	117,1	113,9
moto GP	L_{pc}		128,7	125,6
	Heure de mesure	9h39	14h02	14h06
	Durée de la mesure (minutes)	21	49	21
	L_{aeq}	107,6	107,8	105,1
	L_{min}	75,3	69	64,6
	L_{max}	120,1	125,9	122,2
	L_{pc}		138,3	134,9

Annexe 11 : Détail des mesures effectuées pendant les 24 H du Mans auto

Tableau 1 : Mesures du mercredi 10 juin 2009

L_{aeq}	97,6	99,8	96,9	98,3	99,9	98,6	90,8
L_{min}	60,6	63,5	63,2	65,4	71,6	72,7	60,1
L_{max}	115,3	117,7	116,4	111,8	113,2	112,2	104,2
L_{pc}	134,3	135,8	133,3	131,2	130,4	135,1	nc
Heure de la mesure	18h18	18h51	19h25	18h13	18h46	19h19	22h50
Durée de la mesure (minutes)	30	31	30	30	31	31	10
Lieu de la mesure	Tribunes face début Stands/ Paddocks	Tribunes face milieu Stands/ Paddocks	Tribunes face fin Stands/ Paddocks	Tribunes début Stands/ Paddocks	Tribunes milieu Stands/ Paddocks	Tribunes fin Stands/ Paddocks	Entrée virage 1 Indianapolis (IntR)

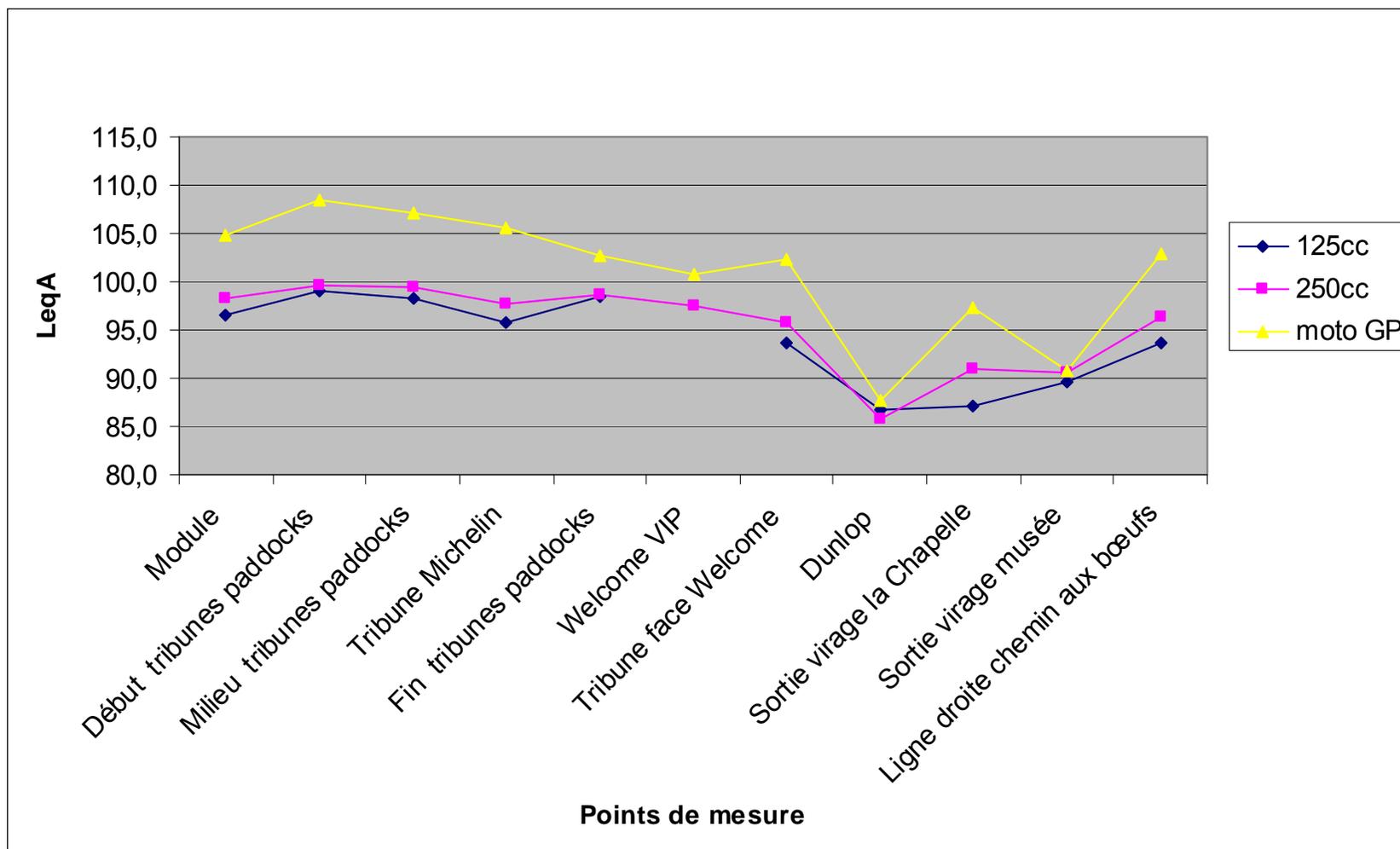
Tableau 2 : Mesures du jeudi 11 juin 2009

L_{aeq}	91,8	93,5	94,5	90	94,7	97,1	96,9	101,8
L_{min}	58,8	52,7	63,7	57,1	58,2	61,7	69,6	65,3
L_{max}	106,3	108,9	110,1	102,7	112	111,5	110,3	118
L_{pc}	129,7	127,6	128,1	125,1	130,4	129,7	129,6	141,3
Heure de la mesure	19h40	20h14	22h29	23h17	19h30	20h07	22h25	23h13
Durée de la mesure (minutes)	20	30	20	15	31	30	20	12
Lieu de la mesure	Virage la Chapelle (intR)	Entrée virage Tertre Rouge (IntR)	Fin ligne droite Mulsanne accès public (extR)	Virage 2 Indianapolis (extR)	Ligne droite Tertre Rouge (intR)	Sortie virage Tertre rouge (extR)	Milieu ligne droite Mulsanne accès public (extR)	Ligne droite Indianapolis (extR)

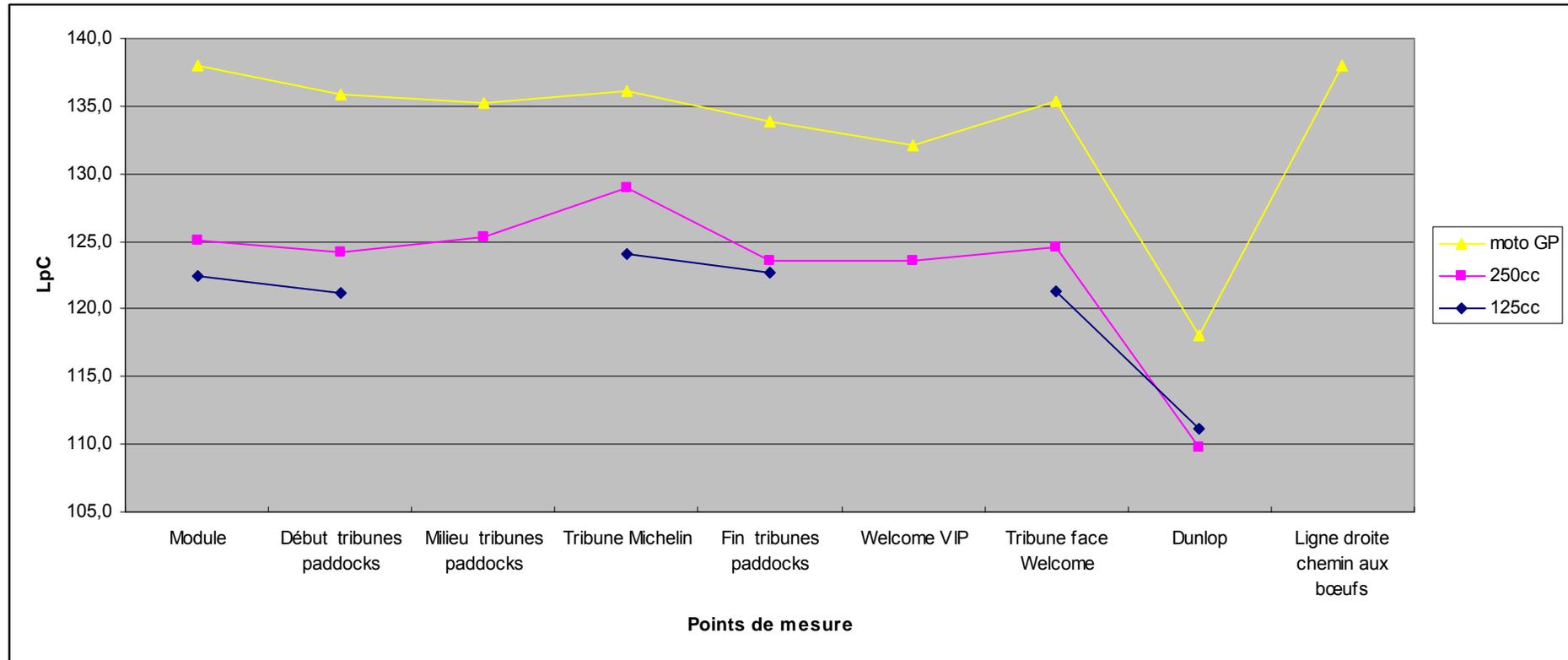
Tableau 3 : Mesures du samedi 13 et du dimanche 14 juin 2009

L_{aeq}	90,8	92	92,3	89,9	101,9	91,3	102,3	94,1	95,1	96	99,6	86,6	100,5	88,2	93,7	93	101	106,1	96,1	85,3	93,6
L_{min}	59,6	58,7	62,8	58,8	69,5	67,7	68,9	70,1	62,3	64,2	66,7	61,3	69,8	69,7	66,5	70,3	60,1	63,8	57,2	58,4	68,9
L_{max}	109,3	108,3	107,3	106,5	114,7	103,8	113,6	107,9	110,5	108,7	112,4	98,6	112,8	99,6	107,4	106,4	113,6	118,5	112,2	97,9	106,8
L_{pc}	128	124,8	126,1	125,9	136,6	126,6	133,4	126,9	131,6	126,3	131,8	117,5	133,1	120,8	123,5	122,7	130,6	135,7	125,9	116,1	124,4
Heure de la mesure	15h00	10h05	11h14	8h42	14h58	18h32	20h01	21h13	10h10	12h30	13h01	8h59	14h59	18h31	23h05	23h22	23h59	00h21	9h43	10h40	13h05
Durée de la mesure (minutes)	46	20	20	31	45	30	32	32	30'	16	31	20	30	30	15	15	15	15	16'	20	20
Lieu de la mesure	Sortie virage Terre Rouge (IntR)	Sortie virage Terre rouge (extR)	Tribune Dunlop	Maison Blanche (extR)	Tribune ACO (18)	Passerelle Dunlop (espace privilège ACO)	Tribunes début Stands/Paddock	Welcome	Sortie virage Terre rouge (extR)	Tribune ACO (13)	Tribunes début Stands/Paddock	Maison Blanche (extR)	Tribunes début Stands/Paddock	entrée virage la Chapelle (espace privilège ACO)	Entrée virage 1 Indianapolis (IntR)	Sortie Virage 1 Indianapolis (IntR)	Fin ligne droite des Hunaudières (IntR)	Sortie virage Mulsanne (intR)	Ligne droite Terre Rouge (extR)	entrée virage la Chapelle (espace privilège ACO)	Tribune ACO (13)

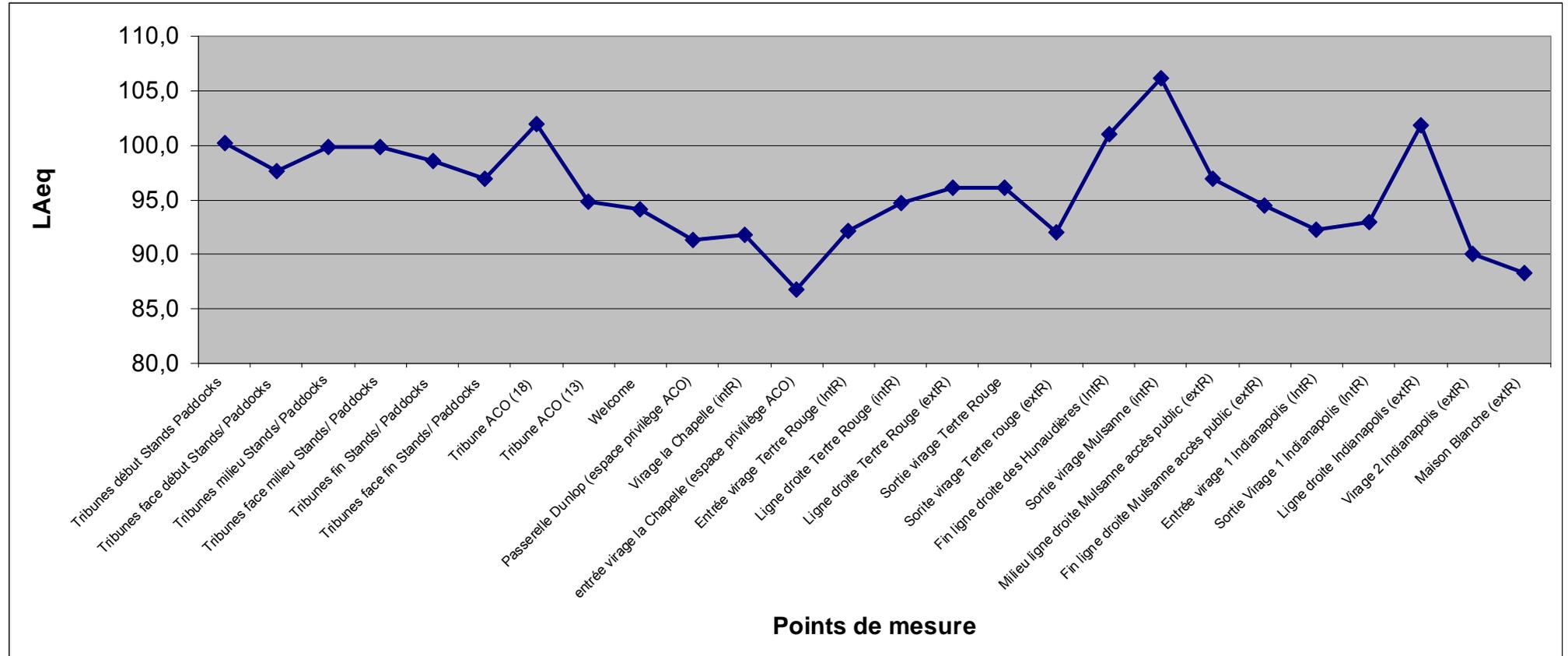
Annexe 12 : Niveaux sonores équivalents (L_{Aeq}) en dB (A) mesurés en 2009 autour du circuit GP de France moto



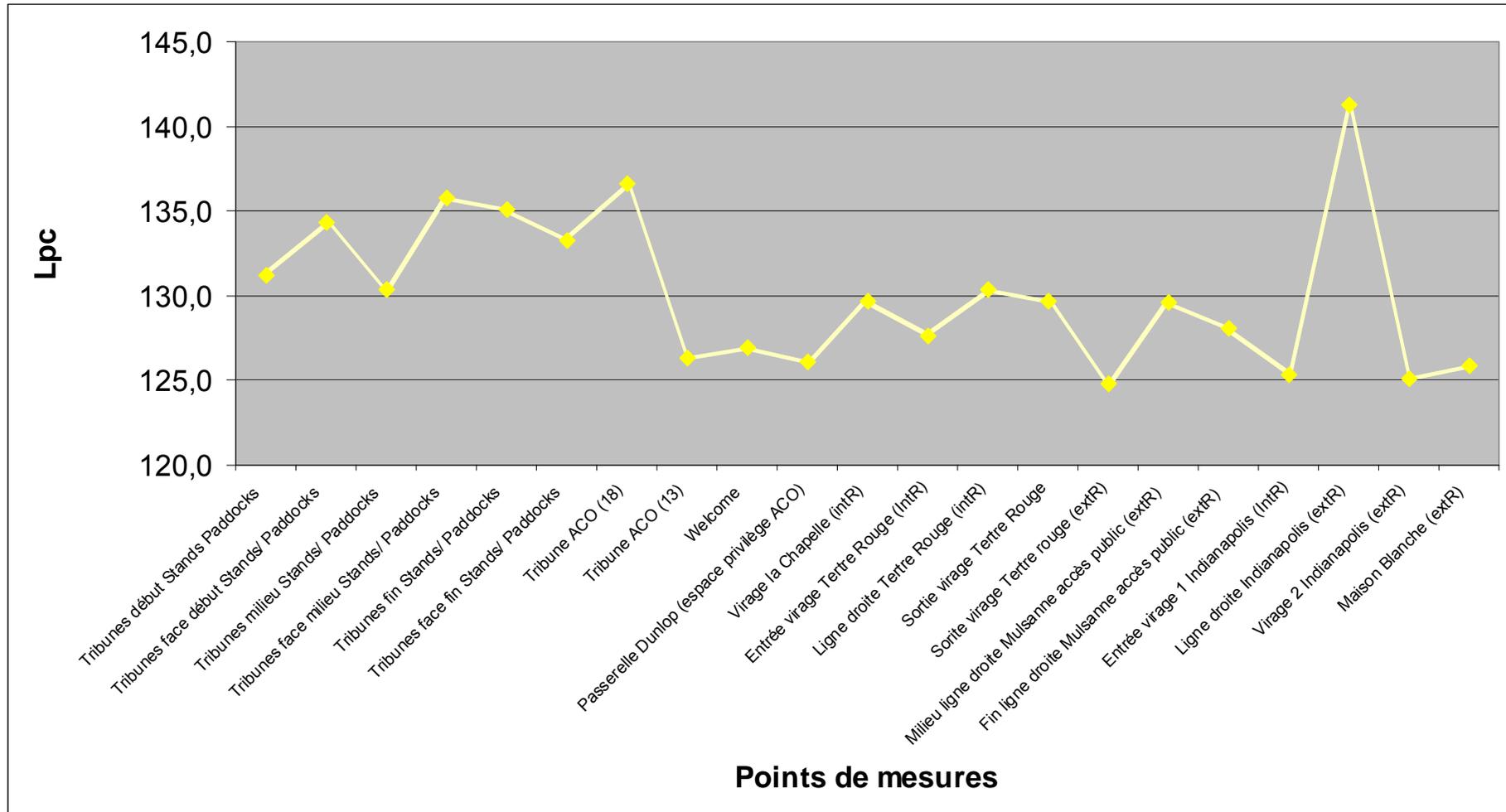
Annexe 13 : Niveaux de pression acoustique de crête en dB (C) mesurés en 2009 autour du circuit GP de France moto



Annexe 14 : Niveaux sonores équivalents (L_{Aeq}) en dB (A) mesurés en 2009 autour du circuit des 24 H du Mans auto



Annexe 15 : Niveaux de pression acoustique de crête en dB (C) mesurés en 2009 autour du circuit des 24 H du Mans auto



Annexe 16 : analyse détaillée de 2 mesures réalisées pendant le GP moto de France au départ de la course

Mesure n°1

Emplacement mesure : Milieu tribunes paddocks

Tableau 1 : Paramètres de la mesure

Fichier	Mes6 - Yves - 14h01.CMG			
Commentaires				
Début	14:01:04:000 dimanche 17 mai 2009			
Fin	14:50:07:500 dimanche 17 mai 2009			
Durée élémentaire	500ms			
Total périodes	5887			
Voie	Type	Pond.	Min.	Max.
#7	Leq	A	60	130
#7	Crête	C	120	140
Source	Code			
Crête > 135	6			

Figure 1 : Evolution temporelle des indices pendant la mesure

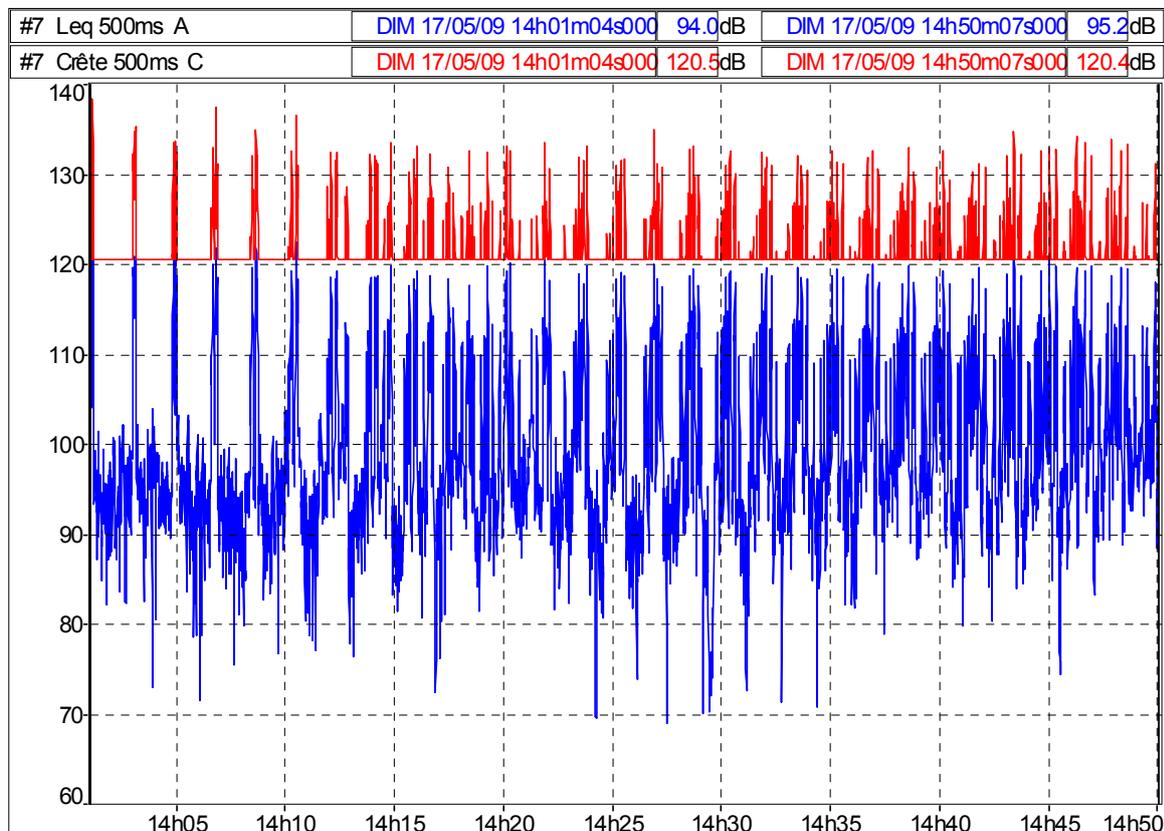


Tableau 2 : Evolution temporelle des indices par période de 2 minutes

Fichier	Mes6 - Yves - 14h01.CMG					
Périodes	2m					
Début	17/05/09 14:01:04:000					
Fin	17/05/09 14:51:04:000					
Lieu	#7			#7		
Pondération	A			C		
Type de données	Leq			Crête		
Unité	dB			dB		
Début période	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
17/05/09 14:01:04:000	107,9	82,1	125,9		120,5	138,3
17/05/09 14:03:04:000	110,1	72,9	121,2		120,5	135,3
17/05/09 14:05:04:000	107,9	71,4	121,8		120,5	137,4
17/05/09 14:07:04:000	107,4	75,4	121,9		120,5	134,8
17/05/09 14:09:04:000	107,2	76,7	122,4		120,4	136,5
17/05/09 14:11:04:000	106,6	77,1	119,2		120,4	132,3
17/05/09 14:13:04:000	107,5	76,3	119,7		120,4	133,4
17/05/09 14:15:04:000	107,3	72,4	119,1		120,4	133,1
17/05/09 14:17:04:000	106,1	76,2	118,3		120,4	132,6
17/05/09 14:19:04:000	107,4	85,3	120,1		120,4	133,1
17/05/09 14:21:04:000	106,3	81,6	120,4		120,4	133,4
17/05/09 14:23:04:000	107,0	69,5	119,7		120,4	133,0
17/05/09 14:25:04:000	108,2	73,7	119,9		120,4	134,9
17/05/09 14:27:04:000	108,7	69,0	119,4		120,4	133,0
17/05/09 14:29:04:000	106,8	70,0	119,2		120,4	132,5
17/05/09 14:31:04:000	107,1	71,3	119,5		120,4	132,3
17/05/09 14:33:04:000	107,4	70,7	119,6		120,4	131,9
17/05/09 14:35:04:000	109,0	81,8	120,0		120,4	132,6
17/05/09 14:37:04:000	107,7	78,8	119,8		120,4	132,9
17/05/09 14:39:04:000	107,0	84,1	119,1		120,4	132,6
17/05/09 14:41:04:000	107,5	79,8	119,5		120,4	131,1
17/05/09 14:43:04:000	108,5	83,9	121,2		120,4	134,6
17/05/09 14:45:04:000	108,9	74,3	120,6		120,4	134,2
17/05/09 14:47:04:000	107,4	83,2	119,6		120,4	133,7
17/05/09 14:49:04:000	104,4	88,4	118,0		120,4	131,1
Période totale	107,7	69,0	125,9		120,4	138,3

Mesure n°2

Emplacement mesure : Module

Tableau 3 : Paramètres de la mesure

Fichier	motoGP - RACE - 14h06.CMG					
Commentaires						
Début	14:06:02:000 dimanche 17 mai 2009					
Fin	14:27:02:250 dimanche 17 mai 2009					
Durée élémentaire	125ms					
Total périodes	10082					
Voie	Type	Pond.	Min.	Max.	Min.	Max.
Solo 060749	Leq	A	60	130		
Solo 060749	Fast Min	A	60	130		
Solo 060749	Fast Max	A	60	130		
Solo 060749	Crête	C	70	140		
Solo 060749	Fast	A	60	130		
Solo 060749	Multispectres 1/3 Oct Leq	Lin	0	130	12.5Hz	20kHz

Figure 2 : Spectre moyen sur l'ensemble de la mesure (résultat linéaire)

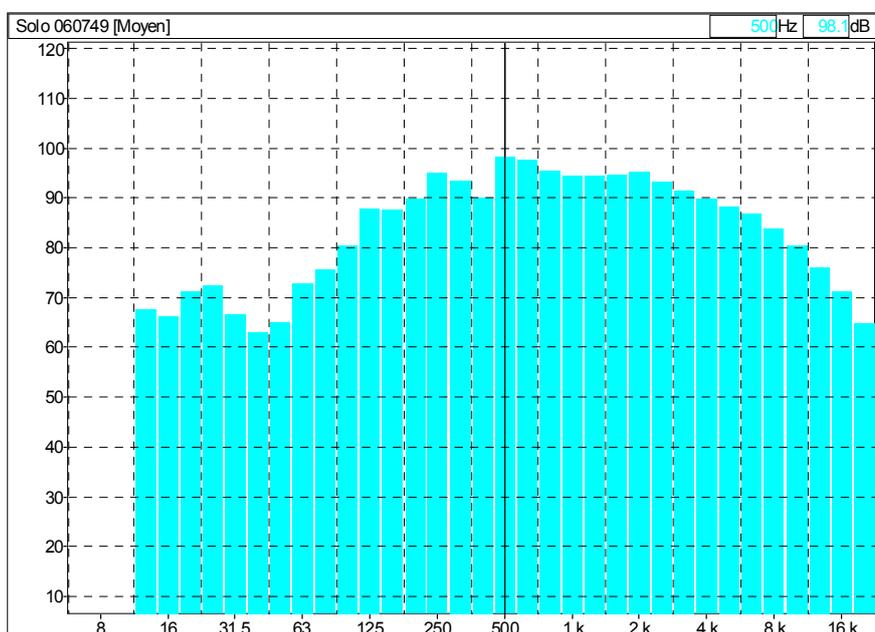
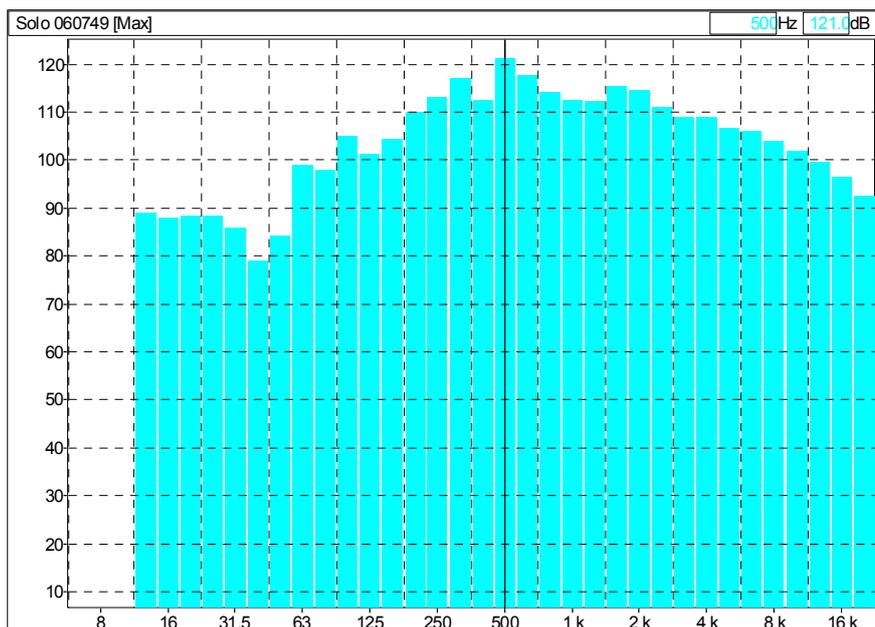


Figure 3: Spectre maximum sur l'ensemble de la mesure (résultat linéaire)



Annexe 17 : analyse détaillée de 2 mesures réalisées pendant les 24 H auto au départ de la course

Mesure n°1

Emplacement : Tribune ACO

Tableau 1 : Paramètres de la mesure

Fichier	Race - 14h58 - François.CMG			
Commentaires				
Début	14:58:45:000 samedi 13 juin 2009			
Fin	15:43:35:000 samedi 13 juin 2009			
Durée élémentaire	500ms			
Total périodes	5380			
Voie	Type	Pond.	Min.	Max.
#15	Leq	A	60	120
#15	Crête	C	120	140
Source	Code			
Crête > 135	6			

Figure 1 : Evolution temporelle

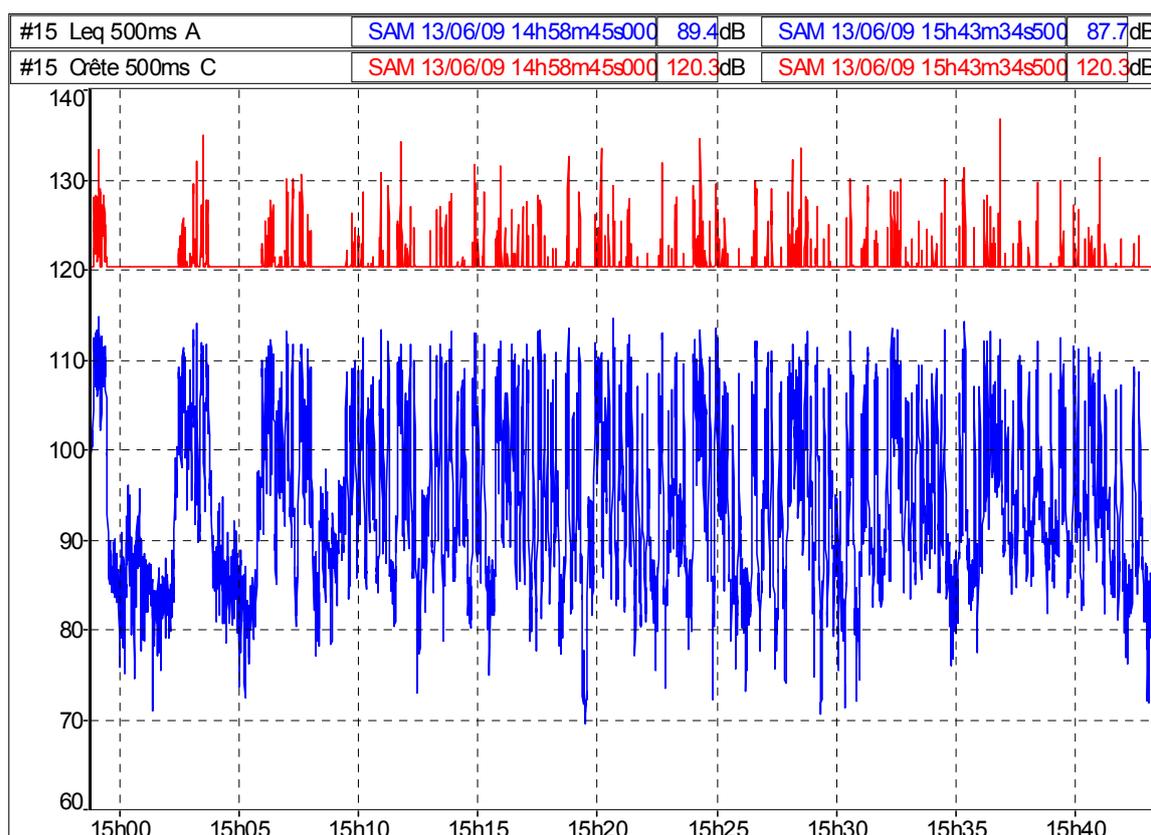


Tableau 2 : Evolution temporelle des indices L_{eq} et L_{pc} (périodes de 2 minutes)

Fichier	Race - 14h58 - François.CMG					
Périodes	2m					
Début	13/06/09 14:58:45:000					
Fin	13/06/09 15:44:45:000					
Lieu	#15			#15		
Pondération	A			C		
Type de données	Leq			Crête		
Unité	dB			dB		
Début période	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
13/06/09 14:58:45:000	104,6	74,5	114,7		120,3	133,2
13/06/09 15:00:45:000	98,7	70,9	111,2		120,3	125,7
13/06/09 15:02:45:000	103,2	78,4	113,9		120,3	134,8
13/06/09 15:04:45:000	100,8	72,3	112,1		120,3	127,6
13/06/09 15:06:45:000	102,8	77,1	113,1		120,3	130,6
13/06/09 15:08:45:000	100,8	78,3	112,4		120,3	128,6
13/06/09 15:10:45:000	102,4	72,9	113,2		120,3	134,1
13/06/09 15:12:45:000	101,8	78,7	113,1		120,3	128,4
13/06/09 15:14:45:000	103,1	74,8	112,9		120,3	131,7
13/06/09 15:16:45:000	101,8	77,2	113,3		120,3	128,2
13/06/09 15:18:45:000	103,6	69,5	114,5		120,3	133,4
13/06/09 15:20:45:000	100,9	75,4	112,9		120,3	131,8
13/06/09 15:22:45:000	102,7	73,4	113,2		120,3	134,5
13/06/09 15:24:45:000	101,5	72,1	113,4		120,3	129,8
13/06/09 15:26:45:000	102,5	73,9	111,7		120,3	133,4
13/06/09 15:28:45:000	101,5	70,5	113,1		120,3	130,0
13/06/09 15:30:45:000	102,7	72,0	113,5		120,3	130,0
13/06/09 15:32:45:000	100,7	83,3	113,3		120,3	130,0
13/06/09 15:34:45:000	102,4	75,9	114,1		120,3	131,2
13/06/09 15:36:45:000	100,7	83,9	112,1		120,3	136,6
13/06/09 15:38:45:000	100,9	81,7	112,3		120,3	129,8
13/06/09 15:40:45:000	99,0	76,2	110,7		120,3	132,4
13/06/09 15:42:45:000	92,6	71,8	108,6		120,3	120,8
Période totale	101,9	69,5	114,7		120,3	136,6

Mesure n°2

Emplacement de la mesure : Tertre rouge

Tableau 3 : Paramètres de la mesure

Fichier	Race - 15h00 - Fred.CMG					
Commentaires						
Début	15:00:15:000 samedi 13 juin 2009					
Fin	15:46:21:875 samedi 13 juin 2009					
Durée élémentaire	125ms					
Total périodes	22135					
Voie	Type	Pond.	Min.	Max.	Min.	Max.
Solo 060749	Leq	A	50	110		
Solo 060749	Fast Min	A	60	110		
Solo 060749	Fast Max	A	60	110		
Solo 060749	Crête	C	70	130		
Solo 060749	Fast	A	60	110		
Solo 060749	Multispectres 1/3 Oct Leq	Lin	0	120	12.5Hz	20kHz

Figure 2 : Spectre moyen sur l'ensemble de la mesure (résultat linéaire)

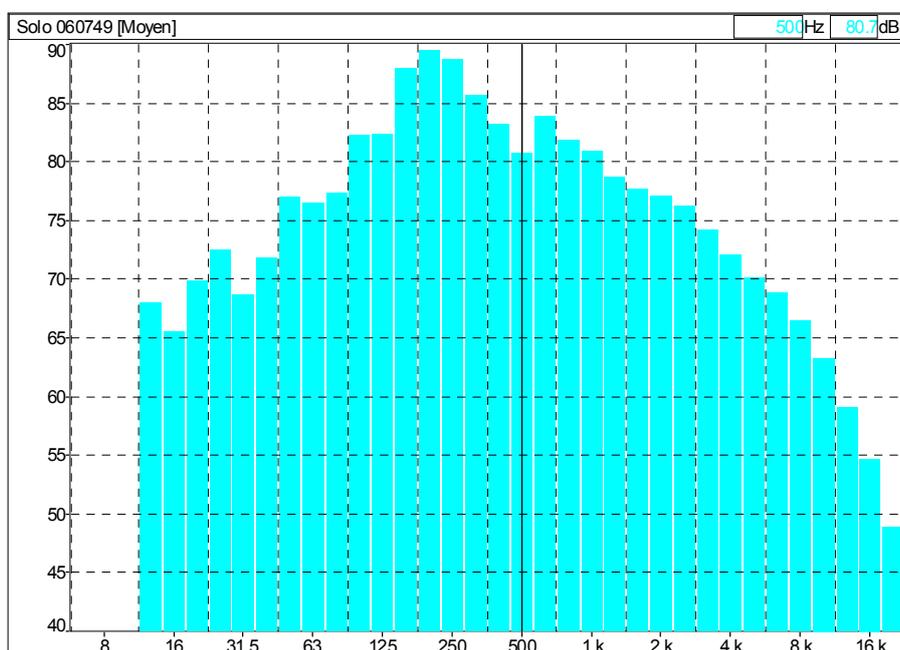
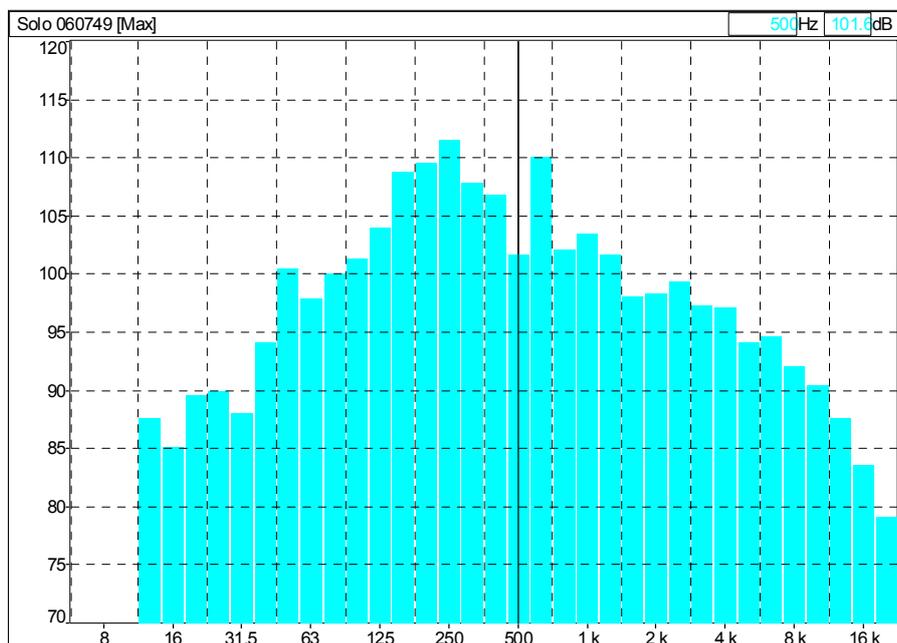


Figure 3 : Spectre maximum sur l'ensemble de la mesure (résultat linéaire)



Annexe 18 : Fiche TSA du centre hospitalier du Mans

TRAUMATISME SONORE AUDITIF

ETIQUETTE Patient

Circonstances du traumatisme :

Plaintes émises :

- Perte auditive
- Bourdonnement d'oreille
- Impression d'oreille bouchée
- Otalgie
- Autres :

Préciser : _____

Examens des tympons :

OD _____

OG _____

Audiogramme le : _____
Faire 3000 et 6000 systématique

Récupération le : _____

Résultat à un mois :
