

Du bruit d'avions au cerveau

Bourget 2001 : de la perturbation à l'activité cognitive

Marc Boyer, Laurent Bayssié, Laurent Chaudron,
ONERA,
Centre de Toulouse,
2, avenue Édouard Belin,
31055 Toulouse,
tél. : 05 62 25 25 25,
fax : 05 62 25 25 93,
e-mail : boyer@cert.fr,

Josette Pastor,
INSERM/U455,
Service de neurologie,
CHU Purpan,
31059 Toulouse CEDEX 3,
e-mail : Josette.Pastor@purpan.inserm.fr

Malgré les efforts des pouvoirs publics, des sociétés d'aéroports et des constructeurs d'avions en matière de réduction du bruit, les riverains des aéroports expriment toujours autant de gêne face au bruit des aéronefs. Une première étude, décrite brièvement en introduction, montre l'absence de corrélation entre niveaux de bruit et de gêne. La raison pourrait en être l'existence de facteurs autres que physiques dans la gêne. Ceci nous a orienté vers une nouvelle expression de la gêne en termes cognitifs. Ceci est illustré par la seconde étude, mise en œuvre au Salon du Bourget 2001, et fondée sur l'analyse de l'impact du bruit sur la performance cognitive dans une activité de raisonnement. Le traitement de ces résultats grâce à un outil symbolique a mis en évidence l'expression d'une gêne en l'absence d'une perturbation cognitive effective.

Ceci milite en faveur de l'importance de l'aspect intrusif du bruit sur le ressenti de la gêne et suggère la nécessité de la poursuite d'une politique de réduction des nuisances sonores et d'une meilleure communication entre émetteurs de bruit et associations de riverains.

In spite of the fact that public administrations, airport authorities and aeronautics industry tend to reduce noise levels, airport riparians still feel annoyance linked to airplanes' noise. A first study, briefly described in the introduction, shows that no correlation exists between annoyance and noise levels. This could be due to non physical factors influencing the annoyance. We have been therefore oriented to a novel cognitive expression of annoyance. The second study, which was carried on during the Bourget Air Show'2001, aims at understanding the impact of noise on the cognitive performance during a reasoning task. The results, obtained thanks to a symbolic data analysis, uncover the existence of an annoyance expression even though no real cognitive perturbation exists.

The main effect of noise on annoyance seems to be its intrusive aspect. This suggests to strengthen a noise reduction policy and improve the communication between noise emitters and riparian associations.

La réduction des nuisances sonores implique aussi bien l'industrie aéronautique, les gestionnaires d'aéroports que les élus locaux. Malgré les efforts en matière de réduction de bruit, les revendications pour un meilleur confort acoustique autour des aéroports sont de plus en plus nombreuses. Afin de mieux comprendre l'apparente contradiction entre réduction effective du bruit et expression d'une gêne croissante, une première étude expérimentale EMOGES (Étude pour la MOdélisation de la GÈne Sonore) est lancée en mai 1999 [1]. L'originalité de cette phase exploratoire réside en la simultanéité des mesures de bruit et de gêne. C'est, à notre connaissance, la première fois que cette simultanéité est respectée au cours d'une campagne de mesure. Cette expérience vise à trouver des corrélations entre des mesures numériques d'événements sonores et la qualification, par les sujets, de la gêne associée, c'est-à-dire à trouver des liens entre des paramètres objectifs et des caractéristiques subjectives. L'ONERA de Toulouse a mis au point une théorie d'Analyse formelle généralisée (AFG) [2] qui permet en particulier, de trouver toutes les relations causales entre les paramètres d'un problème exprimé de façon symbolique. L'Analyse formelle est un outil d'exploration objectif, permettant de révéler tous les liens possibles, de manière autonome

L'AFG est particulièrement adaptée au traitement de données d'EMOGES, puisque les informations linguistiques émanant de sujets humains sont, par essence, de nature symbolique.

Cette première étude expérimentale sur le bruit confirme que la gêne (subjective par définition) n'est pas directement corrélable à des indices acoustiques. Par ailleurs, les grands traits de cette étude montrent l'influence de l'activité sur le sentiment de mal-être. Les règles suivantes, par exemple, ont été produites :

activité plein air → gêne faible
activité intellectuelle → gêne moyenne

Par choix, nous avons centré l'étude sur l'aspect le moins exploré du problème : l'expression humaine de la gêne. Ceci nous a contraint à représenter symboliquement les niveaux sonores. Cette approche offre une alternative aux études le plus souvent exclusivement numériques des données collectées au voisinage des aéroports. Notre étude, comme les travaux statistiques, conclut à la faible corrélation entre l'indice acoustique et le sentiment de gêne sonore, mais permet en outre d'émettre des hypothèses sur les facteurs, tels l'activité intellectuelle.

d'orienter les recherches concernant la définition de la gêne, non plus vers des indices acoustiques mais vers le domaine de la cognition.

Les variations de bruit n'étant pas corrélables aux variations de gêne, nous avons choisi de rendre la composante acoustique constante pour le projet suivant. Cela permet l'observation de la variation d'autres phénomènes. En effet, ce nouveau protocole vise à étudier de manière plus fine l'influence d'une perturbation (ici un bruit d'aéronef) sur la variation de la performance cognitive pouvant se révéler être explicative du phénomène de gêne. Le travail va s'articuler en trois points :

- les fondements théoriques de la variation de la performance cognitive;
- la présentation du protocole expérimental réalisé au Bourget'2001;
- les premiers résultats.

Fondements théoriques de la performance cognitive

Définitions

Considérant les résultats de l'expérience EMOGES, l'étude recentrée sur les aspects cognitifs nous a conduit à proposer une définition de la gêne en termes de perturbation cognitive.

Nous faisons l'hypothèse que ce sont les processus cognitifs les plus complexes qui sont supposés être dégradés le plus facilement par le bruit. Nous nous intéressons donc au raisonnement, fonction cognitive de «haut niveau». Dans cette étude, l'activité de raisonnement étudiée est la déduction dont le modèle formel est fourni par la logique classique. Nous faisons l'hypothèse que tous les individus ont la compétence nécessaire pour raisonner de manière déductive. Or, la mise en œuvre du raisonnement n'est ni observable, ni mesurable directement. Nous sommes donc contraints de définir une mesure comportementale du raisonnement. Nous avons donc mis au point des exercices de logique que les sujets devront résoudre ; la performance à ces exercices sera la mesure du raisonnement.

En s'inspirant de la distinction proposée en linguistique par Chomsky [3], les notions de performance et de compétence sont étendues au domaine de la cognition [4,5].

Définition : La compétence est la possession et maîtrise des mécanismes impliqués dans la mise en œuvre d'une tâche cognitive donnée. Non mesurable, elle ne peut être représentée que par un modèle théorique.

Définition : La performance est le résultat de la mise en œuvre de la compétence dans une situation donnée. Pour l'évaluer, il faut donc définir une situation expérimentale et un ensemble de mesures (temps de réaction, nombre d'erreurs, ...)

La distinction entre compétence et performance est alors parfaitement nette : la compétence relève de ce que l'on sait faire alors que la performance est ce que l'on peut faire de ce que l'on sait dans un contexte particulier.

Dans notre approche, l'intérêt de mesures de la

En outre, nous faisons ici l'hypothèse qu'une perturbation extérieure comme le bruit constitue un facteur de dégradation, ou plus globalement de variation, de la performance cognitive.

Définition : La variation de performance cognitive est l'écart entre la performance évaluée et un modèle comportemental de référence qui est la performance obtenue par l'application optimale de la compétence à la situation donnée.

Ce genre d'écart peut être observé chez l'opérateur dans le monde de l'industrie, chez les pilotes d'avions militaires, chez un individu face aux propriétés de la logique, ...

Cet écart peut être négatif ou positif (le modèle de référence ne couvre pas l'expertise du sujet). On distingue deux types d'écart négatif [6].

Définition : Le biais est l'écart **systematique** de la performance réelle par rapport à la performance de référence. Il remet donc en cause le modèle de compétence sous-jacent à la performance de référence.

Définition : L'erreur est l'écart **occasionnel** entre la performance réelle et la performance de référence issue d'une théorie universellement acceptée.

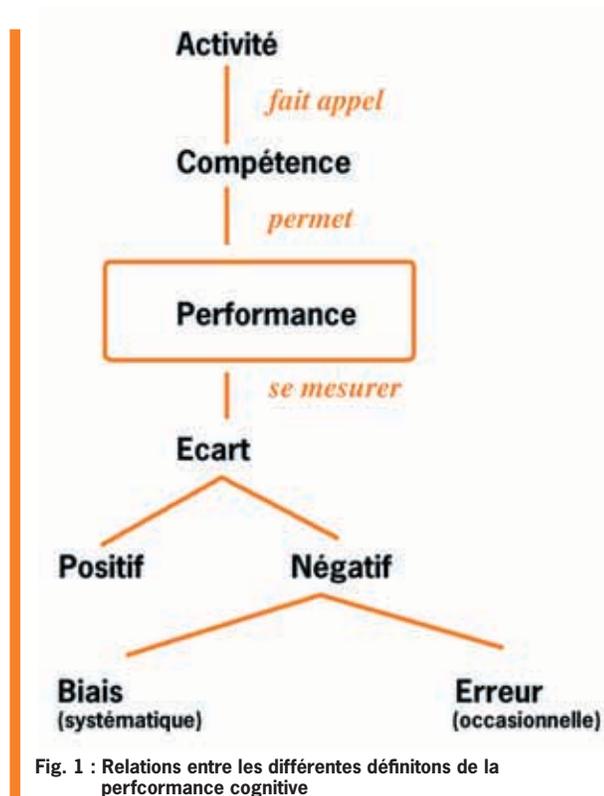


Fig. 1 : Relations entre les différents définitions de la performance cognitive

Méthodologies d'évaluation de la performance cognitive

La situation expérimentale

La recherche d'un protocole passe par l'exploration des différents moyens de mesure de la gêne. La méthode expérimentale la plus proche de la réalité est l'observation de **situations naturelles**. Il s'agit d'observer des situations

subjective de la gêne à domicile sous forme de questionnaire [1], ...). Cette technique rend l'ensemble des paramètres possibles difficiles à maîtriser.

Les situations contrôlées, permettent d'avoir la maîtrise de l'ensemble des paramètres d'un problème. Elles peuvent avoir différents degrés de réalisme. Les expériences sur simulateurs ou sur micro-mondes [8] étant les plus proches des situations réelles.

Le protocole EMOGES, basé sur les environnements expérimentaux a permis une exploration d'un grand nombre de paramètres [1], sans pouvoir contrôler le niveau du facteur de perturbation. L'exploration plus fine d'un plus petit nombre de caractéristiques nous a naturellement conduit à travailler, dans un second temps, en situation contrôlée (protocole Bourget).

Le modèle de compétence

L'un des modèles de raisonnement les mieux définis théoriquement, et donc le plus susceptible de servir de référent est la logique classique. Elle fournit des critères normatifs de ce qu'est le bon raisonnement. Nous utiliserons ce modèle comme référence du raisonnement.

Ainsi, une logique dite naturelle a été mise au point par Gentzen. La théorie prétend que chaque individu est doté d'un nombre limité de règles d'inférence [10] telles que ($a \rightarrow b \rightarrow a \wedge c \rightarrow b$).

MARS (Méthode d'Analyse de Raisonnement Symbolique)

Ce protocole a pour but de mesurer l'influence d'une perturbation de la performance cognitive dans le raisonnement. On concentrera nos recherches sur une perturbation «passive» liée à la soumission du sujet à une série d'événements sonores d'aéronefs. C'est bien ce type de perturbation qui est vécue au quotidien par les riverains d'aéroports.

Protocole Bourget

Nous détaillerons uniquement la partie MARS du protocole, destinée à évaluer le raisonnement déductif. La partie WAHRPS (Worlds for Assessing Human Reasoning in Process Supervision), qui vise à étudier le raisonnement sous pression temporelle [8], ne sera pas présentée ici.

Sujets

64 sujets volontaires professionnels ou visiteurs du salon du Bourget.

Description de la tâche

Cette tâche consiste en des exercices de raisonnement exprimés en langage naturel directement corrélés à des propriétés logiques. L'ensemble des déductions formelles qui sont proposées au sujet sont une partie des règles d'inférence de la logique naturelle [9] (voir tableau 1).

Dans notre contexte, l'hypothèse est une procédure de vol très générale, la seconde assertion est une situation particulière de mission. La question est de savoir si la mission est conforme à la procédure. c'est-à-dire si la seconde

Enoncés	De la procédure	Peut-on déduire l'activité	Réponse
1	$a \rightarrow b$	$a \wedge c \rightarrow b$	oui
2	$a \rightarrow b \wedge c$	$a \rightarrow b$	oui
3	$a \rightarrow b$	$a \rightarrow b \wedge c$	non
4	$a \wedge c \rightarrow b$	$a \rightarrow b$	non
5	$a \rightarrow b$	$\neg a \rightarrow b$	non
6	$a \rightarrow b$	$b \rightarrow a$	non
7	$a \rightarrow b$	$\neg a \rightarrow \neg b$	non
8	$a \rightarrow b$	$\neg b \rightarrow \neg a$	oui

Tabl. 1 : Modèles logiques de déduction évalués

Exemple

Soit la procédure : «Quand un pilote de chasse patrouille en territoire ennemi, il est obligé de voler à basse altitude».

Soit l'observation : «Pendant une mission, si un pilote de chasse se trouve en territoire ennemi et que les conditions climatiques sont difficiles, alors il doit voler à basse altitude».

Ce problème formalisé correspond à l'énoncé numéroté 1. Le sujet est censé répondre oui.

Déroulement de l'exercice

Les règles sont présentées sur un écran d'ordinateur. On demande une réponse oui/non (sous forme de boutons à cliquer). Huit règles sont expérimentées. Le protocole consiste à faire passer à un sujet donné l'ensemble des questions basées sur les huit formalisations logiques en environnement bruité et en environnement calme. Chaque sujet étant son propre témoin, les éventuels biais de raisonnement [6] sont gommés. Pour compenser les effets de l'apprentissage, on inverse l'ordre de passage des épreuves (la moitié de l'échantillon doit passer avec le bruit d'abord, l'autre moitié avec le bruit après). Par ailleurs, le contexte d'instanciation des règles étant modifiée, l'utilisateur peut être confronté deux fois aux mêmes principes de raisonnement sans effet de l'apprentissage «par cœur». Les bruits auxquels sont soumis les sujets via un casque fermé sont des bruits d'aéronefs pré-enregistrés : l'idée est en fait de rajouter la couche sonore de manière à ce qu'elle constitue, en plus de la charge de travail, un élément déclencheur d'une dégradation révélatrice (le bruit servirait ici de goutte d'eau à faire déborder la capacité cognitive !). Ainsi disposons-nous des caractéristiques fondamentales nécessaires à la détection d'une variation de performance :

- le modèle de compétence : la logique ;
- le critère de mesure de la performance : le temps et la qualité de la réponse ;

Recueil de données

Outre les caractéristiques de l'individu (sexe, âge, latéralité, CSP, ...), on collecte, pour chaque règle, la qualité (bonne réponse ou erreur) et le temps de réponse du sujet ainsi que la condition expérimentale (bruit, pas bruit). L'auto-évaluation de la performance du sujet suivant les deux mêmes composantes (temps et qualité) est recueillie de

Résultats

La variation de la performance de chaque individu est mesurée par les variations («bruit – sans bruit») du temps de réponse moyen et du nombre de bonnes réponses. Ces variations sont codées symboliquement et rendues comparables à l'auto-évaluation de la façon suivante:

Attribut	Amélioration	Dégradation	Identique
Performance (temps)	inférieur	supérieur	égal
Performance (qualité)	moins d'erreurs	plus d'erreurs	même nombre d'erreurs
Auto-évaluation (temps)	surestimée	sous-estimée	correcte
Auto-évaluation (qualité)	surestimée	sous-estimée	correcte

Tabl. 2 : Variations de la performance

L'ensemble des résultats de cette campagne «Bruit/Cerveau, Bourget 2001» a été enregistré et traité par Analyse Formelle (comme cela avait été décrit dans le programme de 1999, [2]). Partant d'une base de 64 sujets, l'analyse a donné lieu à 56 classes conceptuelles significatives et 54 règles formelles ont été induites. Ces connaissances reposent sur des données qui sont moins finement explorées d'un point de vue purement objectif que dans le cas d'études fondamentalement acoustiques et statistiques, mais à l'inverse, elles constituent un corpus sémantiquement riche pour l'analyse des liens entre des données objectives et subjectives (ce qui confirme la complémentarité de ces travaux par rapport aux approches numériques). Au delà des relations bruit/gêne, notre méthodologie d'induction qualitative peut être appliquée à l'extraction de relations de causalité entre phénomènes (perturbations/activité, analyse d'incidents,...) [10].

Parmi les grandes tendances significatives nous avons pu dégager que :

- la performance en temps est plutôt améliorée (56 % des sujets) ; en l'état actuel de l'avancement de l'étude, nous ne sommes pas encore capables d'écarter totalement la part de l'apprentissage dans ce résultat.
- la performance en qualité est dégradée (39 % des sujets) ; l'influence de l'apprentissage n'a pas encore été étudiée
- que ce soit pour le temps ou pour la qualité, la majorité des sujets ayant amélioré leurs performances les sous-estiment ;
- toutefois les sujets dont la performance est effectivement dégradée peuvent avoir une estimation correcte (une règle de portée significative le révélant a pu être produite) ou très optimiste pour une minorité d'entre eux.

Le résultat (3) qui est le plus saillant concerne d'une part l'émergence d'un grand trait significatif et d'autre part l'existence d'une grande classe de sujets le vérifiant : la plupart des sujets sous-estiment leur performance alors que la mesure de celle-ci révèle une amélioration. Notre approche nous amène à devoir bien distinguer ce qui est du ressort du ressenti («Je suis gêné quand il y a du bruit». «Pendant l'expérience, je pense que j'ai été

performance effectivement réalisée et mesurée. Même la mesure objective des performances cognitives n'est pas suffisante pour objectiver la gêne due au bruit.

Conclusion

Ce travail, au carrefour de l'Intelligence artificielle et des Sciences cognitives propose une approche nouvelle de l'influence du bruit sur l'homme.

L'étude du bruit montre la complexité de la question de la gêne qu'il induit. Parmi les résultats méthodologiques à retenir, on soulignera la distinction entre la performance et le ressenti. Par conséquent, les méthodes visant à améliorer la compréhension des effets d'une perturbation en général, et du bruit en particulier, sur un sujet doivent être de nature différentes suivant qu'on s'intéresse au «sujet-citoyen» (pour lequel c'est le ressenti qui reste fondamental) ou bien au «sujet-opérateur» pour lequel c'est sa performance qui est essentielle (même si son ressenti intervient au niveau de son confort de travail). Les performances vont concerner l'opérateur au travail et c'est le «décideur-entrepreneur» que cette approche intéresse. Le «décideur-politique» va davantage être concerné par le ressenti. Même si nos travaux expérimentaux ne permettent pas de le mesurer directement, l'évaluation de la performance cognitive constitue une base pour qualifier ce ressenti de manière objective. D'autre part, elle est la seule à permettre l'évaluation de l'opérateur au travail.

Les résultats précédents tendent à prouver que la seule intrusion d'un bruit suffit à créer la gêne, même en l'absence d'une perturbation objectivable. Une lutte efficace contre le bruit (réduction à la source, d'émissions d'anti-bruits, d'isolation phonique, etc.) et une communication et surtout une concertation suffisantes sur les efforts en matière de réduction de bruit pourraient améliorer le ressenti.

Références bibliographiques

- [1] M. Boyer, EMOGES : Étude pour la MOdélisation de la GÈne Sonore», Rapport Technique 1/03425 DPRS/N, ONERA, Toulouse, mai 2000.
 - [2] M. Boyer, L. Chaudron, MoCou : Un nouvel outil de modélisation de la gêne sonore, Revue Acoustique et Techniques, Juillet 1999, Numéro 18, pages 43-47.
 - [3] N. Chomsky, Aspects de la théorie syntaxique, Seuil, 1970
 - [4] J. Pastor, Raisonnement et mécanismes cérébraux sous-jacents : approche par l'Intelligence Artificielle, HDR (Habilitation à Diriger les Recherches), mai 1999, Rennes I.
 - [5] J.-Y. Grau, Principe de base de l'ergonomie, Cours Facteurs Humains, Chapitre 3, Éditions Supaéro, Toulouse, 2001.
 - [6] J. St.B.T. Evans, Bias in human reasoning : causes and consequences, Lawrence Erlbaum Associates Ed., 1990
 - [7] F. Decortis, B. Pavard, Communication et coopération : de la théorie des actes de langage à l'approche ethnométhodologique, Octarès, 1994
 - [8] J. Pastor, A. Agniel, P. Celsis, Artificial Reasoners for the Cognitive Assessment of Patients with Parkinson's Disease, John Wiley & Sons Ed, pages 119-123, ECAI'98, 1998
 - [9] L. J. Rips and G. Conrad, Individual differences in deduction, cognition and brain theory, Lawrence Erlbaum Associates Ed., 1983
 - [10] M. Boyer, L. Chaudron., Classification formelle de règles, EGC'2002, Extraction et Gestion des Connaissances, Montpellier, janvier 2002
- M. Boyer, Induction de régularités dans une base de connaissances. Application au phénomène bruit gêne et ses extensions, Thèse ENSAE, Décembre 2001
- L. Bayssié. Vers une définition cognitive de la gêne sonore. Contribution à la modélisation des corrélations bruit / gêne, Victor Segalen, Bordeaux II, 2000
- L. Bayssié, M. Boyer, L. Chaudron, J. Pastor, Programme d'étude des corrélations entre le bruit et la gêne en termes de performances cognitives, Actes des communications, Agents Logiciels, Coopération, Apprentissage et Activité Humaine, pages 30-42, Biarritz, 6 et 7 octobre 2000.