

PROCEDURE D'ESSAI SIMPLIFIE POUR LA DETERMINATION DU NIVEAU D'EXPOSITION AU POSTE DE CONDUITE DES CHARIOTS ELEVATEURS

P. Danière

I.N.R.S., Centre de Recherche, B.P. 27, 54501 Vandoeuvre cedex, France.

1. INTRODUCTION

L'environnement du poste de conduite d'un chariot élévateur se caractérise par une combinaison de nuisances (vibrations, posture, ...) parmi lesquelles le bruit est bien souvent le paramètre dominant. Pour évaluer l'importance de cette nuisance, différents codes d'essais sont actuellement disponibles. L'étude entreprise avait pour but d'évaluer la pertinence de ces différents codes d'essais. A cet effet la mesure de la nuisance sonore a été faite au poste de conduite de 81 chariots élévateurs.

2. METHODOLOGIE

2.1 Evaluation de la nuisance sonore

Cette évaluation repose sur une procédure typique. Le travail effectué par un chariot peut être décomposé en quatre phases propres à la conduite de l'engin :

- Phase 1 : le chariot est à l'arrêt ; on lève et on baisse les fourches
- Phase 2 : le chariot est à l'arrêt, moteur au ralenti (phase d'attente)
- Phase 3 : le chariot se déplace, fourches à vide
- Phase 4 : le chariot se déplace, fourches chargées.

Les 5 procédures d'essai actuellement disponibles font appel à tout ou partie de ces quatre phases et définissent leurs durées relatives, afin de calculer un niveau sonore moyen équivalent.

Ces codes d'essais sont :

- le projet de code d'essai proposé par l'ISO [1], référencé dans ce texte par ISO ;
- le code d'essai BITA TP 20, décrit dans [2], élaboré par le British Industrial Truck Association, référencé par BITA ;
- le code d'essai DIN 45 635 partie 36 [3], référencé par DIN ;
- le code d'essai OENORM M 9803, décrit dans [2], référencé par OENORM ;
- la proposition britannique de modification du code d'essai ISO [4], référencée par GB.

Le tableau 1 récapitule le nombre de phases prises en compte (donc le nombre d'essais à effectuer) et leurs durées respectives. On utilise respectivement les indices E, R, DV et DC pour désigner les quatres phases : Elévation, Ralenti, Déplacement à vide, Déplacement en charge.

A partir des niveaux sonores mesurés et de leurs durées respectives, on calcule un niveau sonore moyen équivalent, par la formule suivante :

$$L_{Acq} \text{ "code"} = 10 \log_{10} \left(\sum_i t_i 10^{L_i/10} \right) \quad (1)$$

$L_{Acq} \text{ "code"}$ représente, pour chaque code d'essai, le niveau sonore moyen équivalent auquel est soumis l'opérateur ;

MESURE SIMPLIFIEE DU L_{EX} AU POSTE DE CONDUITE DES CHARIOTS ELEVATEURS

t_i est la durée relative de chaque phase. C'est le rapport de la durée partielle d'exposition à chaque phase i et de la durée totale d'exposition ($\sum t_i = 1$) ;

L_i est le niveau sonore relevé pendant la phase i

2.2 Evaluation du niveau d'exposition

Pour cette évaluation, nous avons enregistré le bruit émis au poste de conduite pendant une exploitation réelle de l'engin (travail prévu par l'entreprise) et on s'est attaché à ne pas perturber le conducteur. Ces mesures ont été effectuées avec un enregistreur magnétique disposé dans la cabine et un microphone placé dans la zone proche de l'oreille du conducteur sans être porté par ce dernier afin de ne pas gêner ses mouvements. Le niveau d'exposition L_{EX} du conducteur est calculé au dépouillement avec, par exemple, un sonomètre intégrateur

2.3 Echantillon retenu pour les essais

* Pour le bilan de la nuisance sonore :

L'échantillon retenu pour le bilan de la nuisance sonore se compose de 81 chariots élévateurs, sélectionnés de façon à couvrir les catégories d'engins les plus couramment utilisés. La capacité de levage varie de 600 kg à 42.000 kg (65% d'entre eux ont une capacité variant de 1000 à 4000 kg). On dénombre 21 chariots équipés d'un moteur électrique, 51 d'un moteur diesel et 9 d'un moteur à essence ou à gaz. Enfin 12 chariots étaient équipés d'une cabine traitée sur le plan acoustique.

* Pour l'évaluation du niveau d'exposition L_{EX}

Ce type d'intervention, du fait de sa lourdeur, est mal accepté par les entreprises. Puisque ces essais avaient pour but de comparer entre eux différents codes d'essais et d'en évaluer la représentativité par rapport à un travail réel, ils n'ont porté que sur un nombre limité d'engins : deux chariots à moteur diesel et un engin à moteur à gaz.

3. RESULTATS OBTENUS ET DISCUSSIONS

3.1 Niveaux sonores obtenus

* Pour le bilan de la nuisance sonore :

Les niveaux sonores émis par les 81 chariots constituant l'échantillon retenu ont été mesurés pendant chacune des quatre phases définies dans le paragraphe 2.1. Toutes les valeurs obtenues sont disponibles dans [5].

Le tableau 2 présente la valeur moyenne des résultats obtenus, en fonction du type d'énergie du chariot et de chacune des phases ainsi que l'écart type constaté sur cette population (la valeur des trois indicateurs portés dans ce tableau sera explicitée dans le paragraphe 4).

* Pour l'évaluation du niveau d'exposition

Les résultats, pour les 3 chariots ayant fait l'objet de ces mesures apparaissent dans le tableau 3 (3^e colonne). Ils sont de l'ordre ou supérieurs à 85 dB(A).

3.2 Comparaison des différents codes d'essais

Pour analyser la façon dont les 5 codes d'essais prennent en compte le travail réel, on a calculé, pour les 3 chariots considérés, les niveaux sonores moyens équivalents L_{Aeq} (ISO, BITA, DIN, OENORM et GB) en utilisant la formule du paragraphe 2.1. Les différents niveaux sonores ainsi obtenus sont portés sur le tableau 3.

MESURE SIMPLIFIEE DU L_{EX} AU POSTE DE CONDUITE DES CHARIOTS ELEVATEURS

Ces résultats permettent de distinguer trois tendances :

- Les valeurs "ISO" et "BITA" sont identiques, mais inférieures de l'ordre de 5 dB(A) à la valeur de L_{EX} .
- Les valeurs "DIN" et "OENORM" sont identiques et comparables à la valeur de L_{EX} .
- La valeur "GB" dépasse la valeur de L_{EX} de l'ordre de 2 dB(A)

Il semble, par conséquent, que les pondérations temporelles des codes d'essais DIN et OENORM soient plus représentatives d'un travail réel. Ces observations sont confirmées par une analyse des enregistrements temporels présentés dans [5], qui donnent pour la durée relative de la phase de ralenti t_r la valeur de 0.3, proche de la valeur fixée par le code d'essai DIN.

4. PROPOSITION DE NOUVELLE PROCEDURE D'ESSAI

Le rôle considérable joué par les pondérations temporelles observé dans le paragraphe 3.2. nous conduit à préciser l'influence respective des deux couples de paramètres associés à chaque phase i : le niveau sonore L_i et la durée relative t_i .

4.1. Analyse des niveaux sonores obtenus pendant chacune des phases typiques

A cette fin, on introduit les trois indicateurs suivants :

- Indicateur 1 = moyenne ($L_{DV} - L_{DC}$)
- Indicateur 2 = moyenne ($L_{DV} - L_E$)
- Indicateur 3 = moyenne ($L_{DV} - L_R$)

A partir des résultats de calcul de ces indicateurs donnés dans le tableau 2, on peut observer les tendances suivantes :

- la charge transportée ne semble pas avoir d'influence sur le niveau sonore obtenu, sauf pour les chariots à moteur électrique.

Aussi, pour la majorité des chariots bruyants, $L_{DC} \approx L_{DV}$ (2)

- le bruit émis pendant la phase d'élévation des fourches L_E est en moyenne comparable à celui émis pendant la phase de déplacement à vide L_{DV} , sauf pour les chariots électriques. , Egalement, pour la majorité des chariots bruyants, $L_E \approx L_{DV}$. (3)

- le niveau sonore émis pendant la phase de ralenti L_R est très inférieur aux trois autres niveaux sonores.

Aussi, pour la majorité des chariots analysés, on a : $L_R \approx L_{DV} - 20$ dB(A). (4)

4.2. Simplification possibles pour une nouvelle procédure d'essai.

A partir de ces tendances exprimées par les relations (2), (3), (4), on peut construire une procédure simplifiée d'essai qui ne comportera pas obligatoirement l'ensemble des quatre essais. Les trois simulations numériques suivantes visent chacune la suppression d'un essai ; elles ont été effectuées en utilisant les pondérations temporelles indiquées dans le tableau 4.

4.2.1. Simulation S1 : Suppression de l'essai en charge

Pour étudier l'influence de la suppression de l'essai en déplacement en charge (comme DIN, OENORM et GB), on calcule la différence entre le niveau sonore moyen équivalent calculé avec les quatre niveaux sonores issus des quatre phases et le niveau sonore moyen équivalent du code d'essai DIN, qui ne retient que 3 phases ($\Delta S1 = L_{Acq-S1} - L_{Acq-DIN}$). L'écart $\Delta S1$ est égal à -0.1 dB(A), avec un écart-type de 0.7 dB(A). Ce résultat justifie la suppression de l'essai en charge.

MESURE SIMPLIFIEE DU L_{EX} AU POSTE DE CONDUITE DES CHARIOTS ELEVATEURS

4.2.2. Simulation S2 : Suppression de l'essai au ralenti

Le code d'essai britannique GB ne prend pas en compte la phase de ralenti (d'où une sur-estimation du niveau sonore de l'ordre de 2 dB(A)). Cette simulation a pour objet de maintenir cette phase mais en se dispensant d'effectuer la mesure du niveau sonore L_R ; on déduit simplement le niveau L_R du niveau L_{DV} en utilisant la relation (4).

Le résultat est convainquant : la valeur moyenne de l'écart $\Delta S2$ ($\Delta S2 = L_{Aeq-S2} - L_{Aeq-DIN}$), est nulle, avec un écart type de 0.1dB(A). Ce résultat justifie la suppression de l'essai au ralenti et la prise en compte de sa participation à partir de la mesure du niveau sonore en déplacement à vide.

4.2.3. Simulation S3 : Suppression de l'essai en élévation

Comme les niveaux sonores des trois phases de travail L_E , L_{DV} , L_{DC} sont très proches, il est tentant d'envisager aussi la suppression de l'essai en élévation. Pour cette simulation S3, la durée relative de la phase de déplacement augmente de $t_{DV} = 0.5$ à $t_{DV} = 0.6$ de façon à prendre en compte la durée de la phase d'élévation.

L'écart $\Delta S3$ ($\Delta S3 = L_{Aeq-S3} - L_{Aeq-DIN}$) est égal à -0.1 dB(A), avec un écart type de 0.7 dB(A). La suppression de l'essai en élévation est donc acceptable.

4.3. Proposition de procédure simplifiée

L'évaluation du niveau sonore moyen équivalent d'un chariot, à partir de quatre phases d'essai (ISO) dépend de 8 paramètres :

$$L_{Aeq-ISO} = f(L_E, t_E, L_R, t_R, L_{DV}, t_{DV}, L_{DC}, t_{DC})$$

Les différents essais et simulations effectuées au cours de cette étude montrent que des relations existent entre ces paramètres :

- les niveaux sonores L_E , L_{DC} , L_{DV} ont des valeurs comparables et peuvent être pris en compte par un seul paramètre : le niveau sonore L_T observé pendant la "phase de travail" :

$$L_T = L_E = L_{DC} = L_{DV} \quad (5)$$

- le niveau sonore L_R peut être déduit des autres niveaux sonores de travail donc du niveau L_T :

$$L_R = L_T - 20 \quad (6)$$

- la durée relative de la phase de ralenti n'est pas nulle

- les durées des phases E, DV, DC peuvent être sommées pour constituer la durée relative de la "phase de travail" : $t_T = t_E + t_{DV} + t_{DC} = 1 - t_R$ (7)

Ainsi l'obtention du niveau sonore moyen équivalent émis par un chariot élévateur ne nécessite la connaissance que de deux paramètres : le niveau sonore mesuré pendant la phase de travail L_T (qui est en fait le niveau L_{DV} mesuré pendant la phase de déplacement à vide) et la durée relative de la phase de travail t_T . La formule permettant son évaluation s'écrit :

$$L_{Aeq-INRS} = 10 \log_{10} \left[(1 - t_T) \times 10^{\frac{L_T - 20}{10}} + t_T \times 10^{\frac{L_T}{10}} \right] \quad (8)$$

expression qui peut être mise sous la forme :

$$L_{Aeq-INRS} = L_T - K \text{ avec } K = -10 \log_{10} \left[t_T + \frac{(1 - t_T)}{100} \right] \quad (9)$$

Comme le montre la figure 1, où est tracée l'évolution du terme correctif K en fonction de la valeur de la durée relative de la phase de travail t_T , il est possible avec une précision supérieure à 0.2 dB(A) d'approximer cette courbe par une droite avec l'équation suivante :

$$K = 5.5 (1 - t_T) \quad (10)$$

MESURE SIMPLIFIEE DU L_{EX} AU POSTE DE CONDUITE DES CHARIOTS ELEVATEURS

Il en résulte que :

$$L_{Aeq-INRS} = L_T - 5.5 (1 - \tau_T) \quad (11)$$

Cette relation a été utilisée pour évaluer le niveau sonore moyen équivalent $L_{Aeq-INRS}$ émis par les différents chariots. La figure 2 donne l'histogramme de l'écart ΔS_4 entre ce niveau et celui donné par le code DIN ($\Delta S_4 = L_{Aeq-INRS} - L_{Aeq-DIN}$). On constate que pour 96% des chariots, cet écart est compris dans un intervalle de ± 1 dB(A).

5. CONCLUSION

Parmi les différents codes d'essais disponibles pour évaluer la nuisance sonore au poste de conduite de chariots élévateurs, celui proposé par la DIN est le plus représentatif des situations réelles de travail.

Pour évaluer cette nuisance, il est proposé une procédure simplifiée d'essai. Cette procédure ne nécessite que deux mesures : celle du niveau sonore moyen équivalent émis pendant la phase de déplacement à vide L_{DV} (on peut effectuer cette mesure en simulation de déplacement) et celle de la durée relative de la phase de ralenti. A partir de ces deux paramètres, il est possible de déterminer, pour 96% des chariots, et à l'aide d'une formulation très simple, le niveau de bruit émis avec une précision de l'ordre de ± 1 dB(A). Cette procédure, outre sa facilité de mise en oeuvre (une seule mesure et une observation de la durée de travail) est très économique.

Cette procédure pourrait être retenue pour réviser la normalisation européenne relative aux chariots élévateurs [6].

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Organisation de normalisation internationale, "Noise emitted by powered industrial trucks. Measurement at operator's workplace", ISO/TC110/SC2 N 212, Janvier 1977
- [2] Karl Körpert, Rudolf Vanek. "Sound measurements at the operators position of combustion engine powered fork lift trucks", INTER-NOISE 88, pp 1257-1260
- [3] "Geräuschmessung an maschinen - Luftschallmessung, hülfflächen-verfahren sitz-gabelstapler mit antrieb durch verbrennungsmotor", DIN 45635 Teil 36 - märz 1981
- [4] Measurements of noise emitted by lift trucks", ISO/TC110/SC2 N403 - november 1988
- [5] Danière P., Boulanger Ph., Donati P., Galmiche J.P., "L'environnement acoustique et vibratoire au poste de conduite des chariots élévateurs", INRS, Note Scientifique et Technique n° 87, septembre 1991
- [6] Communauté Economique Européenne, "Directives concernant le rapprochement des législations des Etats membres, relatives aux chariots de manutention automoteurs", 86/663/CEE, Décembre 1986

MESURE SIMPLIFIEE DU L_{EX} AU POSTE DE CONDUITE DES CHARIOTS ELEVATEURS

Codes d'essai	Nombre de phases prises en compte	Phase 1 "Elévation" t_E (%)	Phase 2 "Ralenti" t_R (%)	Phase 3 "Déplacement à vide" t_{DV} (%)	Phase 4 "Déplacement en charge" t_{DC} (%)
ISO	4	0.15	0.76	0.045	0.045
BITA	4	0.15	0.76	0.045	0.045
DIN	3	0.1	0.4	0.5	-
OENORM	3	0.1	0.4	0.5	-
GB	2	0.3	-	0.7	-

Tableau 1 : Valeurs des durées relatives t_i de chacune des phases retenues par les différents codes d'essai de mesure de bruit (t_i ext exprimé en % du temps total d'utilisation).

Type d'essai	Type de calcul	Type d'énergie			
		Electrique	Diesel	Ess. gaz	Tous confondus
Elévation (L_E)	moyenne	74.8	92.6	91.5	87.9
	écart type	4.5	7.4	3.9	10.1
Ralenti (L_R)	moyenne	56.9	73.5	68.7	68.6
	écart type	6.3	6.8	3.3	9.6
Déplacement à vide (L_{DV})	moyenne	76.7	92.4	92.6	88.3
	écart type	5.2	7.2	2.7	9.4
Déplacement en charge (L_{DC})	moyenne	75.3	92.3	91.8	87.8
	écart type	5.2	7.2	3.6	9.8
Indicateur 1 = ($L_{DV} - L_{DC}$)	moyenne	1.3	0.1	0.8	0.5
	écart type	3.3	1.3	2.0	2.1
Indicateur 2 = ($L_{DV} - L_E$)	moyenne	1.9	-0.3	1.1	0.4
	écart type	5.0	2.7	1.8	3.5
Indicateur 3 = ($L_{DV} - L_R$)	moyenne	19.8	19.0	23.9	19.7
	écart type	5.8	4.4	4.1	5.0

Tableau 2 : Niveaux sonores mesurés pendant les quatres phases d'essai et valeurs des indicateurs 1, 2 et 3 pour les différents types d'énergie utilisés.

MESURE SIMPLIFIEE DU L_{EX} AU POSTE DE CONDUITE DES CHARIOTS ELÉVATEURS

N° ordre INRS	Marque	LEX	L _{Aeq} - ISO	L _{Aeq} -BITA	L _{Aeq} - DIN	L _{Aeq} -OENORM	L _{Aeq} - GB
61	Kalmar	84.7	80.2	80.2	85.1	85.1	87.1
67	Hyster	90.4	86.0	86.0	89.3	89.3	91.7
81	Hyster	91.2	84.7	84.7	91.3	91.3	93.0

Tableau 3 : Résultats des niveaux sonores moyens équivalents L_{Aeq} calculés à partir des coefficients de pondérations temporelles t_i associés à chaque code d'essai (ISO, BITA, DIN, OENORM, GB) comparés au résultat du niveau réel d'exposition L_{EX} (valeurs exprimées en dB(A)).

Simulations effectuées	Nombre de phases prises en compte	Phase 1 Elevation t_1 (%)	Phase 2 Ralenti t_2 (%)	Phase 3 Déplacement à vide t_{DV} (%)	Phase 4 Déplacement en charge t_{DC} (%)	Nombre d'essais à réaliser	ΔS dB(A)	
							Moyenne	Ecart-type
S1 (DIN)	4 (3)	0.1 (0.1)	0.4 (0.4)	0.25 (0.5)	0.25 (-)	4 (3)	$\Delta S1$	-0.1 0.7
S2 (DIN)	3 (3)	0.1 (0.1)	0.4* (0.4)	0.3 (0.5)	- (-)	3* (3)	$\Delta S2$	0.0 0.1
S3 (DIN)	2 (3)	- (0.1)	0.4* (0.4)	0.6 (0.5)	- (-)	1* (3)	$\Delta S3$	-0.1 0.7
S4 (DIN)	2 (3)	- (0.1)	0.4* (0.4)	0.6 (0.5)	- (-)	1* (3)	$\Delta S4$	-0.1 0.7

Tableau 4 : Valeurs des pondérations temporelles introduites pour le calcul du niveau sonore moyen équivalent dans les différentes simulations numériques

$$(\Delta S1 = L_{Aeq-S1} - L_{Aeq-DIN}; \Delta S2 = L_{Aeq-S2} - L_{Aeq-DIN};$$

$$\Delta S3 = L_{Aeq-S3} - L_{Aeq-DIN}; \Delta S4 = L_{Aeq-INRS} - L_{Aeq-DIN})$$

(* : le niveau sonore pris en compte pour la phase de ralenti n'est pas mesuré mais déduit des autres essais).

MESURE SIMPLIFIEE DU L_{EX} AU POSTE DE CONDUITE DES CHARIOTS ELEVATEURS

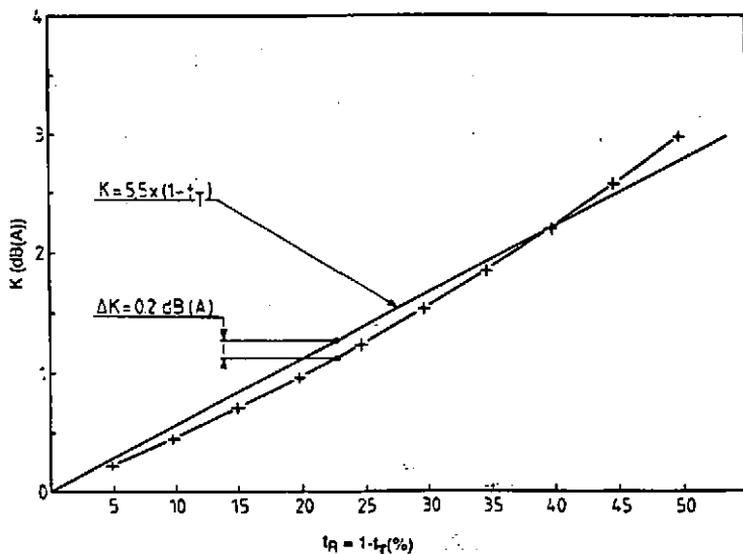


Figure 1 : Evolution du terme correctif K avec la durée relative de la phase de ralenti t_R .

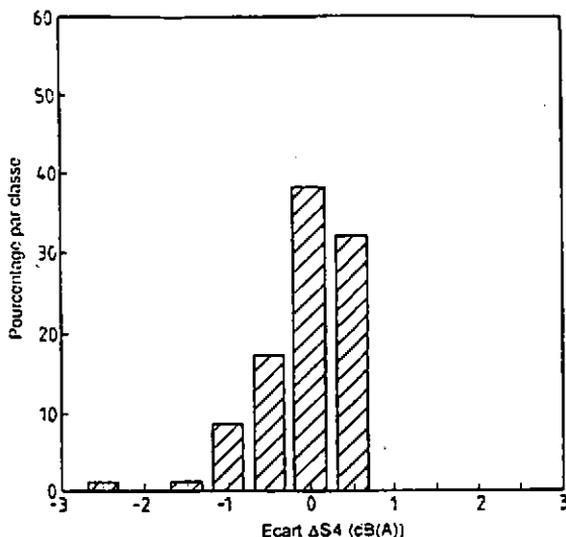


Figure 2 : Histogramme de l'écart ΔS_4 ($\Delta S_4 = L_{Aeq-INRS} - L_{Aeq-DIN}$) entre le niveau sonore moyen équivalent calculé avec la procédure simplifiée INRS et le niveau sonore moyen équivalent $L_{Aeq-DIN}$.