



SCAN'16 Toulouse

Séminaire de Conception Architecturale Numérique

Mètre et paramètre, mesure et démesure du projet

Sous la direction de Jean-Pierre Goulette et Bernard Ferries

PUN - Editions Universitaires de Lorraine.

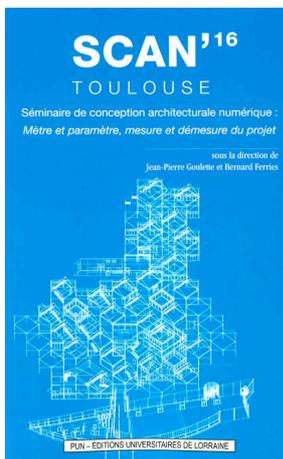
ISBN: 978-2-8143-0289-1

Titre de la publication :

Caractérisation ambiante des espaces d'accueil pour enfants autistes : vers une projectuelle des ambiances

Auteurs :

Sana LAYEB, Faten HUSSEIN, Raja GHOZI, Meriem JAIDANE



Cette publication (présentée dans ce document en version auteur acceptée), est parue dans les actes du Séminaire de Conception Architecturale Numérique SCAN'16 – Toulouse - *Mètre et paramètre, mesure et démesure du projet*, 07-09 septembre 2016, Toulouse

Tout usage du contenu de cette publication doit mentionner la référence de l'ouvrage, du titre et de(s) auteur(s).

Caractérisation ambiante des espaces d'accueil pour enfants autistes : vers une projectuelle des ambiances

**Sana LAYEB¹, Faten HUSSEIN¹, Raja GHOZI²,
Meriem JAIDANE²**

¹ ERA, Equipe de Recherche sur les Ambiances, Université de Carthage, Ecole Nationale d'architecture et d'urbanisme de Tunis, Tunisie

² U2S, Unité de recherche système et signaux, Université El Manar, Ecole Nationale des ingénieurs de Tunis, Tunisie
sana.layeb@yahoo.fr, faten.hussein@gmail.com, rjghozi@yahoo.com, meriem.jaidane@planet.tn

RÉSUMÉ. Dans le cadre de cette recherche, nous nous intéressons à l'enfant autiste en tant qu'utilisateur spécifique de l'espace. Notre protocole expérimental intègre : la caractérisation spatiale, architecturale et acoustique des lieux, les simulations numériques et les mesures physiologiques. Notre travail tente de dépasser une approche spatiale normative basée sur la réglementation et s'inscrit dans une perspective d'amélioration de la qualité spatiale et ambiante.

MOTS-CLÉS : autisme, situations ambiantales, mesures physiologiques, simulation numérique, mesures acoustiques.

ABSTRACT. In this research, we focus on the autistic child. Our experimental protocol includes: architectural and acoustic characterization of the spaces, simulations and physiological measures. Our work tries to surpass the normative spatial approach based on the regulation and is part of a perspective of improving spatial and ambient quality.

KEYWORDS: autism, emotional states, physiological measures, simulation, measurements.

1. Introduction

Dans le cadre de cette recherche consacrée à l'étude des ambiances sonores et de l'environnement construit, nous nous intéressons à l'enfant autiste en tant qu'utilisateur spécifique de l'espace et dont la perception est qualifiée d'altérée¹.

Alors que la qualité des ambiances sonores dans les équipements accueillant les enfants autistes influence la perception des enfants accueillis et leurs comportements, les directives d'aménagement acoustique de l'espace restent restreintes et dénuées de toute réflexion sur les dimensions sensibles et qualitatives de la question. Dans notre étude, nous nous intéressons à la dimension sonore de l'environnement spatiale de cette population car l'hypersensibilité auditive des autistes est reconnue comme un facteur influant sur la qualité de leurs perceptions².

L'objectif de ce travail est alors de détecter des situations ambiantales types caractérisant des états de stress ou de gêne de cette population autiste par rapport au paramètre sonore afin d'y pallier. La méthodologie adoptée pour atteindre cet objectif comprend une procédure d'évaluation des paramètres du contrôle sonore à travers des mesures quantitatives et qualitatives ainsi que le recours à des outils numériques. Ceci nous permettra d'élaborer des lignes directrices de conception architecturale visant le bien-être de cette population.

Cette étude est structurée de la manière suivante. Dans le paragraphe 2, nous détaillons le protocole expérimental utilisé. Nous exposons, dans le paragraphe suivant 3, les résultats recueillis. Et nous finirons après l'analyse de ces données par les premières conclusions tirées ainsi que les limites et les perspectives de ce travail en cours.

2. Méthodologie

1. Le TSA (Trouble de spectre autistique) appartient à la famille des troubles envahissants du développement (TED). Il est caractérisé par des déficiences de communication, altération de la communication (verbale et non verbale), d'interaction sociale, altération des interactions sociales et d'imagination, absence d'intérêts et d'imagination avec des comportements stéréotypés.

2. Magda MOSTAFA, An architecture for autism: concepts of design intervention for the autistic user, Archnet-IJAR International Journal of Architectural Research, Volume 2 - Issue 1 - Mars 2008.

Pour répondre aux objectifs de ce travail, nous dressons un protocole expérimental qui conjugue deux niveaux de saisie de données visant la projectuelle des ambiances sonores: un premier niveau d'enregistrement du signal audio et de capture de données psychophysiologiques³ des enquêtés en parallèle à des enregistrements vidéo et un deuxième niveau de caractérisation spatiale du terrain d'étude via une simulation numérique de l'espace étudié et de la propagation du son dans ce dernier.

2.1 Population

Notre expérience a porté sur trois garçons autistes :

Mohamed Yassine (Y) est un garçon de quatre ans. Inscrit au centre depuis deux mois au moment du déroulement de l'expérience. Son éducateur compare ses capacités mentales à celles d'un enfant de neuf mois.

Mooatasem (M) est un garçon de cinq ans. Sa mère révèle durant l'entretien qu'elle est satisfaite de sa progression et qu'elle a remarqué sa motivation pendant qu'elle le prépare pour aller au centre le matin. Elle disait « *Il ne crie plus. Il est calme, je trouve qu'il a compris la situation.* ». Physiquement, cet enfant ne manifeste pas de traits autistiques.

Chihèb (C) est un garçon de sept ans. Son éducateur affirme qu'il a remarqué son hypersensibilité au bruit par les cris et les gestes. Cet enfant est très timide et souffre d'une panique continue qui l'empêche d'articuler ses mouvements.

2.2 Terrain d'étude

L'expérience a eu lieu au centre d'éducation spécialisée « Cordoue » de Testour. Nous avons observé le comportement des enquêtés durant le parcours quotidien d'un enfant autiste dans le centre : les salles de classe (salles d'enseignement 5 et 4) et la salle de sport dans laquelle se déroulaient les exercices de psychomotricité, etc.

3. Capture réalisée grâce à un biocapteur appelé Q-sensor, ce dispositif portable (bracelet mis au poignet) quantifie l'excitation émotionnelle en mesurant l'activité électrodermale. Il mesure aussi le mouvement et de la température du porteur. Cette nouvelles techniques permet d'évaluer l'éveil d'une personne (www.affectiva.com)

2.3 Déroulement de l'expérience :

L'expérience a été faite par une équipe multidisciplinaire composée d'ingénieur-statisticien et d'architecte. Elle a été structurée en deux étapes. Une première phase préliminaire qui a permis de faire connaissance avec la population cible et de mettre au point le matériel à utiliser pendant l'expérimentation (installation des caméras vidéo, réglage des *Q-sensors*...). Ensuite, une deuxième phase expérimentale qui a permis de saisir les différentes données (audio, physiologiques...)

3. Résultats

Afin de pouvoir mettre en correspondance les variations de l'enregistrement sonore avec la variation de l'activité électrodermale, nous optons pour la méthode de segmentation du parcours quotidien d'un enfant autiste dans son espace d'accueil journalier (monter les escaliers, aller dans la salle de jeu, descendre manger, rester dans les salles d'apprentissage, jouer en plein air, rester avec le thérapeute, etc.). Cette démarche corrèle le signal audio (enregistrement sonore) et le signal psychophysio- logique (AED) d'une manière simultanée. La segmentation du parcours ainsi que les enregistrements associés permettra de cerner les situations environnementales "à risques".

3.1. Premier niveau d'analyse : les données psychophysiologiques en relation avec le signal audio

Dans ce premier volet analytique, nous allons mettre en correspondance : L'évolution temporelle de l'activité électrodermale et le spectrogramme des enregistrements sonores. Puis, nous confrontons ces données physiologiques et physiques avec les enregistrements vidéo et l'observation comportementale de l'enfant afin de cerner les situations ambiantales stressantes. Nous avons choisi pour ce papier de présenter la mise en correspondance d'un seul cas d'étude, la première expérience, qui englobe toutes les situations sonores stressantes rencontrées.

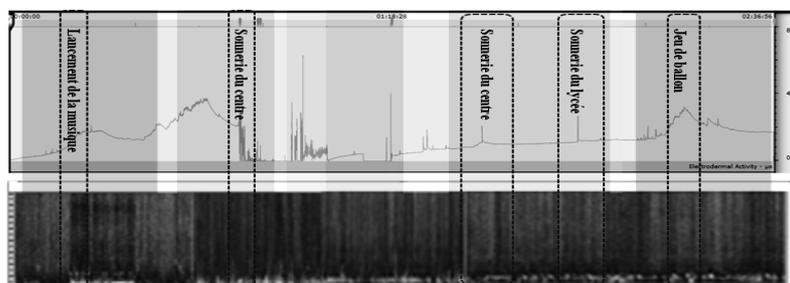


Figure 1. Première expérience : La correspondance de la courbe EDA (en haut) avec le continu fréquentiel du signal audio (en bas) et les situations sonores stressantes détectées contournées en pointillés.

Dans ce qui suit, nous tentons d'apporter des précisions quant à l'occurrence de ces situations de stress en procédant à un autre niveau d'analyse qui la caractérisation du lieu de transmission.

3.2. Deuxième niveau d'analyse : la caractérisation acoustiques des espaces de propagation

Pour étudier les caractéristiques acoustiques des différents espaces de propagation, nous devons passer par la simulation numérique et ce à travers I-Simpa^{4 5}.

En raison de l'influence de la qualité acoustique des salles de classe sur la qualité d'apprentissage, des normes ont été établies pour assurer un environnement d'enseignement favorable.

Les durées de réverbération, dans les locaux d'enseignement, de musique, d'études, d'activités pratiques ayant un volume $\leq 250 \text{ m}^3$ doivent être comprises entre 0,4s et 0,8s. Et pour les locaux d'activité ayant un volume $>250 \text{ m}^3$ les TR varient entre 0.6s et 1.2s.⁶

Ces valeurs s'entendent pour les locaux normalement meublés et non occupés.

4. www.i-simpa.ifsttar.fr

5. Qui est un logiciel open-source de traitements acoustiques. Mis en ligne en décembre 2012 par l'IFSTTAR⁵, cet outil est une interface utilisateur graphique (GUI⁵) développée pour accueillir les codes numériques à trois dimensions pour la modélisation de la propagation du son dans des domaines géométriques complexes.

6. Selon l'article 5 de l'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements scolaires, en France

La salle de sport

Il s'agit d'une salle polyvalente, d'un volume supérieur à 250m^3 . Les activités de psychomotricité accompagnées de musique, les moments de détente pour calmer et évacuer l'agitation de l'enfant et les activités sportives se passent toutes dans cet espace. La simulation numérique de cet espace donne les résultats suivants :

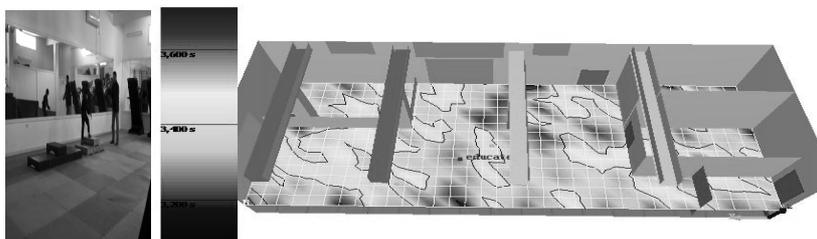


Figure 2. De gauche à droite : Photos de la salle de sport, La variation du temps de réverbération dans la salle de sport pour 1000 Hz.

La salle d'enseignement N°4

Pour la salle de classe N°4, il s'agit de la plus petite salle du centre et la moins meublée.

Les variations données par le logiciel I-simpa, montre que la variation du temps de réverbération selon les différentes bandes de fréquence est comprise entre 0,4s et 0,8s. Cette salle répond alors aux normes acoustiques d'un lieu d'enseignement.

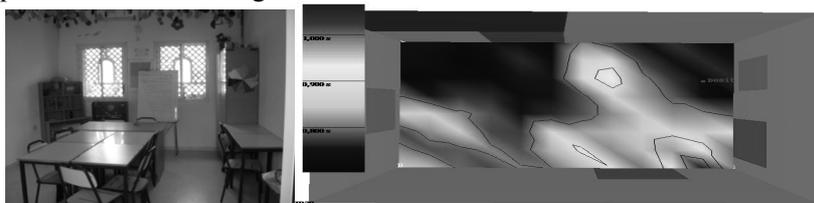


Figure 3. De gauche à droite : Photos de la salle 4, la variation du temps de réverbération dans la salle de classe 4 pour 1000 Hz.

La salle d'enseignement N°5

Pour la salle de classe N°5, il s'agit d'une salle d'enseignement, où l'éducateur teste la capacité de l'enfant à se concentrer. La variation du

temps de réverbération selon les différentes bandes de fréquence varient entre 0,48s pour 2000Hz et 0,91 pour 250Hz. Nous notons alors que cette salle aussi correspond aux normes acoustiques exigées pour un lieu d'enseignement.

Selon le paragraphe précédent, nous avons relevé des situations de stress chez les enfants autistes dues aux stimuli sonores extérieurs (sonnerie du centre ou du lycée adjacent). Nous jugeons nécessaire de voir l'influence du bruit de la sonnerie sur l'acoustique de la salle de classe. Les temps de réverbération passent 1,1 s pour 2000Hz pour arriver à 2,5s pour 125Hz.

4. Interprétation : les situations sonores émergentes

4.1. Première situation : le jeu de ballon

L'enfant bouche ses oreilles dès que l'éducateur commence à dribbler avec le ballon ou même avancer vers elle. L'analyse fréquentielle du signal sonore de cette scène (mesuré pour 75dB) révèle un son composé de hautes et moyennes fréquences (jusqu'au 7kHz).

Il s'agit d'une salle de sport d'un volume supérieur à 250m³ avec un temps de réverbération d'environ 1,2s. On note aussi l'abondance des surfaces réfléchissantes (miroir) et absorbante (panneau en bois et tapis). Malgré la mauvaise qualité acoustique, les observations ont montré que cet espace est l'espace préféré des enfants. On remarque une envie de s'échapper des salles d'apprentissage et un refus de quitter la salle de sport. La réaction de l'enfant (boucher ses oreilles) affirme qu'il s'agit bien d'une situation de stress sonore.

4.2. Deuxième situation : lancement de la musique

Il s'agit d'un niveau sonore associé à cette situation qui varie entre 72dB et 77dB. Le son émis est d'une moyenne fréquence autour de 4kHz. Pour la première expérience, avec l'enfant (Y), la musique a été lancée pendant un exercice de psychomotricité dans la salle de sport (salle vaste, $V > 250\text{m}^3$). Par contre pendant la seconde expérience avec l'enfant (M), la situation a été relevée dans la salle 4 qui la plus petite salle du centre ($V=85\text{m}^3$ et $TR= 0.6\text{s}$).

Le temps de réverbération dépend de l'usage auquel le local est réservé et qui est dans le second cas la voix humaine (parole) puisque que la salle N°4 est réservée à l'enseignement. En effet pour les locaux destinés à l'enseignement, ayant un volume inférieur à 250m^3 , le TR varie entre 0,4s et 0,8s⁷. Cette salle répond alors aux normes souhaitées. Pour la salle de sport qui a un volume $> 250\text{ m}^3$, destinée d'enseignement, de musique, d'études, d'activités pratiques, $0.6 \leq \text{TR} \leq 1.2$.

Donc ces deux locaux répondent aux normes exigées. En contre partie, l'analyse des mesures physiologiques corrélées avec les observations et les enregistrements vidéo montrent la manifestation de situations de stress sonore. Ce qui soulève le manque de la qualité "ambientale" essentielle à l'enfant autiste pour bien « vivre l'espace ».

4.3. Troisième situation: les sonneries

Il s'agit de deux sortes de sonneries : la sonnerie du centre (où se déroule l'expérience) et la sonnerie du lycée secondaire qui est adjacent au centre (une sonnerie toutes les heures). Dans les deux cas, il s'agit d'un son de hautes et moyennes fréquences d'un niveau sonore autour de 65dB. Les réactions détectées ont été repérées soit dans la salle d'apprentissage, la salle de sport ou comme dans le cas de la troisième expérience, dans la salle de classe N°4. Cette dernière est d'un volume $< 250\text{ m}^3$ et un $\text{TR} < 0.8\text{s}$.

Nous notons que l'enfant (C) (au cours de la troisième expérience) n'a manifesté aucune réaction par rapport aux stimuli sonores internes. Les réactions électrodermales enregistrées sont dues à des sources sonores extérieures. Ceci nous invite à étudier la composition fréquentielle du signal sonore, mais surtout de voir l'influence du bruit de la sonnerie sur l'acoustique de la salle de classe. Ce qui renvoie au travail de simulation, effectué au paragraphe précédent, le TR trouvé est supérieur à 1s pour toutes les bandes de fréquence. Cette valeur est supérieure à la norme exigée.

5. Conclusion

L'identification des situations de stress rencontrées par les enfants autistes est tributaire du cas étudié : chaque enfant autiste est singulier dans

7. Selon la norme française, l'article 5 de l'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements scolaires.

sa façon de vivre la déficience et d'interagir avec l'espace dans lequel il se trouve. Nous cherchons à trouver des situations ambiantales types que nous comptons améliorer. Nous tentons à travers cette recherche d'apporter une aide à la fois aux thérapeutes et aux familles, pour le suivi de l'apprentissage des enfants autistes. Ce qui permettra aux familles et aux thérapeutes d'anticiper, de se protéger et d'expérimenter peu à peu des situations de la vie quotidienne, pour lesquelles l'autiste ne « sait » réagir que par un comportement inadapté.

Pour cela, nous avons tenté d'établir un répertoire de situations sonores stressantes, *via* une mesure physiologique de l'activité électrodermale d'un enfant autiste dans son milieu d'apprentissage associée à une simulation numérique de la propagation sonore dans les espaces étudiés.

Cette corrélation a mis à jour des premiers résultats déjà très significatifs. En effet, nous avons trouvé une concordance entre la variation de l'enregistrement sonore et la variation de l'activité électrodermale du sujet face à certains événements sonores. La spatialisation de la situation de stress détectée a montré quant à elle que les espaces étudiés répondent aux normes acoustiques des lieux d'enseignement (salle de classe), ou les espaces multifonctionnels (salle de sport), mais restent pauvres d'un point de vue qualitatif et ne procure pas le bien être des enfants.

Ces résultats nous guident vers des perspectives projectuelles pour notre recherche : une phase de reconfiguration spatiale propose des dispositifs architecturaux de correction *in situ* tels que des panneaux amovibles pour un nouveau dispatching des sous espaces ou des surfaces à différentes textures et formes qui peuvent être accrochées sur les murs ou au plafond. Ceux-ci vont nous permettre de comparer la manifestation de ces situations ambiantales stressantes avant et après ces modifications.

Cette vision projectuelle des ambiances se déclinera en dernier lieu sous forme de semi-modèles conceptuels qui présenteront d'intégrer les préoccupations ambiantales dans les phases initiales de conception des projets. Etant donné que la composante ambiante intègre le vécu sensible de l'usager, elle n'a pas le caractère rigide⁸ des modèles de la physique. Les outils quantitatifs et la métrologie acoustiques ne cessent de progresser, que ce soit au niveau des techniques de saisie ou dans le traitement de l'information⁹. Nous souhaitons arriver alors à une mise au point d'un appareillage d'aide à la conception du projet. La création d'un

8. PENEAU J.P, *L'approche ambiante : une complexité augmentée*, SCAN'12, Paris, Septembre 2012.

9. AUGOYARD J.F & TORQUE, H. (Eds) *A l'écoute de l'environnement. Répertoire des effets sonores*. Marseille : Ed. Parenthèses, 1995, page6.

environnement sensoriel propice au développement des sens défaillants et qui joue ainsi un rôle primordial dans les mesures correctives du système sensoriel chez l'enfant TED. « *L'architecte (...) devient donc éducateur* ».

6. Bibliographie

- Augoyard J.F & Torgue, H. (1995). *A l'écoute de l'environnement. Répertoire des effets sonores*. Marseille : Ed. Parenthèses.
- Courteix, S. (2009). *Troubles envahissants du développement et rapports à l'espace*, Lyon, 35 p, LAF-ENSAL
- Demilly, E. (2005). *Autisme et architecture, relations entre formes architecturales et l'état clinique des patients, actes du colloque construire avec les sons*.
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal Activity*, University of Wuppertal, Wuppertal, Germany, second edition.
- Henriksen, K., & Kaup, M. L. (2010). *Supportive Learning Environments for Children with Autism Spectrum Disorders*, Kansas State University, 13 pages.
- Humphreys, S. (2008). *Architecture and autism*, 8 pages, Brussels
- MOSTAFA. M. (2008). *An architecture for autism: concepts of design intervention for the autistic user*, Archnet-IJAR International Journal of Architectural Research, Volume 2 - Issue 1, pp. 189-211.
- Péneau, J. P. (2012). *L'approche ambiante : une complexité augmentée*, SCAN'12, Paris.
- Picard, R. (2009). *Future affective technology for autism and emotion communication*, Philosophy Transactions of the Royal Society, Biological Sciences, vol. 364, no. 1535, 3575-3584.
- Whitehurst, T. (2007). *Evaluation of Features specific to an ASD Designed Living Accommodation*, Research and Development Officer Sunfield Research Institute, 12 pages.