



# ÉTUDE SUR LES EFFETS DU BRUIT DES AVIONS SUR LA SCOLARITÉ DES ÉLÈVES

---

**Etude menée pour l'Autorité de Contrôle des Nuisances  
Aéroportuaires (ACNUSA)**

**Par C. Marquis-Favre (DR ENTPE)**

**Mars 2018**

## 1. Introduction

Cette étude est introduite en rappelant le contexte, les orientations et les éléments bibliographiques exposés par l'ACNUSA. Cette étude constitue une mise à jour de ces connaissances à partir d'une étude bibliographique des résultats publiés dans la littérature.

### Contexte et orientations rappelés par l'ACNUSA

« Les interférences engendrées par le bruit des avions diminueraient les capacités d'attention des élèves et augmenteraient les phénomènes de distraction.

En outre, dans le bruit, une perte d'intelligibilité de la parole peut freiner les apprentissages fondamentaux notamment la compréhension du langage, surtout pour les enfants qui sont en plein développement phonologique. Il est alors plus difficile pour eux d'acquérir les subtilités du vocabulaire. Le masquage de la parole et la diminution de l'intelligibilité des enseignements peut entraîner chez l'élève une diminution de l'attention et un accroissement de la fatigue. Les études menées à proximité des aéroports ont ainsi mis en évidence des retards en lecture et en vocabulaire.

Enfin, le climat social peut être aussi détérioré dans la mesure où les communications sont souvent interrompues par le passage des avions. Des troubles du comportement peuvent apparaître (agitation ou désintérêt en cas d'absence de signal).

Les conséquences économiques de ces effets du bruit ne sont pas négligeables puisque 20% du décrochage scolaire seraient expliqués par les nuisances sonores (quelle que soit la source de bruit) ; le coût social du bruit dans les salles de classe serait évalué 6 milliards d'euros par an (ADEME, 2016). »

« Tout cela explique que l'OMS recommande que le bruit de fond n'excède pas 35 dB(A) durant les cours.

La qualité acoustique des locaux d'enseignement est un élément important de l'apprentissage verbal, qui représente lui-même la base des acquisitions scolaires. D'ailleurs, diverses publications scientifiques internationales démontrent que l'environnement acoustique de la salle de classe représente un facteur très important de la réussite scolaire (CAPS - Cellule Audition de Paris-Sud, 2003 » cité dans AFSSE, 2004).

« Face à l'accroissement du trafic aérien, la réduction des nuisances sonores aéroportuaires est devenue un enjeu majeur de santé publique. En témoigne la multiplication des études sur le sujet dans le monde entier.

Des études très anciennes menées en France et en Europe faisaient état d'une dégradation des apprentissages dans les zones exposées aux bruits des aéronefs. »

Source AFFSE (2004) :

*« En termes de niveaux absolus, une expérience conduite à Bordeaux (Billaud P., 1982) précise l'impact du bruit sur la reconnaissance des mots : sachant que le professeur prononce des phrases de 27 mots en moyenne, on constate d'abord que les élèves ne comprennent plus le sens général de la phrase à partir du moment où 5 mots ne sont plus ou mal entendus. On observe aussi que les taux d'erreurs sont différents selon l'environnement sonore dans lequel le cours est donné :*

*- niveau sonore ne dépassant pas 55 dB(A) : taux d'erreur 4,3 %*

*- niveau sonore de 60 dB(A) ou plus : taux d'erreur 15 %*

*L'étude des mécanismes de la perturbation a montré que dans le bruit, les enfants confondent certaines consonnes et que la distorsion des sons rend peu intelligibles certaines parties de mots, spécialement les fins de mots. L'absence de référence à un savoir ne permet pas aux jeunes élèves de reconstruire les bribes de phrases masquées par le bruit.*

*Dans une étude effectuée dans la zone d'Orly exposée au bruit des avions, Moch a analysé les résultats de tests passés en début et en fin d'année par deux groupes d'élèves de cours préparatoire (Moch A., 1987). Ses résultats confirment ceux des travaux précédents : les enfants qui fréquentent une école exposée au bruit ont des acquisitions de lecture en fin d'année moins bonnes que les enfants dont l'école est insonorisée. En outre, ils se montrent plus agités et plus instables que les autres durant les épreuves exigeant de l'attention. Le comportement des enfants en classes bruyantes est altéré (Lehman G., 1981) et lorsque ces classes sont insonorisées, la participation des élèves est très améliorée.*

*Une recherche très détaillée sur la gêne spécifique subie par les enfants a été menée auprès des enfants riverains de l'ancien et du nouvel aéroport de Munich (Evans G., Hygge S. et al., 1995), afin d'examiner chez les premiers l'effet de la diminution du bruit, et d'évaluer chez les seconds les conséquences de l'apparition du bruit. Les investigations comportent des mesures biochimiques et physiologiques ainsi qu'un examen des capacités intellectuelles des jeunes. Les enfants nouvellement exposés au bruit présentent des niveaux élevés d'hormones liées au stress (adrénaline). Ils montrent une bonne adaptation perceptive au bruit mais également un déficit dans la lecture et dans les exercices de mémoire. Ces difficultés augmentent lorsque les tâches deviennent plus complexes. On voit apparaître des manifestations d'agressivité, d'irritabilité, de fatigue, d'agitation psychomotrice, qui détériorent le climat des classes et peuvent être la source de conflits, de heurts et de bagarres.*

*Des chercheurs de l'Université de Londres ont mené une série d'études dans les écoles primaires autour de l'aéroport de Heathrow, à Londres, examinant les effets du bruit des avions sur la santé des enfants et sur leurs performances (1998-2000). Ils comparent la performance scolaire et la santé des enfants dans des écoles exposées à des niveaux élevés de bruit d'avions (parfois un survol toutes les 90 secondes) et celles d'enfants peu exposés au bruit d'avion. Les enfants exposés présentent une capacité plus faible en lecture (certains affichent un retard de lecture de 6 mois) et une irritabilité plus forte que les enfants se trouvant dans une école moins bruyante.*

*Ces résultats britanniques, obtenus en tenant compte d'autres facteurs pouvant influencer la santé et la performance, tels que le niveau socio-économique des parents, leur niveau d'éducation, les facteurs d'exclusion sociale, la qualité de l'école, les autres facteurs de l'environnement) confirment ceux des autres travaux européens. A l'inverse, les différentes recherches n'apportent pas une confirmation nette que le bruit affecte l'attention des enfants.*

*Les états européens et la France en particulier ont pris des mesures pour réglementer la construction des locaux scolaires nouveaux ; cependant il existe encore sans doute beaucoup d'établissements où les conditions acoustiques sont très médiocres, qu'il convient d'améliorer, pour limiter l'impact du bruit dans le domaine de l'éducation. »*

« Pourtant, en dépit des nombreuses études réalisées depuis plusieurs décennies sur les effets physiologiques associés à l'exposition au bruit des aéronefs chez les enfants, l'évaluation de ces effets s'avère encore aujourd'hui peu précise. Il existe peu de relations dose-effet documentées pour les différentes situations d'exposition au bruit.

Des recherches complémentaires sont nécessaires afin de pouvoir évaluer plus précisément l'impact du bruit des avions sur le lien complet entre le stress, les troubles du sommeil, les troubles de l'apprentissage et les performances académiques.

La protection des enfants soumis aux nuisances sonores autour des aéroports est donc bien un enjeu de santé publique et de qualité de vie. C'est pourquoi il est indispensable de dresser un état de l'art actualisé des effets potentiellement nocifs sur leur santé et leurs activités scolaires entravées pour améliorer l'environnement scolaire des enfants. »

## **L'étude bibliographique**

Les objectifs de l'étude bibliographique sont de :

- dresser un état des connaissances à partir des recherches menées, des années 2000 à aujourd'hui, sur l'impact du bruit des avions sur la scolarité et la santé des élèves,
- faire le point sur les méthodes employées et les limites des résultats obtenus afin d'identifier les manques,
- proposer des axes importants de recherche futurs.

L'étude bibliographique a été menée à partir de différents travaux de recherche décrits depuis les années 2000 dans des articles de revues scientifiques et de congrès internationaux.

Des synthèses de certains travaux sont disponibles dans des rapports tels que le rapport publié par l'Autorité de l'Aviation Civile britannique (Civil Aviation Authority, 2016), et dans des articles de synthèse comme celui de Stansfeld et Clark (2015).

L'étude bibliographique est présentée dans ce document par enquête et par année de publication des résultats associés.

En particulier, il est présenté des enquêtes conséquentes de par leurs résultats, comme l'enquête menée près de l'aéroport de Munich, celle du projet RANCH (Road traffic and Aircraft Noise exposure and children's Cognition and Health) et celle du projet NORAH (Noise-Related Annoyance, Cognition and Health). Ces enquêtes ont donné lieu ensuite à différentes analyses dont les résultats sont synthétisés dans ce document.

Enfin il est également consacré une partie de cette synthèse bibliographique à la revue systématique menée par Clark et Paunovic (2018) pour l'Organisation Mondiale de la Santé afin d'estimer le niveau de qualité de la preuve des effets du bruit sur les performances cognitives.

Cette étude bibliographique se termine par une conclusion reprenant les principaux résultats de la littérature, en soulignant les manques et améliorations à apporter, et en proposant les axes de travaux futurs, nécessaires pour pouvoir évaluer plus précisément l'impact du bruit des avions sur les performances cognitives.

## 2. Etat des connaissances issues des études menées entre 2000 et 2018

### Etude longitudinale et interventionnelle (Hygge *et al.*, 2002)

Durant la période observée, il faut mentionner dans un premier temps **l'étude longitudinale et interventionnelle portant sur l'aéroport de Munich** (Hygge *et al.*, 2002). Avant l'ouverture du nouvel aéroport international de Munich et l'arrêt de l'ancien aéroport, les enfants près de ces deux sites ont été recrutés en considérant des groupes de contrôle non exposés au bruit d'aéronef. Au total, 326 enfants (âge moyen = 10,4 ans) ont participé à trois vagues de collecte de données, une avant et deux après le changement d'aéroport. Les enfants effectuaient des tâches de lecture et de mémorisation à long terme dans une cabine mobile insonorisée. Dans cette cabine et à la maison, les enfants avaient rempli un questionnaire sur la qualité de vie et sur leur auto-évaluation de la qualité de leur sommeil. Avant le changement de site de l'aéroport de Munich, les niveaux d'exposition importants étaient associés à des déficits de mémoire à long terme et de la compréhension de la lecture chez les enfants exposés au bruit des avions. Deux ans après la fermeture de l'ancien aéroport, ces déficits cognitifs n'étaient plus présents, suggérant que les effets du bruit sur les performances cognitives peuvent être réversibles si le bruit cesse. Après le changement de site de l'aéroport, la mémoire à long terme et la compréhension de la lecture des enfants ont été altérées au cours des 2 années dans le groupe exposé au bruit du nouvel aéroport. La perception de la parole a été altérée également dans le groupe nouvellement exposé au bruit.

**Cette étude est une des rares études longitudinales apportant la preuve d'un effet du bruit sur les performances cognitives des enfants.** Elle permet d'illustrer de par ses résultats le bénéfice à tirer d'actions visant à réduire l'exposition au bruit des aéronefs à l'école. Cette étude suggère également qu'il faut quelques années pour que les déficiences se développent.

### Projet RANCH et les différentes études associées

**Une étude transversale** à grande échelle a été menée dans le cadre du **projet RANCH** (Road traffic and Aircraft Noise exposure and children's Cognition and Health). Ce projet a permis d'étudier l'effet du bruit sur le développement cognitif et la santé des enfants afin de répondre à la nécessité de développer des connaissances dans ce domaine comme le soulignait à différentes reprises l'Organisation Mondiale de la Santé.

La méthodologie utilisée a été décrite dans différents articles (e.g. Stansfeld *et al.*, 2009). L'échantillon étudié était de 2 844 enfants âgés de 9 à 10 ans fréquentant 89 écoles primaires, près de l'aéroport de Heathrow à Londres, de l'aéroport de Schiphol à Amsterdam et de l'aéroport Barajas à Madrid. Les écoles primaires ont été sélectionnées en fonction de leur exposition au bruit, comprise entre 30 et 77 dB(A), en  $L_{Aeq\ 7h-23h}$  pour le bruit des avions, et entre 32 et 71 dB(A), en  $L_{Aeq\ 7h-23h}$  pour le bruit de la circulation routière. L'étude a été conduite de 2001 à 2003.

Stansfeld *et al.* (2005) ont étudié la relation entre l'exposition à ces bruits de transport et la santé et les performances cognitives des enfants. Ils ont trouvé qu'il n'y avait pas d'association entre l'exposition chronique au bruit des avions ou au bruit de la circulation routière avec le score total issu du questionnaire Forces et Difficultés (SDQ), largement utilisé pour détecter la morbidité psychologique des enfants de 3 à 16 ans. En effet le bruit des avions et le bruit de la circulation routière ne semblent pas affecter l'état de santé mental global, ni ils n'affectent l'attention et l'état de santé auto-déclaré des élèves. Ils ont mis en évidence les associations entre le bruit des avions et une diminution de la compréhension de la lecture ainsi qu'une diminution de la mémoire de reconnaissance, après avoir pris en compte les facteurs socio-économiques et travaux d'isolation de la salle de classe au bruit. Ils considèrent l'exposition chronique au bruit des avions comme étant un agent stressant environnemental qui peut affecter le développement cognitif de l'enfant, en particulier la compréhension de la lecture. Leurs travaux indiquent qu'il n'y a pas de niveau sonore seuil au-dessus duquel les effets négatifs du bruit sur les performances cognitives commencent. Toute réduction de l'exposition au bruit des aéronefs devrait conduire à une amélioration de la compréhension de la lecture. Une augmentation de 5 dB de l'exposition au bruit des avions a été associée à un retard de 2 mois dans l'âge de la lecture au Royaume-Uni et à un retard de 1 mois aux Pays-Bas.

Puis Stansfeld *et al.* (2009) ont poursuivi l'analyse en examinant en détail les sous-échelles du questionnaire Forces et Difficultés (SDQ). Peu d'études examinaient auparavant le bruit et les troubles psychologiques chez les enfants et les résultats étaient ambigus. Stansfeld et ses collègues ont évalué à l'aide du questionnaire SDQ la santé mentale des enfants, en considérant en particulier les troubles émotionnels et l'hyperactivité. L'exposition au bruit des avions a été significativement associée avec un score accru de l'hyperactivité. Comme dans leur étude précédente, ils ont retrouvé qu'il n'existait pas d'association entre le bruit des avions ou le bruit de la circulation routière et le score total issu du questionnaire SDQ. Les résultats semblent donc indiquer que le bruit élevé des avions exacerbe les symptômes d'hyperactivité chez les enfants.

A partir également des données du projet RANCH, Clark *et al.* (2006) ont mené une étude épidémiologique pour examiner les relations exposition-effet entre l'exposition aux bruits des avions et de la circulation routière et la compréhension de la lecture. L'échantillon portait sur 2010 enfants âgés de 9-10 ans de 89 écoles autour des aéroports d'Amsterdam Schiphol, de Madrid Barajas, et de Londres Heathrow. Les données des Pays-Bas, de l'Espagne et du Royaume-Uni ont été analysées à l'aide d'une modélisation multiniveau. L'exposition au bruit des aéronefs à l'école était linéairement associée à l'altération de la compréhension de la lecture, après avoir pris en compte les variables socioéconomiques, la gêne due au bruit des avions, et d'autres capacités cognitives (mémoire épisodique, mémoire de travail et attention soutenue). L'exposition au bruit des aéronefs à la maison était fortement corrélée avec l'exposition au bruit des aéronefs à l'école et présentait une association linéaire similaire avec une compréhension de la lecture altérée. Les résultats étaient uniformes dans les trois pays, qui différaient par les variables socioéconomiques et environnementales, indiquant ainsi une preuve solide de la relation directe entre le bruit des aéronefs et une compréhension altérée de la lecture.

L'étude RANCH suggère que la compréhension de la lecture commence à chuter en-dessous de la moyenne pour une exposition au bruit des avions supérieure à 55 dB(A) ( $L_{Aeq16h}$ ). Comme l'association est linéaire, toute réduction dans l'exposition au bruit d'avion devrait améliorer la compréhension de lecture (cf. synthèse de Stansfeld et Clark, 2015). Les résultats indiquaient que l'attention et la mémoire de travail n'ont pas été influencées par le bruit des avions.

La gêne ressentie par les enfants a rarement été étudiée dans la littérature. Le projet RANCH a permis d'étudier la gêne et les relations exposition-réponse aux bruits routier et aérien à la maison et en milieu scolaire (van Kempen *et al.*, 2009). Les données du projet RANCH ont été utilisées par van Kempen et ses collègues pour comparer les réactions de gêne des enfants avec celles de leurs parents. Les réactions des parents et des enfants ont été mesurées à l'aide de questionnaires. L'étude a été réalisée sur l'ensemble des 2844 enfants, âgés de 9 à 10 ans des écoles primaires dans les zones entourant les aéroports de Londres (Heathrow), Amsterdam (Schiphol)

et Madrid (Barajas). L'exposition au bruit des avions à la maison et à l'école était significativement liée à une gêne exprimée très importante. La gêne due au bruit des avions est plus forte chez les enfants que la gêne due au bruit de la route, probablement en raison de l'intensité, de la variabilité et de l'imprévisibilité du bruit des avions par rapport au bruit de la route. Les formes des relations exposition-gêne obtenues pour les enfants étaient comparables à celles obtenues pour leurs parents, même si à des niveaux de bruit supérieurs à 55dB les enfants étaient moins gênés que leurs parents.

Pour les enfants au Royaume-Uni et aux Pays-Bas (1283 au total), constituant un sous-échantillon du projet RANCH, la pression artérielle des enfants a été mesurée (van Kempen *et al.*, 2010a). Le test NES (Neurobehavioral Evaluation System) a été mené sur le sous-échantillon composé des 553 enfants des Pays-Bas fréquentant 24 écoles primaires autour de l'aéroport Schiphol d'Amsterdam (van Kempen *et al.*, 2010b). Tous les enfants ont reçu un questionnaire à l'intention de leur mère ou de leur médecin pour qu'il soit complété à la maison avec les informations relatives à la santé et au comportement de l'enfant, à la gêne due au bruit et aux éventuels facteurs confondants tels que la durée de résidence, le type de vitrage, le statut socioéconomique, etc. (*cf.* van Kempen *et al.*, 2010a). Il est à souligner que la question du type de vitrage est posée classiquement lors des enquêtes socio-acoustiques afin que l'enquêteur ait une idée d'une bonne ou mauvaise isolation. Il serait plus pertinent de savoir si la salle de classe (ou le logement) a fait l'objet d'une réhabilitation acoustique, et que cette variable soit utilisée comme variable confondante dans les analyses. En effet les doubles vitrages utilisés classiquement dans les bâtiments ne sont pas une garantie d'une bonne isolation vis-à-vis du bruit extérieur, ils peuvent présenter des performances acoustiques moindres par rapport à un simple vitrage d'épaisseur de verre équivalente.

Aucune association directe n'a été mise en évidence entre l'exposition au bruit à l'école et les symptômes de santé auto-déclarés. L'exposition au bruit des avions et au bruit routier à l'école n'était pas liée à une augmentation statistiquement significative du nombre de symptômes déclarés. Des associations ont été trouvées entre la gêne exprimée et les symptômes de santé auto-déclarés : les enfants qui étaient gênés, ont rapporté plus de symptômes de santé par rapport aux enfants qui n'étaient pas gênés. Les enfants qui ont été gênés par le bruit des avions à l'école ont fait, de façon significative, plus de fautes au test d'attention SAT (Switching Attention Test) par rapport aux enfants qui n'étaient pas gênés par le bruit des avions à l'école. La capacité de mémorisation de ces enfants était également significativement plus courte lors du test de mémoire (digital memory span test). Les résultats concernant la mesure de la pression artérielle n'étaient pas en accord avec les modèles psychologiques de stress classiques : la gêne était associée à une baisse de la pression artérielle (*cf.* van Kempen *et al.*, 2010a). Les auteurs imputent ces résultats à la taille de l'échantillon.

Van Kempen *et al.* (2010b) retrouvent ces résultats pour le sous-échantillon limité aux enfants des Pays-Bas. Les effets de l'exposition au bruit de l'école ont été observés pour le test d'attention SAT : les enfants fréquentant les écoles ayant des niveaux de bruit de route ou d'aéronef plus élevés ont fait beaucoup plus d'erreurs. Ces effets de l'exposition au bruit de l'école ont été observés dans les parties les plus difficiles du test d'attention SAT. Sur la base de cette étude et de la littérature scientifique précédente, il semble que la performance sur les tâches simples est moins sensible aux effets du bruit que les performances cognitives sur des tâches plus complexes.

L'étude est intéressante, son analyse présente une amélioration par rapport aux analyses classiques antérieures : la structure hiérarchique des données (enfants dans différentes écoles) a été prise en compte par le biais d'une analyse multiniveau. Mais l'étude présente différentes limitations. Comme nous l'avons vu précédemment la variable confondante « type de vitrage » n'est pas pertinente car mal définie comme c'est le cas dans de nombreuses études. Ensuite, l'exposition au bruit des enfants était connue sur leur lieu de scolarisation via une modélisation des niveaux sonores. L'exposition au bruit des avions est relativement uniforme tout au long de la journée dans les aéroports étudiés, mais l'exposition au bruit routier peut connaître des variations liées aux variations de trafic au cours de la journée. Cette variation n'est pas prise en compte. Par ailleurs, il n'est pas considéré dans l'analyse l'exposition des enfants au bruit à leur domicile, et ni dans leur chambre à coucher pendant leur sommeil. Or si le bruit affecte la qualité de leur sommeil, cette perturbation pourrait être un facteur de diminution des performances observées en journée lors des tests cognitifs.

Une analyse spécifique des données du projet RANCH limitées aux 857 enfants du Royaume-Uni a été menée par Stansfeld *et al.* (2010) en considérant l'enquête menée en Allemagne par Hygge *et al.* (2002) lors du changement de site de l'aéroport de Munich (326 élèves, âge moyen 10.4 ans). Dans l'étude de Munich, l'analyse de l'auto-évaluation de la qualité du sommeil suggérait que la mauvaise qualité du sommeil n'était pas un médiateur entre

l'exposition au bruit et les performances cognitives. Stansfeld *et al.* (2010) ont mené l'analyse sur les données britanniques du projet RANCH en considérant des données secondaires déduites après la récolte des données du projet RANCH : il a été possible de récupérer des informations du niveau sonore nocturne auprès de l'autorité de l'aviation civile et de relier ces niveaux sonores aux codes postaux de la maison des enfants. Les auteurs soulignent qu'il s'agit d'une analyse sur des données secondaires qui ont nécessairement des limites : une étude idéale pourrait comprendre l'enregistrement physiologique de la perturbation du sommeil, la mesure de l'exposition individuelle au bruit nocturne. Dans l'étude de Stansfeld *et al.* (2010) comme dans celle d'Hygge *et al.* (2002) menée à partir d'auto-déclaration sur la qualité du sommeil, aucun résultat n'indique que le bruit nocturne ait eu un effet supplémentaire sur l'exposition au bruit diurne. Mais Stansfeld et ses collègues mentionnent que l'enquête initiale ne prévoyait pas d'analyser l'effet de l'exposition au bruit des avions nocturnes sur la performance cognitive des enfants. Il y a donc des limitations méthodologiques qui ne permettent pas de donner des réponses définitives à ces questions. En conclusion, les résultats des deux études suggèrent que l'exposition au bruit des aéronefs nocturnes ne semble pas aggraver la diminution des capacités cognitives induite par le bruit des avions de jour seul, mais que ces résultats nécessitent d'être vérifiés avec une étude basée sur des mesures physiologiques de la qualité du sommeil associées à la mesure des niveaux sonores nocturnes à la maison. Quoi qu'il en soit une action incontournable doit aussi viser à ce que l'école soit un lieu mieux isolé acoustiquement pour protéger les enfants contre les effets du bruit des avions sur les performances scolaires. Ceci est en accord avec les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé qui recommande l'amélioration des performances acoustiques des lieux de scolarisation.

Toujours à partir des données du projet RANCH, Crombie *et al.* (2011) ont étudié si le « risque biologique précoce » (nés prématurément ou avec un faible poids à la naissance) modère la relation entre l'exposition au bruit routier et au bruit aérien à l'école et la santé mentale en utilisant le questionnaire Forces et Difficultés (Strength and Difficulty Questionnaire SDQ). Ce questionnaire présente 25 items permettant d'évaluer les symptômes émotionnels, les problèmes de comportement, l'hyperactivité et l'inattention, les problèmes de relation avec les pairs et le comportement prosocial. Le poids à la naissance et la période de gestation, données du projet RANCH, ont été fusionnés pour créer une variable dichotomique d'évaluation du «risque biologique précoce» chez 1900 enfants de la cohorte du projet RANCH. L'analyse semble indiquer que les enfants présentant un risque biologique précoce ont une plus grande chance de développer des problèmes de santé mentale, mais cette dernière n'est pas plus vulnérable aux effets du bruit des avions et de la circulation routière à l'école par rapport à celle d'enfants ne présentant pas ce risque biologique précoce.

A partir d'un sous-échantillon de la cohorte d'enfants du projet RANCH, Clark *et al.* (2012) ont étudié si l'exposition à la pollution atmosphérique à l'école (dioxyde d'azote) est associée à des performances cognitives plus faibles des enfants. Cette analyse est menée pour 719 enfants de 9-10 ans de 22 écoles autour de l'aéroport Heathrow de Londres, pour lesquels des données de pollution de l'air étaient disponibles dans le projet RANCH. L'analyse a été menée à l'aide de modèles multiniveau. L'exposition à la pollution atmosphérique à l'école était modérée. Les résultats ont montré qu'elle n'avait pas d'effet sur les performances cognitives et n'a pas eu d'effet modérateur sur la relation entre l'exposition au bruit et les performances cognitives. L'exposition au bruit des avions était associée à une compréhension de la lecture plus faible et à la mémorisation de l'information plus faible, après ajustement du dioxyde d'azote. Le bruit routier n'était pas associé aux performances cognitives avant ou après ajustement de la pollution atmosphérique. La pollution de l'air modérée ne semble pas être un facteur confondant des associations entre le bruit et les performances cognitives. Les auteurs mentionnent que d'autres études pour des expositions à des niveaux plus élevés de pollution atmosphérique sont nécessaires pour compléter ces travaux.

Seabie *et al.* (2012) ont étudié l'impact de l'exposition au bruit des avions et l'effet modérateur de la langue maternelle en Afrique du Sud sur la compréhension de la lecture des enfants. Cette étude a été menée sous l'égide du projet RANCH. L'Afrique du Sud a onze langues officielles, la majorité de l'enseignement est menée en anglais, suivi de l'afrikaans. Une majorité de la population (74%) a une langue maternelle autochtone. Par conséquent, pour beaucoup d'élèves, l'anglais est leur deuxième et parfois même leur troisième langue, pour lequel ils ne sont peut-être pas compétents. Ainsi, les élèves avec un enseignement en anglais, seconde langue (English Second Language: ESL), peuvent être en difficulté, d'avoir à lire et à comprendre dans leur seconde langue et ce en présence du bruit du trafic aérien. L'échantillon comprenaient 437 (52%) élèves exposés à des niveaux élevés de bruit d'avion (groupe expérimental) et 337 (48%) d'élèves résidant dans une zone plus calme

(groupe témoin). Pour le groupe expérimental, 151 élèves parlaient l'anglais en langue maternelle (enseignement dans la première langue ; English as a first language: EFL) et 162 parlaient l'anglais en seconde langue (ESL). Dans le groupe de contrôle, les nombres étaient répartis de façon semblable (191 et 156). Un modèle linéaire général univarié a été utilisé pour étudier les effets de l'exposition au bruit des avions et de la langue maternelle sur la compréhension de la lecture, tout en observant l'impact possible de la capacité intellectuelle, du sexe et du statut socioéconomique sur les résultats. Pour les élèves EFL, il y a eu une forte réduction de la compréhension de la lecture dans le groupe expérimental exposé au bruit d'avion. En revanche, cette différence n'était pas significative pour les élèves ESL. Pour ces résultats, les auteurs suggèrent que des facteurs tels que l'accès aux ressources d'apprentissage pourraient différer entre les élèves EFL et ESL et expliquer les résultats.

Clark *et al.* (2013) ont examiné les **effets longitudinaux du bruit des avions sur la santé et le développement cognitif des enfants**, à partir d'une étude menée en 2008, six ans après le recueil des données du projet RANCH. Les auteurs soulignant le manque d'études longitudinales sur le bruit ambiant et l'apprentissage des enfants ont recherché si les associations entre le bruit et les performances cognitives se renforçaient avec le temps.

L'étude portait sur 27 écoles britanniques secondaires (enfants de 15-16 ans) en considérant les 29 écoles britanniques primaires du projet RANCH (enfants de 9-10 ans). L'exposition au bruit d'avion des écoles étaient estimées en  $L_{Aeq, 16h}$  entre 7 AM et 11 PM. Les données de bruit du projet RANCH dataient de juillet à septembre 1999, le niveau variait de 34 dB(A) à 68 dB(A) avec une exposition moyenne de 54 dB(A). Les données de l'étude de suivi dataient de juillet à septembre 2007, le niveau variait de 50 dB(A) à 65,4 dB(A) avec une exposition moyenne de 54 dB(A). Pour cette étude, le bruit routier n'a pas été estimé faute de moyens. Les évaluations de compréhension de la lecture, de santé psychologique et de gêne sonore ont été menées lors de l'étude de suivi. Les facteurs sociodémographiques, évalués au départ dans le projet RANCH, ont également été contrôlés dans cette étude.

Cette étude longitudinale avait trois objectifs :

- étudier si l'exposition au bruit des avions à l'école primaire présente des associations longitudinales avec la compréhension de la lecture, la gêne sonore et la santé psychologique six ans plus tard.
- étudier les associations transversales potentielles d'exposition au bruit des avions à l'école secondaire sur la compréhension de la lecture, la gêne sonore et la santé psychologique, car peu d'études ont examiné les associations de bruit sur la santé et le développement cognitif des enfants de ce groupe d'âge (15-16 ans).
- étudier les associations entre l'exposition cumulée au bruit des avions à l'école primaire et dans le secondaire et la compréhension de la lecture, la gêne sonore et la santé psychologique, afin d'évaluer l'effet de l'exposition au bruit des avions au travers de la scolarité de l'enfant.

L'hypothèse a été faite que les enfants exposés soit au bruit des avions à l'école primaire, soit au bruit des avions dans le secondaire, soit à l'exposition cumulée au bruit des avions à l'école primaire et dans le secondaire devraient présenter une compréhension de la lecture plus faible, une plus grande gêne sonore, et des scores d'hyperactivité plus élevés que les enfants fréquentant les écoles faiblement exposées au bruit des avions.

Les résultats menés à partir des 461 participants ayant donné leur consentement (taux de réponse 45.4%) ont montré que les enfants exposés au bruit des avions à l'école primaire ont rapporté une gêne sonore plus élevée six ans plus tard au secondaire, même après avoir pris en compte la gêne sonore ressentie à l'école primaire. Aucune association n'a été observée entre l'exposition au bruit des avions à l'école primaire et une compréhension de la lecture plus faible lors de l'étude de suivi, ni entre l'exposition au bruit des avions à l'école primaire et une santé psychologique plus faible lors du suivi. L'exposition cumulée au bruit des avions à l'école primaire et à l'école secondaire a montré des associations significatives avec la gêne sonore plus élevée à l'école secondaire. Les auteurs imputent la non-significativité de l'association entre l'exposition au bruit des avions et la compréhension de la lecture à la taille de l'échantillon. Il serait donc nécessaire pour des études futures, qu'un suivi de plus grands échantillons soit mené au cours du temps afin d'évaluer si les associations d'exposition au bruit à l'école primaire sur la performance cognitive dans l'enseignement secondaire peuvent être trouvées, et en étudiant l'effet de l'exposition cumulée. Les limites de cette étude longitudinale résident également dans le manque de données sur l'exposition au bruit des avions au domicile de l'enfant, sur les caractéristiques acoustiques de leur salle de classe, ou encore sur l'exposition au bruit routier de ces enfants.



Seabi (2013) a mené une **étude longitudinale et interventionnelle sur la santé des enfants et la gêne due au bruit des avions** en Afrique du Sud lors d'une modification de l'exposition chronique au bruit des avions. Cette étude a été menée sous l'égide du projet RANCH. L'objectif était de déterminer si des effets observés lors de l'exposition sonore au bruit des avions persistaient dans le temps ou s'ils étaient diminués après le changement de site de l'aéroport international de Durban.

Une première étape de l'étude menée en 2009 portait sur 732 enfants (âge moyen de 11,1 ans) et une deuxième étape en 2010 portait sur 649 enfants (âge moyen de 12,3 ans) et une troisième étape en 2011 portait sur 174 enfants (âge moyen : 13,3 ans). Les étapes 2 et 3 ont été réalisées après la réinstallation de l'aéroport. Tous les enfants provenaient de cinq écoles publiques sélectionnées en fonction de leur exposition au bruit. Deux écoles très exposées au bruit des avions (high noise group: HN) ont été sélectionnées. Les fenêtres, les murs, la façade des écoles n'étaient pas insonorisées. Le groupe exposé à un faible niveau de bruit (low noise group: LN) comprend des écoles situées dans des endroits non exposés au bruit des avions. Les groupes HN et LN ont les mêmes caractéristiques sociodémographiques (âge, langue parlée à la maison et misère sociale). Les niveaux sonores extérieurs pour le groupe HN de l'étape 1 variaient de 63,5 à 69,9 dB(A) en  $L_{Aeq}$ . Les niveaux de bruit maximum variaient de 89,8 à 96,5 dB(A) en  $L_{Amax}$ . Les niveaux d'exposition du groupe LN pour l'étape 1 étaient entre 54,4 et 55,3 dB(A) en  $L_{Aeq}$  et 73.2 à 74.3 dB(A) en  $L_{Amax}$ .

Les niveaux sonores pendant les étapes 2 et 3, pour les écoles plus calmes, présentaient des moyennes de 50,5 à 57,9 dB(A) en  $L_{Aeq}$  et 60,6 à 70,5 dB(A) en  $L_{Amax}$ . La gêne sonore et la santé des enfants étaient auto-déclarées à l'aide d'un questionnaire et d'échelles de Likert en 4 points.

Les résultats ont montré que l'exposition chronique au bruit des avions peut avoir un effet durable sur la gêne des enfants due au bruit des avions, mais pas sur l'auto-évaluation de leur santé. L'exposition au bruit n'a été définie que pour les écoles et non pour les foyers des enfants et, l'étude ne portait que sur une seule source de bruit.

Enfin, Clark *et al.* (2014) ont examiné à partir des données du projet RANCH les réactions des enseignants au bruit ambiant à l'école dû au bruit de la route et des avions. Ils les ont étudiées comme un mécanisme potentiel pouvant expliquer les effets du bruit sur les performances cognitives des élèves. Les enseignants interrogés lors du projet RANCH avaient complété un questionnaire relatif à la gêne sonore, au stress perçu et à leur perception de la façon dont le bruit pourrait interférer avec l'apprentissage et la performance cognitive des élèves, en faisant appel à des questions relatives à la communication des élèves, à leur concentration, à la qualité du travail, etc. La question relative à l'évaluation de la gêne était celle de l'ISO 2003 à cinq points. L'échelle à 10 points pour mesurer le stress ressenti permettait l'évaluation des niveaux de stress auto-déclarés au cours du dernier mois. L'échantillon était de 270 enseignants. Les enseignants exposés au bruit des avions à l'école étaient beaucoup plus gênés par le bruit des avions à l'école que les enseignants qui n'étaient pas exposés au bruit des avions à l'école. Le même résultat a été trouvé pour le bruit routier. Le bruit des avions et de la circulation routière n'était pas associé au stress exprimé. Les enseignants exposés au bruit des avions à l'école estimaient que ce bruit interférait avec la communication, la concentration, la performance et la qualité du travail des élèves. Le même résultat a été observé pour le bruit routier.

## Projet NORAH

Dans le **projet NORAH** (Noise-Related Annoyance, Cognition and Health – *cf.* Bergström *et al.*, 2012 ; Bergström *et al.*, 2015 ; Spilski *et al.*, 2017), il a été étudié l'effet du bruit des avions sur les performances cognitives des enfants. Un échantillon de 1243 enfants (âge moyen : 8 ans ; 60% issus de l'immigration) de 29 écoles primaires a été considéré. Les enfants étaient exposés à des niveaux de bruit d'avion allant de 40 dB(A) à 62 dB(A) ( $L_{Aeq}$  8h-14h). Leurs écoles ont été regroupées en fonction de leur exposition au bruit (40 – 45 dB(A) ; 45 – 50 dB(A) ; 50 – 55 dB(A) et > 55 dB(A)), avec 7 ou 8 écoles dans chaque catégorie. La capacité de lecture, la mémoire à long terme, les capacités non verbales, l'attention, la perception de la parole, la mémoire verbale à court terme et la conscience phonologique ont été évaluées. Les variables connues pour influencer sur l'acquisition de la lecture, telles

que les méthodes d'enseignement de la lecture, le statut socio-économique des enfants et la langue parlée à la maison, ont été évaluées au moyen de questionnaires donnés aux enseignants et aux parents. En plus la qualité de vie et la gêne ressentie par les enfants ont été évaluées à l'aide de questionnaires donnés aux enfants. Le temps de réverbération a été défini dans les salles de classe. Le bruit des avions, du trafic routier et du trafic ferroviaire étaient calculés, pour chaque enfant, à l'école et à leur domicile. Pendant les tests de performance menés par groupe dans les salles de classe, le bruit ambiant a été enregistré. Une modélisation multiniveau (élèves et écoles) a été considérée avec les variables continues dépendantes, bruit des avions à l'école et bruit des avions à la maison (cf. Bergström *et al.*, 2012).

Bien que les niveaux d'exposition des écoles étaient inférieurs à 60 dB, niveaux sonores beaucoup plus bas que dans les études précédentes, les analyses multiniveau ont révélé que l'augmentation de l'exposition était linéairement associée à une diminution de la qualité de vie, une augmentation de la gêne sonore, et une diminution de la performance en lecture. Les analyses multiniveau ont en effet révélé des effets significatifs du bruit des avions sur la compréhension de la lecture par les enfants après ajustement des facteurs confondants au niveau des individus (ex. statut socioéconomique) et au niveau des salles de classe (ex. bruit de la circulation routière, isolation phonique de la classe). Une augmentation de 20 dB de l'exposition au bruit des avions était associée à une diminution des scores de lecture, correspondant à un retard de lecture d'environ 2 mois. Aucun effet n'a été trouvé sur les précurseurs verbaux de l'acquisition de la lecture. Les rapports des enseignants (N=84) indiquaient que de graves perturbations de l'instruction en classe dues au bruit des avions peuvent contribuer à un effet sur la lecture (Bergström *et al.*, 2015 ; Spilski *et al.*, 2016 ; Klatte *et al.*, 2016). Ces résultats indiquent que l'association entre l'exposition au bruit des aéronefs et la lecture pourrait être influencée par la distraction des enfants induite par le bruit pendant les leçons. Par ailleurs, il est prouvé que l'exposition au bruit des aéronefs a des effets différents sur les enfants issus ou non de l'immigration. Les analyses des sous-groupes ont montré une association significative entre le bruit des avions et les scores faibles de lecture chez les enfants non issus de l'immigration, alors que chez les enfants migrants, l'association n'était pas significative (Spilski *et al.*, 2017). Ce résultat rejoint les résultats de Seabi *et al.* (2012) qui trouvaient en Afrique du Sud que le bruit des avions avait un effet sur les performances cognitives des enfants de langue maternelle anglaise, et pas sur les enfants d'autres langues maternelles. Spilski et ses collègues (2017) ont également montré que le niveau d'urbanisation du quartier où vivaient les enfants avait un rôle modérateur sur les performances de la lecture des enfants. Ainsi le bruit des avions a un effet sur les enfants d'un quartier moyennement urbanisé, mais pas d'effet sur les enfants de quartier fortement urbanisé.

## Synthèse conduite par le réseau ENNAH

Lors de la publication de son rapport en 2013, le **réseau européen sur le bruit et la santé ENNAH** (European Network on Noise and Health) dresse les voies causales potentielles entre les résultats d'apprentissage des enfants et le bruit des avions et le bruit routier.

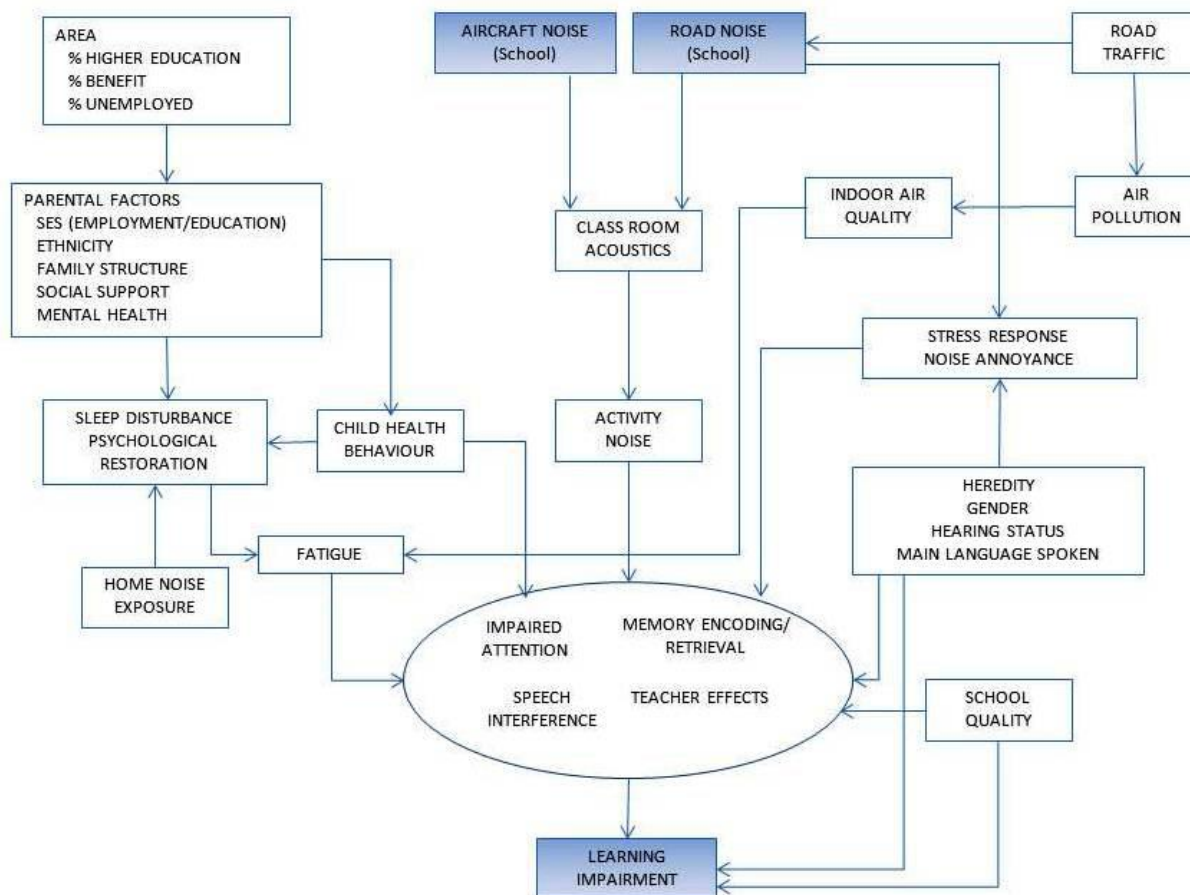


Figure 1 : Voies causales potentielles entre les résultats d'apprentissage des enfants et le bruit des avions et le bruit routier - Figure issue du rapport ENNAH (cf. figure 6: Association between road traffic and aircraft noise and learning impairment – ENNAH, 2013)

Cette figure résume :

- les facteurs de modification de l'exposition à l'école à prendre en compte, comme l'isolation des vitrages, la conception acoustique des classes et leur mobilier, le bruit des activités menées en classe.
- L'exposition au bruit à la maison doit être prise en compte car elle est susceptible d'affecter le sommeil et une restauration psychologique, elle engendrait alors une fatigue de l'élève pour pouvoir mener à bien ses apprentissages le lendemain à l'école.
- La pollution de l'air due au trafic routier affectant la qualité de l'air intérieur contribuerait également à l'état de fatigue chez l'élève.
- Les facteurs relatifs à la famille de l'élève (socio-démographiques, santé mentale, etc.) joueraient sur le comportement de l'élève se répercutant sur son sommeil et sa capacité de récupération, et sur son attitude en classe.
- Les différents facteurs socioéconomiques sont à prendre en compte dans l'analyse, car souvent les élèves scolarisés dans les zones fortement exposées au bruit des avions ont un statut socio-économique bas qui est souvent fortement lié aux capacités de lecture des enfants. Ainsi dans une étude, l'effet négatif du bruit des avions sur la lecture n'a pas été confirmé après ajustement par le statut socioéconomique des élèves (cf. Haines *et al.*, 2002).
- Il est mentionné également l'effet du stress et de la gêne due au bruit routier à l'école sur les performances cognitives de l'élève. Le stress et la gêne sont des variables intermédiaires entre l'exposition au bruit et les performances cognitives. Le stress et la gêne sont affectés par les caractéristiques individuelles qui seraient un facteur confondant.

- Des stratégies d'adaptation employées par des enfants pendant les apprentissages tels que se couvrir les oreilles ou arrêter de travailler en attendant la fin du bruit, peuvent influencer l'effet du bruit sur les performances cognitives.
- Des études montrent une certaine association entre le bruit des avions, le bruit de la circulation routière et les symptômes d'anxiété et de médicaments liés à l'anxiété. Il existe des preuves modérées que le bruit de la circulation routière et des avions entrave la qualité de vie chez les enfants.

Le réseau ENNAH mentionne également que les experts de la question des effets du bruit sur la santé, soulignent le fait que les indicateurs  $L_{den}$  et  $L_{night}$  actuellement utilisés ne sont pas suffisants pour rendre compte des effets tels que la gêne et la perturbation du sommeil. Ces indices de niveau sonore moyen sont certainement insuffisants pour rendre compte d'autres effets du bruit sur la santé. Le réseau ENNAH indique qu'il y a donc la nécessité de considérer d'autres indices tels que des niveaux sonores maximums  $L_{Amax}$  d'événements sonores ou le nombre d'événements par exemple. Il serait également intéressant de considérer la durée de l'exposition au bruit, car cette dernière est un agent de stress. S'il est souhaité de considérer la perturbation du sommeil par le bruit, l'exposition au bruit doit alors être considérée dans la chambre à coucher. L'exposition cumulée et ses effets doivent également être considérés. Ces éléments sont donc à considérer s'il est souhaité de prendre en compte une fatigue des élèves liée à l'exposition au bruit subie sur leur trajet école/domicile et à la maison.

Le réseau ENNAH conclut qu'il faut des études longitudinales qui examinent l'exposition au bruit avec un suivi des sujets et l'observation des effets sur la santé au cours du temps. Les recherches futures devraient également examiner les effets des sources sonores combinées peu étudiés, les effets de l'exposition au bruit combiné à d'autres facteurs de stress environnemental, y compris la pollution de l'air, afin de comprendre dans ce dernier cas la contribution relative par exemple entre l'exposition au bruit et la pollution de l'air.

## Synthèse menée par Stansfeld et Clark (2015)

Dans leur **article de synthèse**, Stansfeld et Clark (2015) listent les effets du bruit sur les enfants (petit poids à la naissance, etc.) avec en particulier les effets du bruit sur les performances cognitives des enfants. Ils soulignent que les forts niveaux sonores d'exposition sont souvent associés à des populations en difficultés sociales, et à des difficultés d'apprentissage. Ces éléments sont donc des variables confondantes potentielles et les facteurs socioéconomiques sont à prendre en compte dans les analyses. Stansfeld et Clark soulignent que peu d'études évaluaient les effets du bruit dans les salles de classe lors de l'évaluation de l'effet du bruit environnemental. Or, Shield et Dockrell (2008) ont montré des effets des deux sources de bruit à l'école sur les performances des enfants londoniens âgés de 7 à 11 ans lors de tests nationaux. Les performances des enfants les plus âgés étaient les plus affectées par le bruit extérieur. La relation la plus forte des scores des tests a été mise en évidence avec l'indice  $L_{Amax}$ , indiquant ainsi que cet indice rendant compte des événements sonores les plus forts était pertinent pour rendre compte des effets négatifs de l'exposition au bruit environnemental sur les performances des enfants à l'école. Les scores des tests étaient impactés également par le bruit intérieur dans la classe, le bruit de fond étant significativement lié aux résultats des tests.

Stansfeld et Clark (2015) rapportent également dans leur article les travaux financés par le comité fédéral interagences sur le bruit de l'aviation aux Etats-Unis (cf. Zusman, 2007). Cette étude visait à évaluer si une diminution brusque de l'exposition au bruit des avions dans les salles de classe, due soit à la fermeture de l'aéroport ou à une nouvelle isolation acoustique de la salle de classe, était associée à des améliorations dans les résultats des tests, dans 35 écoles publiques proches de trois aéroports américains dans l'Illinois et le Texas. L'étude s'est appuyée sur des niveaux calculés du bruit intérieur et extérieur. Dans l'ensemble, cette étude a trouvé des preuves pour les effets de la réduction du bruit des aéronefs et l'amélioration des résultats aux tests standardisés. Pour cette étude pilote, les auteurs soulignent que des études plus vastes et des études longitudinales sont nécessaires, et ce en utilisant les données aéroportuaires pour l'évaluation de l'exposition au bruit extérieur, et des mesures d'isolement acoustique des salles de classe doivent être réalisées. Stansfeld et Clark (2015) rapportent qu'une comparaison des résultats de cette étude avec d'autres résultats de la littérature reste difficile (ex. indices de bruit calculés).

Stansfeld et Clark (2015) concluent leur synthèse en indiquant qu'il existe des preuves suffisantes des effets du bruit ambiant chez les enfants sur la sécrétion de catécholamines, la gêne sonore, le bien-être et les effets cognitifs tels que la compréhension de la lecture, la mémoire à long terme et les performances aux tests

standardisés. Étant donné ces preuves, la question de la réduction des déficiences d'apprentissage induites par le bruit devient importante. Une possibilité est une réduction du bruit dans la salle de classe grâce à l'isolation phonique. Ils mentionnent également qu'il pourrait également être bénéfique d'obtenir des relations exposition-réponse à partir d'autres indices de bruit. Les récents progrès de la modélisation du bruit peuvent améliorer les connaissances sur les effets du bruit sur les résultats d'apprentissage.

## Synthèse menée par Basner *et al.* (2017)

Dans leur **article de synthèse**, Basner *et al.* (2017) soulignent les mécanismes liant l'exposition chronique au bruit des avions et l'apprentissage. Le bruit des avions peut affecter directement le développement de compétences cognitives telles que la lecture et la mémoire. Des effets sont à considérer tels que les difficultés de communication, la frustration des enseignants et des élèves, et la perturbation du sommeil causée par l'exposition à la maison qui pourrait entraîner des performances diminuées le lendemain. Ils soulignent que le bruit cause une gêne, particulièrement si un individu sent que ses activités sont dérangées ou s'il y a des difficultés de communication. Chez certains individus, les réactions de gêne peuvent entraîner des réactions physiologiques et psychologiques, ce qui pourrait expliquer les résultats d'apprentissage plus faibles.

Basner *et al.* (2017) mentionnent l'étude transversale<sup>1</sup> menée auprès de 6000 écoles exposées entre 2000 et 2009 au bruit des avions et concernant 46 aéroports des États-Unis. Ces travaux ont trouvé des liens significatifs entre le bruit des avions et les tests standardisés de mathématiques et de lecture, après avoir pris en compte les facteurs démographiques et les caractéristiques acoustiques des écoles. Dans un sous-échantillon de 119 écoles, il avait été constaté la disparition de l'effet du bruit des avions sur l'apprentissage des enfants une fois que l'école avait installé une isolation phonique. Ces études suggèrent que l'isolation des écoles donne des améliorations dans l'apprentissage des enfants.

Basner *et al.* (2017) rappellent également les directives communautaires sur le bruit de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2000) qui suggèrent que le niveau de pression acoustique ( $L_{Aeq}$ ) dans les classes pendant les cours ne devrait pas dépasser 35dB(A) pour assurer une bonne intelligibilité de la parole (*cf.* Berglund *et al.*, 1999). Les lignes directrices données par l'Organisation Mondiale de la Santé recommandent également que les niveaux sonores des terrains de jeux extérieurs de l'école ne devraient pas dépasser 55 dB(A) ( $L_{Aeq}$ ) pendant les récréations, et que le temps de réverbération dans les salles de classe ne devrait pas dépasser 0.6 s pour des salles d'un volume d'environ 250 m<sup>3</sup>. Ces directives de l'OMS sont également rappelées dans le rapport de l'Autorité de l'Aviation Civile britannique (Civil Aviation Authority, 2016).

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2011) estime que pour les performances cognitives des enfants, le nombre d'années de vie ajustées de l'incapacité (disability-adjusted life-years (DALYs)) est égal à 45 036 chaque année, pour les enfants âgés de 7 à 19 ans dans les pays de la région A de l'Europe, en raison de l'exposition au bruit ambiant.

Nous mentionnerons ici l'étude menée par Trimmel *et al.* (2012) car elle illustre la nécessité de suivre les recommandations de l'OMS concernant les lieux de scolarisation, rappelées par Basner *et al.* (2017) ou (Civil Aviation Authority, 2016). Les travaux de Trimmel *et al.* (2012) portent sur **l'étude des effets du bruit d'avion de faible intensité sur les performances cognitives lors d'une expérience en conditions contrôlées**. Au travers d'une expérience de 2 h 15 min, 3 groupes d'une vingtaine de personnes (âgés de 19 à 38 ans) étaient respectivement dans les conditions suivantes : bruit de fond de 35 dB(A) d'une pièce calme (groupe de contrôle), bruit de voisinage (parole non intelligible provenant d'une pièce attenante) avec un niveau maximal intérieur de 45dB(A), et bruit de passage d'avion d'une durée de 27 s avec un niveau maximal intérieur de 48 dB(A) présentés toutes les minutes. Les personnes devaient réaliser des tâches d'apprentissage. Des mesures physiologiques de conductance de la peau et de rythme cardiaque ont été réalisées. Les résultats indiquent des effets des bruits de

---

<sup>1</sup> Sharp B., Connor T.L., McLaughlin D., Clark C., Stansfeld S.A., Hervey J. (2014) Assessing Aircraft Noise Conditions Affecting Student Learning. Washington, DC, USA: Transportation Research Board of the National Academies. Référence citée par Basner *et al.* (2017).

voisinage et d'avion sur les performances cognitives et les réponses physiologiques des personnes. Le bruit d'avion a impacté les scores obtenus aux tests menés à l'issue de la phase d'apprentissage et modifié les structures d'apprentissage indiquant que des mécanismes d'apprentissage différents ont été mis en place par les personnes. Le bruit d'avion engendre également une réponse physiologique plus importante.

Des exemples de travaux peuvent également être trouvés dans la littérature pour illustrer les effets d'une mauvaise acoustique des salles de classe. Ainsi Klatté *et al.* (2010) ont montré, en menant une expérience en conditions contrôlées, l'effet négatif du bruit ambiant et de temps de réverbération ne respectant pas les recommandations de l'OMS sur la perception de la parole et la compréhension orale des enfants.

## Revue systématique des effets du bruit des avions sur les performances cognitives des enfants

Clark et Paunovic (2018) ont réalisé une **revue systématique sur les effets du bruit des transports** et des éoliennes **sur les performances cognitives des enfants** (lecture, mémoire, attention) pour l'Organisation Mondiale de la Santé. Sur un total de 34 articles publiés avant juillet 2015, Clark et Paunovic indiquent que 82% des études sont des études transversales (n=28), 74% des études considéraient le bruit des avions (n=25), 88% des études étudiaient les associations potentielles quand les enfants étaient à l'école, 79 % d'études considéraient l'indice de bruit  $L_{Aeq}$ , et très peu l'indice  $L_{Amax}$ . Différentes capacités cognitives ont été étudiées. Les capacités les plus étudiées étaient la compréhension de la lecture et la compréhension orale (n=14), évaluées par des tests directs (41%) ou par des tests standardisés (Standardised Achievement Test (SAT)) (38%). Les 14 études traitant de ces capacités cognitives considéraient le bruit des avions. Onze d'entre elles étaient des études transversales. L'examen de ces études indique une preuve d'une qualité modérée (*cf.* OMS, 2012) concernant les effets du bruit des aéronefs sur la compréhension de la lecture et sur la compréhension orale. Il est octroyé une «preuve d'une faible qualité» par défaut aux études ayant un plan d'étude transversal (*cf.* OMS, 2012). Sept études avaient étudié les capacités cognitives à l'aide des tests standardisés (SAT). L'examen de ces études a montré qu'il y avait une preuve de qualité modérée pour un effet du bruit des aéronefs sur ces tests d'évaluation standardisés. Onze études portaient sur les effets du bruit des avions sur la mémoire à court-terme et à long-terme. Parmi elles, une étude seulement était longitudinale. Leur examen a montré qu'il y avait une preuve de qualité modérée concernant un effet du bruit des aéronefs sur la mémoire à long-terme et à court-terme. Enfin, 10 études traitaient de l'effet du bruit des avions sur l'attention des élèves. Huit d'entre elles étaient des études transversales. Les résultats étaient très controversés quant à une association significative. Leur examen a ainsi conduit à une preuve d'une faible qualité concernant aucun effet du bruit des avions sur l'attention des élèves. Neuf études transversales ont mené des tests de mémoire de travail. Leur examen a conduit à la conclusion d'une preuve d'une qualité très faible concernant aucun effet du bruit des avions sur la mémoire de travail.

Il est souligné que la preuve de qualité faible pour certains résultats de la littérature ne signifie pas nécessairement qu'il n'y a pas d'effets, mais qu'un plus grand nombre d'études est nécessaire. En effet, une grande limitation pour mener une revue systématique est le faible nombre d'études. Ce faible nombre impacte alors la qualité de la preuve rapportée.

Il est à noter que nombre d'études publiées utilisent les mêmes données (ex. les études liées au projet RANCH), soulignant un manque de preuves de la part d'études longitudinales et interventionnelles sur l'ensemble des résultats cognitifs.

Ces travaux mettent en évidence non seulement un manque d'études longitudinales et interventionnelles pour les effets du bruit sur différentes performances cognitives, mais aussi un manque d'études examinant les relations exposition-réponse dans les différents domaines cognitifs. La plupart des études tendent à examiner les enfants âgés de 8 à 12 ans et les études futures devraient également considérer les effets du bruit dans l'environnement sur la cognition des enfants plus jeunes, y compris les nourrissons, et les adolescents. De plus, aucune étude épidémiologique ne s'est intéressée aux populations adultes, ceci constitue également une priorité de recherche pour des recherches futures.

Les travaux menés et reportés dans la littérature utilisaient des mesures du bruit basées sur le niveau de pression acoustique moyennée au cours d'une période donnée, comme la période de jour ou de nuit. Il y a un réel débat au sein de la communauté de chercheurs sur la question de savoir si des indices d'énergie acoustique moyennée sur des périodes si importantes, tels que l'indice  $L_{Aeq}$ , rendent compte au mieux de la réaction de l'organisme à

l'exposition au bruit environnemental. D'autres mesures du bruit doivent être explorées en relation avec les performances cognitives. Certaines études récentes ont trouvé des effets sur les performances cognitives en considérant l'indice  $L_{Amax}$  (niveau sonore maximum atteint sur une période donnée) et  $L_{Aeq}$ .

Par ailleurs Clark et Paunovic (2018) soulignent que la disparité des méthodes utilisées dans les différentes études empêche de mener une méta-analyse. En effet, les études n'étaient pas uniformes dans la façon de définir l'exposition au bruit ou dans la façon de mesurer les capacités cognitives spécifiques. Contrairement aux études menées entre les années 70 et 80, la plupart des études récentes ont pris en compte les facteurs socio-économiques. Pour permettre des méta-analyses menées sur plusieurs études, Clark et Paunovic recommandent que les études donnent des informations telles que la taille des effets pour un incrément de 1 dB et 5dB de l'exposition au bruit, le domaine de variation de l'exposition au bruit de la population même si les études portent uniquement sur certaines valeurs d'exposition, et enfin des valeurs standardisées des effets cognitifs (e.g. Z-scores). Elles indiquent la nécessité de conduire d'autres études en mentionnant par exemple, qu'une exposition au bruit pendant la période prénatale est connue pour affecter les aptitudes cognitives dès la petite enfance (cf. Sentis *et al.*, 2017) et que les études futures devraient être menées en considérant la pollution atmosphérique car cette dernière peut affecter le fonctionnement cognitif tout au long de la vie.

### 3. Conclusions et perspectives

Les principaux résultats de cette étude bibliographique sont résumés ci-après.

\* **L'étude longitudinale interventionnelle menée autour de l'aéroport de Munich** a montré que :

- Des niveaux d'exposition importants étaient associés à des **déficits de mémoire à long terme et de la compréhension de la lecture** chez les enfants exposés au bruit des avions.
- Les **effets** du bruit sur les performances cognitives peuvent être **réversibles si le bruit cesse**. Les résultats indiquent donc le **bénéfice** à tirer d'actions visant à **réduire l'exposition au bruit** des aéronefs à l'école.

\* **Différentes études transversales ont été menées à partir des données du projet RANCH** (Road traffic and Aircraft Noise exposure and children's Cognition and Health), les résultats suivants ont été obtenus :

- Le bruit des avions ne semble pas affecter l'état de santé mental global, ni il n'affecte l'attention et l'état de santé auto-déclaré des enfants.
- Des associations entre le **bruit des avions** et une **diminution de la compréhension de la lecture** ainsi qu'une **diminution de la mémoire de reconnaissance** ont été mises en évidence.
- Il n'y a pas de niveau sonore seuil au-dessus duquel les effets négatifs du bruit sur les performances cognitives commencent.
- L'exposition au bruit des avions a été significativement associée avec un **score accru de l'hyperactivité** : le bruit élevé des avions semble exacerber les symptômes d'hyperactivité chez les enfants.
- Les résultats étaient uniformes dans les trois pays d'étude (Royaume-Uni, Pays-Bas, Espagne), qui différaient par les variables socioéconomiques et environnementales, indiquant ainsi une preuve solide de la relation directe entre le bruit des aéronefs et une compréhension altérée de la lecture.
- Comme l'association entre le bruit des avions et la compréhension de la lecture est linéaire, **toute réduction** dans l'exposition au bruit d'avion **devrait améliorer** la compréhension de la lecture. **L'attention et la mémoire de travail n'ont pas été influencées** par l'exposition au bruit des avions.
- Les enfants gênés par le bruit des avions ont rapporté plus de symptômes de santé par rapport aux enfants qui n'étaient pas gênés.
- **Les enfants gênés par le bruit des avions à l'école ont fait, de façon significative, plus de fautes au test d'attention** par rapport aux enfants qui n'étaient pas gênés par le bruit des avions à l'école. La **capacité de mémorisation** de ces enfants était également significativement **plus courte** lors du test de mémoire.
- Il semble que les **performances sur les tâches simples sont moins sensibles aux effets du bruit que les performances cognitives sur des tâches plus complexes**.

**\* L'étude longitudinale menée six ans après le projet RANCH a montré que :**

- L'exposition cumulée au bruit des avions à l'école primaire et à l'école secondaire a montré des associations significatives avec la gêne sonore plus élevée à l'école secondaire.
- Aucune association n'a été trouvée entre l'exposition au bruit des avions à l'école primaire et une santé psychologique plus faible observée lors du suivi.
- Aucune association n'a été observée entre l'exposition au bruit des avions à l'école primaire et une compréhension de la lecture plus faible lors de l'étude de suivi.

Les auteurs imputent la non-significativité de l'association entre l'exposition au bruit des avions et la compréhension de la lecture à la taille de l'échantillon.

**\* L'étude transversale menée sur les données du projet NORAH a montré que** pour des niveaux d'exposition à l'école inférieurs à 60 dB, l'augmentation de l'exposition était linéairement associée à une diminution de la qualité de vie, à une augmentation de la gêne sonore, et à une diminution de la performance en lecture.

**\* Une revue systématique sur les effets du bruit des transports sur les performances cognitives des enfants a mis en évidence :**

- Une **preuve d'une qualité modérée des effets du bruit des aéronefs sur la compréhension de la lecture et sur la compréhension orale**
- Une preuve de qualité modérée pour un effet du bruit des aéronefs sur les tests d'évaluation standardisés (SAT)
- Une **preuve de qualité modérée concernant un effet du bruit des aéronefs sur la mémoire à long-terme et à court-terme**
- Une **preuve d'une faible qualité concernant aucun effet du bruit des avions sur l'attention des élèves**
- une **preuve d'une qualité très faible concernant aucun effet du bruit des avions sur la mémoire de travail.**

**Le faible nombre d'études menées sur les effets du bruit sur les performances cognitives impacte la qualité de la preuve.**

Il existe à travers les travaux de la littérature des preuves suffisantes des effets du bruit des avions chez les enfants sur la sécrétion de catécholamines, la gêne sonore, le bien-être et les effets cognitifs tels que la compréhension de la lecture, la mémoire à long terme et les performances aux tests standardisés. Étant donné ces preuves, la question de la réduction des déficiences d'apprentissage induites par le bruit est importante. Une **action incontournable doit viser à ce que l'école soit un lieu mieux isolé acoustiquement** pour protéger les enfants contre les effets du bruit des avions sur les performances cognitives. Ceci est en accord avec les **recommandations de l'OMS** (niveau sonore dans la salle de classe inférieur à 35 dB(A) pendant les cours, temps de réverbération de 0.6 s maximum pour une salle d'un volume d'environ 205 m<sup>3</sup>, niveau sonore inférieur à 55 dB(A) pendant les récréations). En effet l'OMS insiste pour que **les performances acoustiques des lieux de scolarisation soient considérées dès le stade de leur conception, car la maîtrise du bruit dans l'environnement scolaire est un enjeu sociétal majeur.**

**Cette synthèse bibliographique a mis en évidence des manques et des améliorations à considérer pour des travaux futurs. Ces manques et améliorations sont présentés ci-après avec différentes pistes de recherche futures.**

\* Des facteurs de modification de l'exposition à l'école sont à prendre en compte, comme l'isolation des vitrages, la conception acoustique des classes et leur mobilier, le bruit des activités menées en classe.

La question du type de vitrage est posée classiquement dans la majorité des enquêtes socio-acoustiques afin que l'enquêteur ait une idée d'une bonne ou mauvaise isolation. Il serait plus pertinent que l'enquêteur sache si



l'école a fait l'objet d'une réhabilitation acoustique, et qu'il utilise cette variable comme variable confondante dans les analyses. En effet les doubles vitrages, d'entrée de gamme, mais essentiels pour l'isolation thermique, ne sont pas une garantie d'une bonne isolation vis-à-vis du bruit extérieur. Ces doubles vitrages peuvent présenter des performances acoustiques moindres par rapport à un simple vitrage d'épaisseur de verre équivalente.

Il y a eu peu d'études mesurant l'isolement acoustique des salles de classe. Une mesure d'isolement acoustique des salles de classe permettrait de prendre en compte correctement ce facteur de modification lors de l'analyse de l'association entre l'exposition au bruit des avions et les performances cognitives.

De même, peu d'études évaluaient les effets du bruit dans les salles de classe (bruit lié aux activités), ou le temps de réverbération des salles de classe, lors de l'évaluation de l'effet du bruit environnemental extérieur.

Or, beaucoup d'études considéraient les performances cognitives en classe telles que la compréhension orale sans prendre en compte dans l'analyse la qualité acoustique des salles de classe. Or la conception acoustique des salles de classe peut être de mauvaise qualité en termes d'intelligibilité de la parole.

Des études menées à plus grande échelle sur les performances cognitives doivent donc prendre en compte des paramètres acoustiques des classes tels que le bruit pendant les activités, le temps de réverbération défini dans le domaine fréquentiel couvert par la parole (250 Hz à 4000 Hz), le rapport parole/bruit ou des indices d'intelligibilité (ex. speech transmission index (STI)).

\* Les facteurs relatifs à la famille de l'élève (socio-démographiques, santé mentale, etc.) joueraient sur le comportement de l'élève avec une répercussion sur son sommeil et sa capacité de récupération, et sur son attitude en classe. Par ailleurs, les forts niveaux sonores d'exposition sont souvent associés à des populations en difficultés sociales et à des difficultés d'apprentissage. Ces éléments sont donc des variables confondantes potentielles, il est donc important de les prendre en compte dans les analyses.

\* Le stress et la gêne sont des variables intermédiaires à considérer entre l'exposition au bruit des avions et les performances cognitives. Le bien-être doit aussi être pris en compte comme le montre des études menées récemment.

\* L'exposition au bruit à la maison doit être prise en compte car elle est susceptible d'affecter le sommeil et une restauration psychologique ; cela engendrait alors une fatigue de l'élève pour pouvoir mener à bien ses apprentissages le lendemain à l'école.

Des mesures physiologiques de la perturbation du sommeil couplée à la mesure de l'exposition individuelle au bruit nocturne permettraient de repousser les limites méthodologiques des études qui ont été menées. L'exposition nocturne au bruit devrait alors être considérée dans la chambre à coucher pendant le sommeil de l'enfant.

\* L'exposition cumulée et ses effets doivent être considérés afin de prendre en compte une fatigue des élèves liée à l'exposition au bruit en général subie sur leur trajet école/domicile et au domicile.

Ainsi, l'exposition au bruit des avions est relativement uniforme tout au long de la journée dans les aéroports étudiés dans la littérature, mais l'exposition aux autres sources de bruit dans l'environnement peut connaître des variations (ex. variations du trafic routier au cours de la journée). Cette variation de l'exposition à d'autres sources de bruit n'est pas prise en compte.

\* La pollution de l'air affectant la qualité de l'air intérieur contribuerait à l'état de fatigue chez l'élève. Des études devraient être menées en considérant la pollution atmosphérique car cette dernière peut affecter le fonctionnement cognitif tout au long de la vie.

\* Différents facteurs environnementaux coexistent avec le bruit des avions lors des opérations aéroportuaires telles que le bruit de la circulation routière. Les recherches futures devraient examiner les effets des sources sonores combinées peu étudiés, les effets de l'exposition au bruit combiné à d'autres facteurs de stress

environnemental. Il est possible que l'exposition combinée à ces facteurs environnementaux augmente les effets étudiés en mono-exposition.

\* Des études futures devraient considérer différents indices de bruit et examiner plus en détail leurs relations avec l'apprentissage des enfants et les performances cognitives.

Un réel débat existe parmi les chercheurs sur la question de savoir si les indices d'énergie acoustique moyennée sur des périodes importantes (jour ou nuit), tels que l'indice  $L_{Aeq}$ , sont pertinents pour être mis en relation avec les performances cognitives. Les experts de la question des effets du bruit sur la santé soulignent le fait que les indicateurs  $L_{den}$  et  $L_{night}$  actuellement utilisés ne sont pas suffisants pour rendre compte des effets tels que la gêne et la perturbation du sommeil. Ces indices de niveau sonore moyen sont probablement insuffisants pour rendre compte d'autres effets du bruit sur la santé. Le réseau ENNAH indique qu'il y a donc nécessité de considérer d'autres indices tels que le niveau sonore maximum  $L_{Amax}$  d'évènements sonores ou le nombre d'évènements par exemple.

Ainsi, la relation la plus forte des scores des tests a été mise en évidence avec l'indice  $L_{Amax}$ , indiquant ainsi que cet indice rendant compte des événements sonores les plus forts était pertinent pour rendre compte des effets négatifs de l'exposition au bruit environnemental sur les performances des enfants à l'école. Les scores des tests étaient impactés également par le bruit intérieur dans la classe, le bruit de fond étant significativement lié aux résultats des tests.

Il serait également intéressant de considérer la durée de l'exposition au bruit, car cette dernière est un agent de stress. Les récents progrès de la modélisation du bruit peuvent ainsi certainement améliorer les connaissances sur les effets du bruit sur les résultats d'apprentissage.

D'autres indices doivent donc être explorés, et leur association avec les performances cognitives des enfants doit être évaluée.

\* L'analyse multiniveau présente une amélioration par rapport aux analyses menées classiquement : la structure hiérarchique des données (les enfants et les différentes écoles) est prise en compte dans l'analyse multiniveau. Il est donc recommandé d'utiliser ce type d'analyse.

\* D'autres études doivent être menées, avec une uniformité dans le recueil des données (l'exposition au bruit, la mesure des capacités cognitives spécifiques) et une uniformité des résultats afin de permettre des méta-analyses.

Ainsi pour mener à bien des méta-analyses, il est recommandé que les études donnent des informations telles que la taille des effets pour un incrément de 1 dB et 5dB de l'exposition au bruit, le domaine de variation de l'exposition au bruit de la population même si les études portent uniquement sur certaines valeurs de l'exposition au bruit, et enfin des valeurs standardisées des effets cognitifs (ex. Z-scores).

\* Compte-tenu du manque d'études, l'examen approfondi des relations exposition-réponse dans différents contextes, pour différents échantillons et groupes vulnérables, pour différents indices de bruit et pour différents domaines cognitifs, est une priorité de travaux de recherche.

\* La majorité des études menées sont des études transversales, **il y a un manque de preuves de la part d'études longitudinales et interventionnelles sur l'ensemble des résultats cognitifs** des enfants.

\* De plus, les études des effets à long terme du bruit des avions pendant le temps scolaire sur le développement cognitif ultérieur n'ont pas été réalisées et demeurent d'une importance primordiale.

\* Aucune étude épidémiologique ne s'est intéressée aux populations adultes, ceci constitue aussi une priorité pour des recherches futures.

\* Les études futures devraient également considérer les effets du bruit dans l'environnement sur le développement cognitif des adolescents, des enfants plus jeunes et des nourrissons, en sachant qu'une exposition au bruit pendant la période prénatale affecte les aptitudes cognitives dès la petite enfance.

## Références

- ADEME (2016) Coût social du bruit en France - 57 milliards d'euros par an. Communiqué de presse 14 Juin 2016.  
<http://presse.ademe.fr/wp-content/uploads/2016/06/CP-Coût-social-du-bruit-2016-VF-ADEME.pdf>  
 visité le 11/01/2018.
- AFSSE (2004) Impacts sanitaires du bruit. État des lieux. Indicateurs bruit-santé. ISBN 2-11-095498-1.
- Basner, M., Clark, C., Hansell, A., Hileman, J.I., Janssen, S., Shepherd, K., Sparrow, V. (2017) Aviation Noise Impacts: State of the Science. *Noise and Health*, 19(87), 41-50.
- Berglund B., Lindvall T., Schwela D. (1999) Guidelines for community noise. World Health Organization.
- Bergström, K., Meis, M., Seidler, A., Guski, R., Schreckenber, D., Lachmann, T., Klatt, M. (2012) Analyzing effects of aircraft noise on cognition and quality of life in German children near Frankfurt airport in the NORAH-study: An overview of design and methods. Proceedings of Internoise 2012.
- Bergström, K., Spilski, J., Mayerl, J., Möhler, U., Lachmann, T., Klatt, M. (2015) Effects of aircraft noise on noise annoyance and quality of life in German children near Frankfurt/Main airport: Results of the NORAH (noise-related annoyance, cognition, and health) study. Proceedings of Euronoise 2015, 833-838.
- Civil Aviation Authority (2016) Aircraft noise and health effects: Recent findings. Environmental Research and Consultancy Department, Civil Aviation Authority, Aviation House, London, UK.
- Clark, C., Martin, R., van Kempen, E., Alfred, T., Head, J., Davies, H.W. (2006) Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project. *American Journal of Epidemiology*, 163(1), 27-37.
- Clark, C., Crombie, R., Head, J., van Kamp, I., van Kempen, E., Stansfeld, S.A. (2012) Does traffic-related air pollution explain the associations of aircraft and road traffic noise exposure with children's health and cognition? *American Journal of Epidemiology*, 176(4), 327-337.
- Clark, C., Head, J., Stansfeld, S.A. (2013) Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: A six-year follow-up of the UK RANCH cohort. *Journal of Environmental Psychology*, 35, 1-9.
- Clark, C., Lopez Barrio, I., van Kamp, I., van Kempen E., Stansfeld, S.A. (2014) Teachers' reactions to environmental noise at school in the RANCH project: a potential mechanism for noise effects on children's cognition? Proceedings of ICBEN 2014.
- Clark, C., Paunovic, K. (2018) WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and cognition. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15, 285.
- Crombie, R., Clark, C., Stansfeld, S.A. (2011) Environmental noise exposure, early biological risk and mental health in nine to ten year old children: a cross-sectional field study. *Environmental Health*, 10(39).

ENNAH (2013) European Network on Noise and Health, Final Report FP7-ENV-2008-1, E.U. Project N° 226442. The Joint Research Centre of the European Commission. Disponible à [www.ennah.eu](http://www.ennah.eu).

Evans G, Lepore S. (1993) Non-auditory effects of noise on children: A critical review. *Child. Environ.*, 10, 42–72.

Evans, G.W., & Hygge, S. (2007) Noise and performance in children and adults. In Noise and its effects. In L. Luxon, & D. Prasher (Eds.), *Noise and its effects*. Whurr Publishers: London, UK.

Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Head, J., Job, R. (2002) Multilevel modelling of aircraft noise on performance tests in schools around Heathrow Airport London. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 56, 139-144.

Hygge, S., Evans, G.W., Bullinger, M.A. (2002) Prospective study on some effects of aircraft noise on cognitive performance in school children. *Psychological science*, 13(5), 469-474.

Klatte, M., Lachmann, T., Meis, M. (2010) Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise and Health*, 12(49), 270-282.

Klatte, M., Spilski, J., Möhler, U., Mayerl, J., Lachmann, T., Bergström, K. (2016) Effects of aircraft noise on reading and quality of life in primary school children in Germany: Results from the NORAH study. Proceeding of Internoise 2016.

NORAH study (2015) <http://www.laermstudie.de/en/> Visité le 29/01/2018.

OMS (2000) Guidelines for Community Noise. World Health Organization: Geneva, Switzerland.

OMS (2011) Burden of disease from environmental noise - quantification of healthy life years lost in Europe. World Health Organization: Bonn, Germany.

OMS (2012) WHO Handbook for Guideline Development. World Health Organization: Geneva, Switzerland.

Seabi, J., Cockcroft, K., Goldschagg, P., Greyling, M. (2012) The impact of aircraft noise exposure on South African children's reading comprehension: The moderating effect of home language. *Noise and Health*, 14, 244-252.

Seabi, J. (2013) An Epidemiological Prospective Study of Children's Health and Annoyance Reactions to Aircraft Noise Exposure in South Africa. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 10, 2760-2777.

Sentís, A., Sunyer, J., Dalmau-Bueno, A., Andiarana, A., Ballester, F., Cirach, M., Estarlich, M., Fernández-Somoano, A., Ibarluzea, J., Iñiguez, C., Lertxundi, A., Tardon, A., Nieuwenhuijsen, M., Vrijheid, M., Guxens, M. (2017) Prenatal and postnatal exposure to NO<sub>2</sub> and child attentional function at 4–5 years of age. *Environ. Int.*, 106, 170–177.

Shield B.M., Dockrell J.E. (2008) The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. *J. Acoust. Soc. Am.*, 123, 133-144.

Spilski, J., Bergström, K., Möhler, U., Mayerl, J., Lachmann, T., Klätte, M. (2016) Effects of aircraft noise on children's reading and quality instruction in German primary schools: results from the NORAH study. Proceedings of ICA 2016.

Spilski, J., Bergström, K., Mayerl, J., Möhler, U., Lachmann, T., Klätte, M. (2017) The relationship between aircraft noise and reading: Mediator and moderator effects. Proceedings of ICBen 2017.

Stansfeld, S.A., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Öhrström, E., Haines, M.M., Hygge, S., van Kam, I., Berry, B.F. (2005) Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a crossnational study. *Lancet*, 365(9475), 1942-1949.

Stansfeld, S.A., Clark, C., Cameron, R.M., Alfred, T., Head, J., Haines, M.M., van Kamp, I. van Kempen, E., Lopez-Barrio, I. (2009) Aircraft and road traffic noise exposure and children's mental health. *Journal of Environmental Psychology*, 29, 203–207.

Stansfeld, S., Hygge, S., Clark, C., Tamuno, A. (2010) Night time aircraft noise exposure and children's cognitive performance. *Noise and Health*, 12(49), 255-262.

Stansfeld, S., Clark, C. (2015) Health Effects of Noise Exposure in Children Current. *Environmental Health Reports*, 2(2), 171–178.

Trimmel, M., Atzlsdorfer, J., Tupy, N., Trimmel, K. (2012) Effects of low intensity noise from aircraft or from neighbourhood on cognitive learning and electrophysiological stress responses. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215, 547-554.

van Kempen, E. M. M., van Kamp, I., Stellato, R.K., Lopez-Barrio, I., Haines, M. M., Nilsson, M. E., Clark, C., Houthuijs, D., Brunekreef, B., Berglund, B., Stansfeld, S. A. (2009) Children's annoyance reactions to aircraft and road traffic noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 125(2), 895-904.

van Kempen, E., van Kamp, I., Nilsson, M., Lammers, J., Emmen, H., Clark, C., Stansfeld, S.A. (2010a) The role of annoyance in the relation between transportation noise and children's health and cognition. *J. Acoust. Soc. Am.*, 128(5), 2817–2828.

van Kempen, E., van Kamp, I., Lebet, E., Lammers, J., Emmen, H., Stansfeld, S. (2010b) Neurobehavioral effects of transportation noise in primary schoolchildren: a cross-sectional study. *Environmental Health*, 9(25).

Xie, H., and Kang, J. (2011) Environmental noise impact on school students' academic achievements. *Applied Acoustics*, 72, 551–555.

Zusman A. F. (2007) Findings of the FICAN pilot study on the relationship between aircraft noise reduction and changes in standardised test scores. FICAN: Washington, USA.