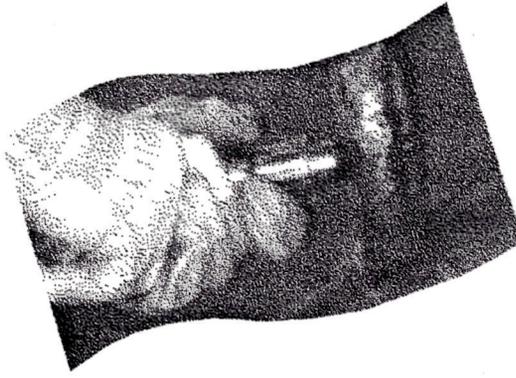


**Bruit du procédé de meulage
dans l'industrie aérospatiale**



**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Jean-Luc Wojtowicki

Septembre 1998 R-200

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec



L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
1998
ISBN: 2-551-19030-4
ISSN: 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone: (514) 288-1551
Télécopieur: (514) 288-7836

© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,
septembre 1998.

Bruit du procédé de meulage dans l'industrie aérospatiale

Jean-Luc Wojtowicki,
Université de Sherbrooke

ÉTUDES ET
RECHERCHES

RAPPORT

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
2. MEULAGE DE TOLES LÉGÈRES DANS L'AÉRONAUTIQUE	1
2.1 DÉFINITIONS.....	1
2.2 EXEMPLE TYPIQUE ; POSTE DE TRAVAIL CHEZ PRATT & WHITNEY	2
2.2.1 <i>Poste de travail</i>	2
2.2.2 <i>Pièce</i>	2
2.2.3 <i>L'outil</i>	3
2.2.4 <i>Bruit du procédé</i>	3
2.3 CONTRAINTES DE PRODUCTION.....	5
3. ÉTUDE DE LA CHAÎNE DE GÉNÉRATION DU BRUIT	5
3.1 FORCE DE MEULAGE	5
3.2 CONTACT MEULE/PIÈCE	7
3.2.1 <i>Densité modale</i>	7
3.2.2 <i>Mobilité d'entrée</i>	8
3.2.3 <i>Mobilité croisée</i>	9
3.3 RAYONNEMENT DE LA STRUCTURE	12
3.3.1 <i>Fréquence critique</i>	12
3.3.2 <i>Indicateurs vibroacoustiques</i>	12
4. PISTES DE SOLUTION POUR LA RÉDUCTION DU BRUIT	14
4.1 ÉMERGENCE DE CONCEPTS.....	14
4.2 TESTS DES CONCEPTS PRINCIPAUX SUR LA PIÈCE NON ASSEMBLÉE	15
4.2.1 <i>Génération de l'excitation</i>	15
4.2.2 <i>Transmission de l'excitation</i>	17
4.2.3 <i>Rayonnement de la structure</i>	17
4.2.4 <i>Cumul de solution</i>	17
4.2.5 <i>Autre procédé</i>	18
4.3 TESTS DES CONCEPTS SUR LA PIÈCE ASSEMBLÉE	18
4.4 ANALYSE.....	19
5. RECOMMANDATIONS	20
6. CONCLUSION	21
7. BIBLIOGRAPHIE	22

Sommaire

La présente étude a pour but d'analyser le processus de génération de bruit de meulage de tôles peu épaisses. Ce procédé est très répandu dans l'industrie aéronautique, les niveaux de bruit relevés à l'oreille de l'opérateur peuvent atteindre 98 dB(A), en mesures instantanées.

Les résultats de cette analyse sont :

- La force d'excitation dynamique est une suite d'impacts générés par la meuleuse à cause de sa forme géométrique très irrégulière et de la grande vitesse de rotation.
- Les tôles de faibles épaisseurs ont une densité modale élevée et une impédance d'entrée équivalente sur toute leur surface. Ceci implique que tout traitement visant à réduire la transmission de la force dynamique ou du rayonnement de la pièce doit être réalisé sur toute la surface de celle-ci.

Des pistes de solutions pour la réduction du bruit ont été dégagées et testées:

• Meule ronde pour l'ébarbage	réduction	3,7 dB(A)
• Meule à volet pour le polissage	réduction	5,6 dB(A)
• Socle résilient	réduction	7,3 dB(A)
• Pièce doublée	réduction	4,1 dB(A)
• Meule à volet + socle	réduction	9,8 dB(A)
• Sablage par bande	réduction	12 dB(A)

Les pistes visant à réduire la génération de la force dynamique sont transférables à tout type de pièces, tandis que celles visant à réduire la transmission de la force ou le rayonnement de la pièce sont spécifiques à chacune.

La stratégie de réduction du bruit doit suivre deux axes principaux:

- Utiliser les meules adéquates pour chaque opération (ébarbage, polissage, ...) et non une seule. Un travail avec les fournisseurs d'outils est à entreprendre en fonction des objectifs préalablement définis de chacun des procédés.
- Prioriser la mise en place des pistes de solutions en commençant par celles qui sont applicables immédiatement (pièce double) et développer en parallèle les pistes plus élaborées (support,...).

Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes et les organismes suivants pour leur aide et leur participation à cette étude :

- François Canuel et toutes les personnes chez Pratt & Whitney qui ont participé au projet
- Christian Clavet et Gabriel Laperle du GAUS pour leur aide dans la réalisation des montages et essais
- L'Institut de Recherche en Santé et Sécurité du Travail (IRSST) pour son support financier

1. Introduction

Suite a la demande de l'IRSST, le GAUS a été sollicité afin d'étudier la faisabilité de réduction du bruit de meulage de tôles légères dans l'industrie aéronautique. L'étude suivante se concentre sur un exemple de meulage de tôles légères chez Pratt & Whitney Canada.

Le but principal de cette étude est d'étudier et comprendre la chaîne de génération du bruit dans le cadre spécifique de ce procédé puis de chercher des pistes de solutions visant à en réduire le bruit. On procède à l'étude successive de la génération de l'excitation (la force de meulage), de la transmission de cette excitation à la structure et enfin au rayonnement acoustique de cette structure.

La grande difficulté associée à cette problématique vient du fait que le point d'excitation se déplace sur la surface de la tôle alors que pour les problématiques courantes les structures sont excitées toujours aux mêmes points (ancrage d'un moteur électrique, support de palier,...).

2. Meulage de tôles légères dans l'aéronautique

2.1 Définitions

Meulage : opération consistant à enlever de la matière (généralement de l'acier) à une pièce en utilisant un objet abrasif en mouvement rapide. La manière la plus répandue pour le meulage est l'utilisation d'une roue abrasive (meule) montée sur un arbre tournant couplé à un moteur (pneumatique, électrique et parfois à combustion interne). L'ensemble arbre/moteur constitue la meuleuse.

Tôle légère : Une tôle légère correspond à des épaisseurs de matière peu élevées (de l'ordre du millimètre). On retrouve ces tôles dans bon nombre d'industries (aéronautique, automobile, ventilation,...).

Secteur aéronautique : le secteur aéronautique se distingue des autres secteurs par les faits que :

- les normes de qualité sont les plus strictes;
- le procédé est particulièrement répandu dans ce secteur, on trouve toutes sortes de pièces;
- le problème de bruit touche donc plus de travailleurs.

2.2 Exemple typique; poste de travail chez Pratt & Whitney

2.2.1 Poste de travail

Le choix d'un poste de travail par Pratt & Whitney a été fait en fonction des paramètres suivants :

- fréquences de fabrication des pièces;
- opérations particulièrement bruyantes (≈ 98 dB(A));
- outillage (meule et meuleuse) standard dans l'usine.

Le poste de travail sélectionné est celui représenté à la figure 1.

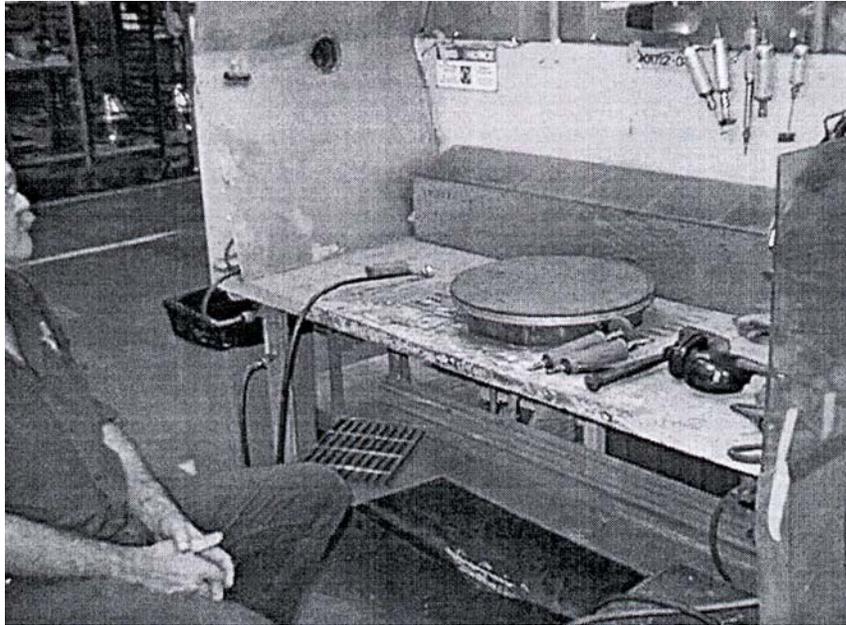


Figure 1: poste de travail test

Le poste de travail est très simple : une table de travail en bois, un plateau porte-pièce rotatif, un système d'aspiration des poussières.

2.2.2 Pièce

La pièce meule est représentée à la figure 2. Il s'agit d'une tôle en acier inoxydable emboutie d'épaisseur 0,7 mm et de surface 0,175 m.

Cette pièce est destinée à être soudée à d'autres pièces pour former un système complet.



Figure 2 : Piece typique

2.2.3 L'outil

La meuleuse : c'est une meuleuse à air comprimé de marque DOTCO dont la vitesse nominale à vide est de 23 000 tr/min sous 90 livres (psi) de pression d'air.

La meule : elle est constituée d'un tampon de coton qui a été enduit de colle et dont la tranche est roulée dans des grains abrasifs. La meule est montée sur l'arbre de la meuleuse par un filet conique.

L'ensemble meule et meuleuse est représenté à la figure 3.

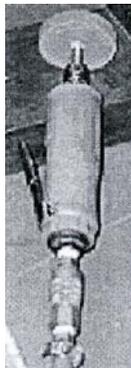


Figure 3 : Meule et meuleuse

2.2.4 Bruit du procédé

Le spectre de bruit suivant représente le niveau de pression, en mesures instantanées, relevé à l'oreille de l'opérateur chez Pratt & Whitney au poste d'opération en conditions normales.

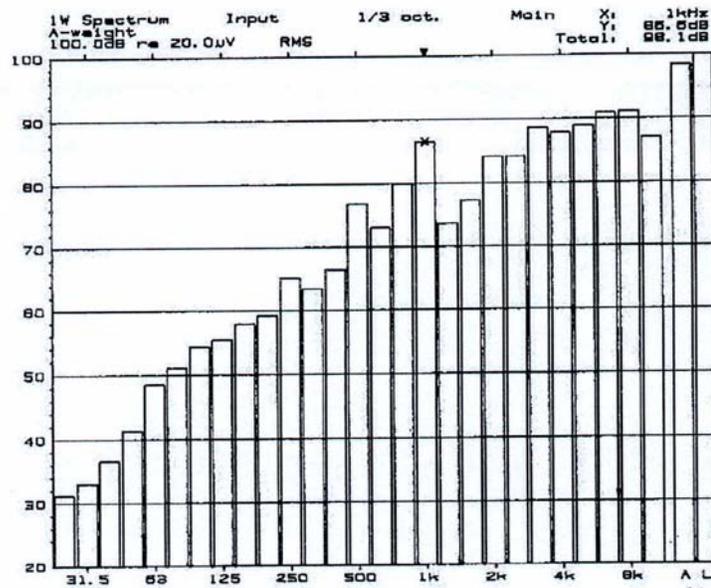


Figure 4 : Spectre de bruit en dB(A) à l'oreille de l'opérateur en 1/3 d'octave

On constate que le bruit est de type moyennes et hautes fréquences. Les niveaux les plus importants sont situés au-dessus de 3,15 kHz. Le niveau total est de 98 dB(A) à l'oreille de l'opérateur.

Pendant le meulage, la vitesse de rotation de l'outil chute a 15 400 RPM (256 tr/s) environ. Le bruit généré est un spectre de raie très marqué, où on voit apparaître une suite de pics à 256 Hz, 512 Hz, 768 Hz, 102 Hz ...Ces pics correspondent à la fréquence de rotation et à ses harmoniques. Le spectre en bandes fines suivant (figure 5) correspond à la même mesure que le spectre de la figure 4 en tiers d'octave.

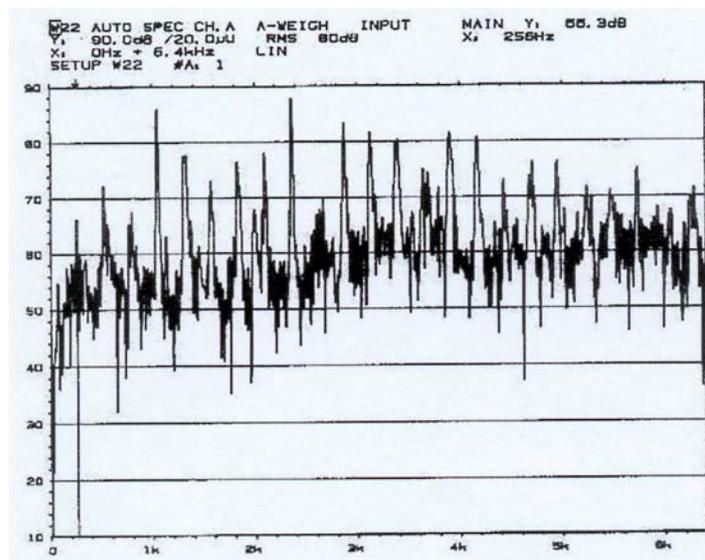


Figure 5 : Spectre de bruit à l'oreille de l'opérateur en bandes fines

Le phénomène de génération de bruit est donc directement relié à la rotation de la meule.

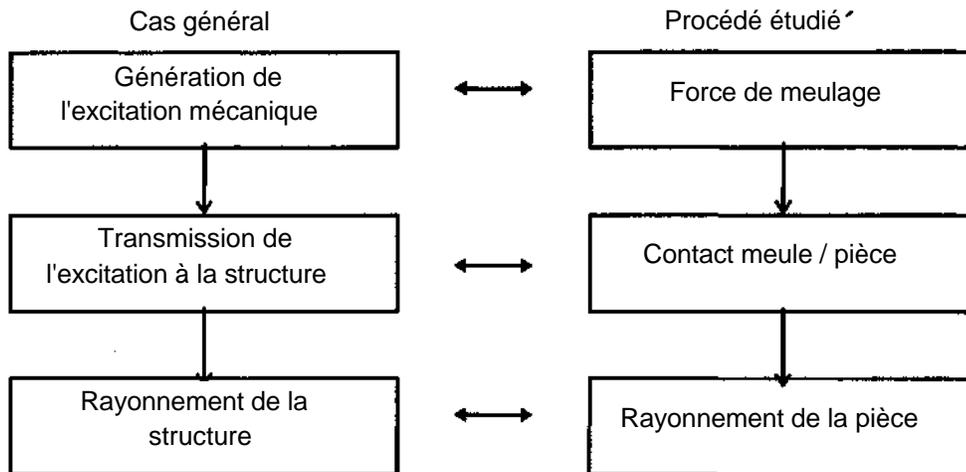
2.3 Contraintes de production

Les contraintes associées au procédé de meulage étudié sont :

- la grande mobilité de l'outil autour de la pièce;
- la difficulté à fixer la pièce.

3. Étude de la chaîne de génération du bruit

Le mécanisme de génération du bruit est très simple dans le cas étudié. Il se divise en trois « maillons ».



Le but de ce chapitre est d'étudier et de caractériser chacun de ces trois éléments.

3.1 Force de meulage

Les études antérieures [1] ont montré que la force de meulage générée par les meules plates ou coniques provient du fait que la meule n'est pas en contact permanent avec la pièce usinée à cause des défauts de voilage et d'excentration de la meule couplés à de grandes vitesses de coupe. Ce contact non permanent crée donc des chocs qui se répètent à chaque tour, on peut même relier directement la « topographie » de la meule à la trace temporelle de la force de meulage.

Le but est de vérifier si ce résultat très important s'applique au cas des meules utilisées dans le procédé étudié.

Pour ce faire, on a mesuré les défauts géométriques d'une meule puis on a mesuré la force exercée par cette même meule en fonction du temps.

La figure 6 représente les défauts géométriques d'excentration en différents endroits sur la tranche de la meule.

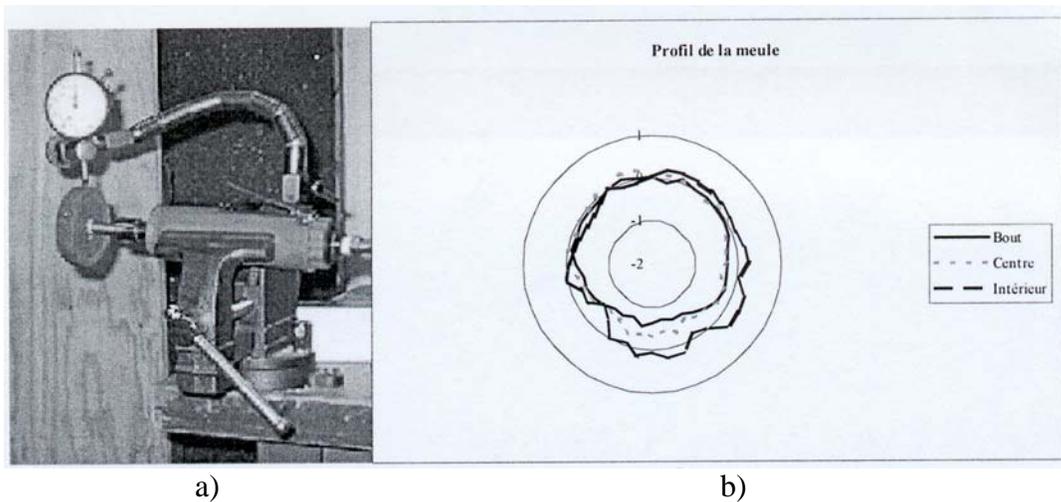


Figure 6 : Défaut géométrique d'une meule
a) mesure ; b) graphe

Le défaut d'excentration mesure est de l'ordre de 0,8 mm ce qui est très important pour un outil tournant à plus de 15 000 tr/min.

La figure 7 correspond à la trace temporelle de la force de meulage avec cette même meule. On voit très nettement sur la figure 7.a l'impact du signal de force quand le contact ne se fait plus. La figure 7.b montre que le phénomène se reproduit à chaque tour.

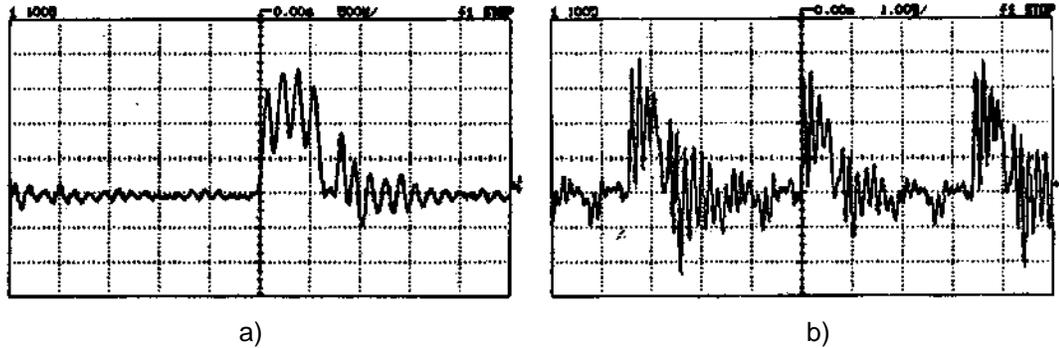


Figure 7 : Trace temporelle du signal de force de meulage
a) sur un tour; b) sur trois tours

Le phénomène décrit dans [1] se transpose au procédé de meulage présentement étudié.

La force de meulage, donc l'excitation, provient du fait que les meules ont des géométries irrégulières. La réduction de la force d'excitation, donc la réduction du bruit passe par l'utilisation de meules plus « rondes ». En toute théorie des défauts 2 fois moins importants devraient entraîner une réduction du bruit de 3 dB.

3.2 Contact meule/pièce

Nous savons maintenant que la force de meulage se résume à une succession d'impacts, la transmission de l'excitation à la structure dépend donc de l'impédance d'entrée de celle-ci au point d'excitation.

Dans ce chapitre, la transmission de l'énergie mécanique à la structure a été étudiée en utilisant un pot vibrant à la place de l'excitation réelle, ceci afin de pouvoir mesurer la force injectée en même temps que la réponse de la structure.

3.2.1 Densité modale

La figure 8 suivante est un spectre de mobilité (vitesse/force) typique mesuré en un point de la structure. Chaque pic correspond à un mode de vibration de la structure. On constate que la densité modale (nombre de modes par bandes de fréquence) devient élevée à partir de 1500 Hz environ, Or, on a vu que le bruit genere devient important à partir de 3150 Hz, c'est à dire dans la zone de densité modale élevée.

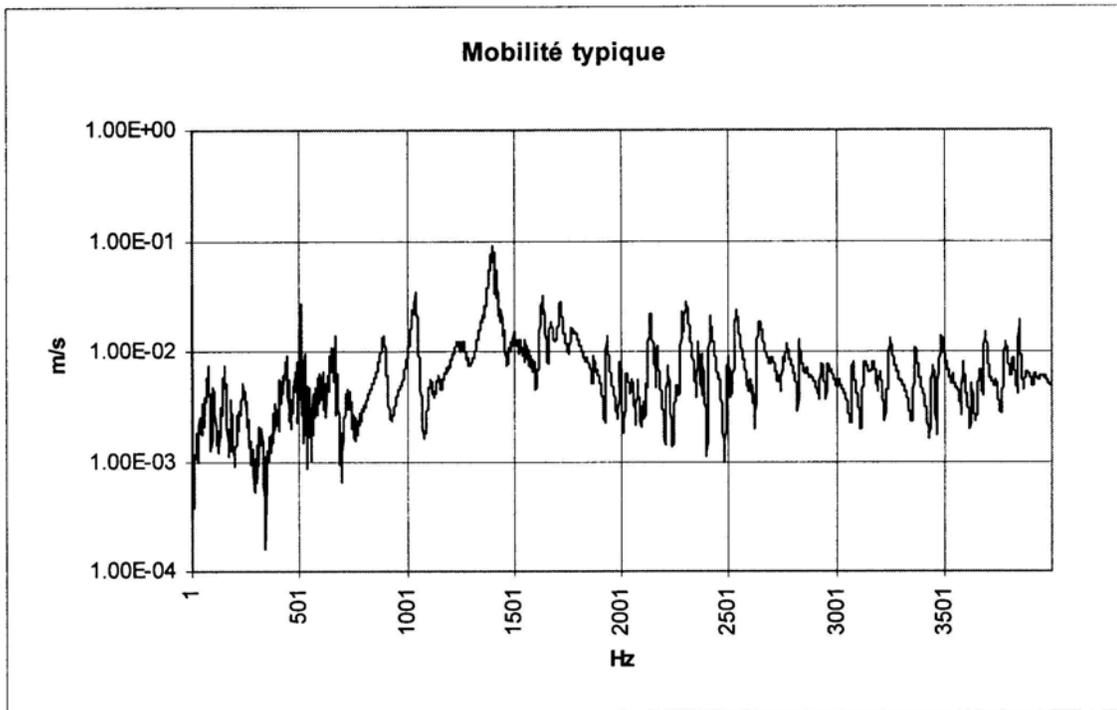


Figure 8 : Spectre en bandes fines

Dans ces conditions, il est difficile de comparer différents résultats d'essais en superposant deux courbes en bandes fines.

Il est donc préférable d'utiliser des spectres de 1/3 d'octave pour comparer les courbes de mobilité.

3.2.2 Mobilité d'entrée

La mobilité d'entrée (vitesse/force) est l'inverse de l'impédance mécanique. Plus la mobilité est élevée, plus l'impédance est faible donc plus la réponse à l'excitation est importante.

Le but de ce paragraphe est d'étudier la mobilité d'entrée en différents points caractéristiques de la structure. Ces mobilités ont été mesurées en déplaçant le point d'excitation (pot vibrant) en de nombreux points sur la structure.

La figure 9 donne la position des différents points de mesure.

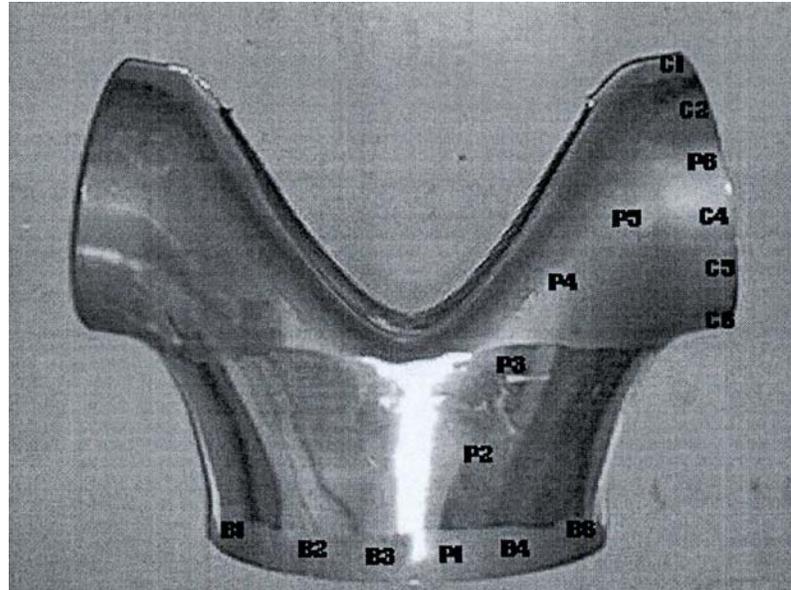


Figure 9 : Position des points de mesures de mobilité d'entrée

Les points choisis sont situés sur le bas de la pièce (points B_n), sur le « sommet » de la pièce (points P_n) et sur un des deux côtés (points C_n).

La figure 10 représente les mobilités moyennes sur ces trois séries de points.

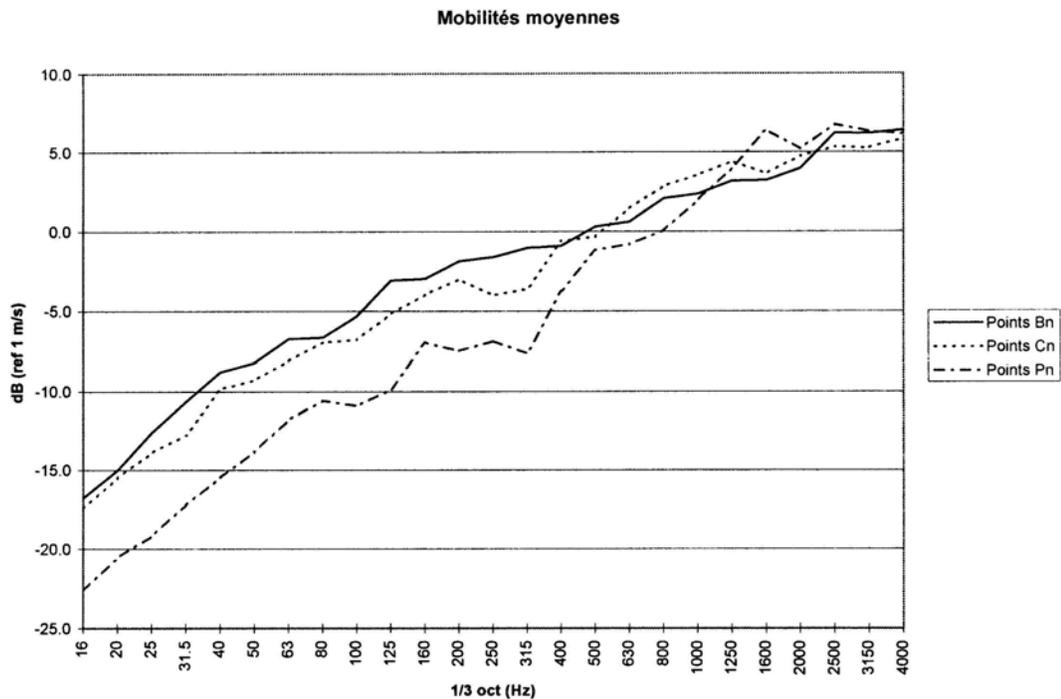


Figure 10 : Mobilités directes moyennes en 1/3 d'octave

L'analyse de cette courbe fait apparaître les faits suivants :

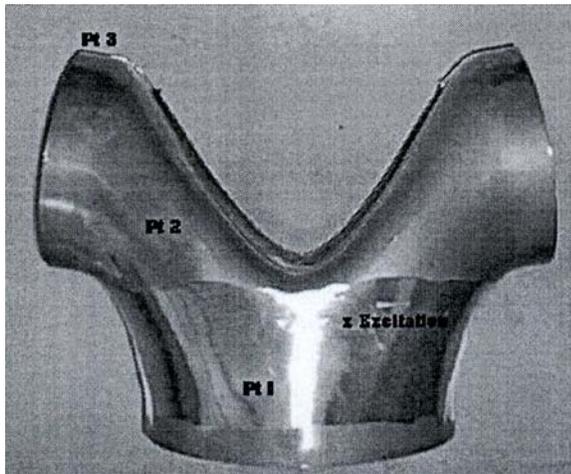
- en dessous de 1000 Hz, les points B_n et C_n , soient les bords de la pièce, ont une mobilité moyenne plus élevée. C'est-à-dire que la réponse vibratoire sur les bords de la pièce est plus importante, ce qui se conçoit bien car on se trouve proche des bords libres;
- au-dessus de 1000 Hz, tous les points ont une réponse équivalente, ce qui veut dire que cette pièce ne possède pas de points durs ou mous susceptibles d'exciter plus ou moins les modes de vibrations.

La conclusion est que dans la zone fréquentielle de fort rayonnement, tous les points de la pièce ont la même réponse, *i.e.* **il n'y a pas de points d'excitation privilégiés.**

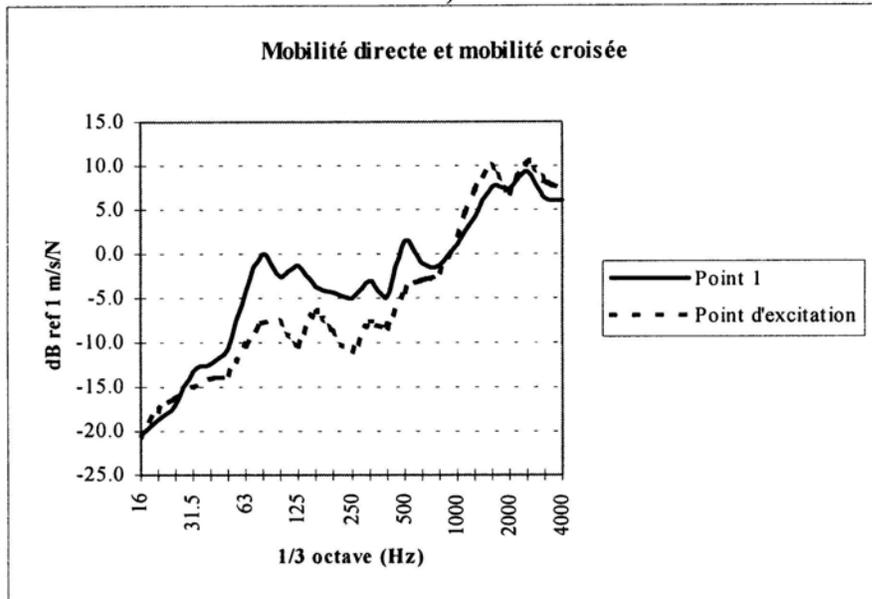
3.2.3 Mobilité croisée

La mobilité croisée correspond à la mesure de la réponse de la structure en un autre point que celui où elle est excitée. On caractérise alors la transmission de l'énergie d'un endroit vers le reste de la structure. La figure 11 montre les points de mesure de vitesse sur la structure et le point d'excitation.

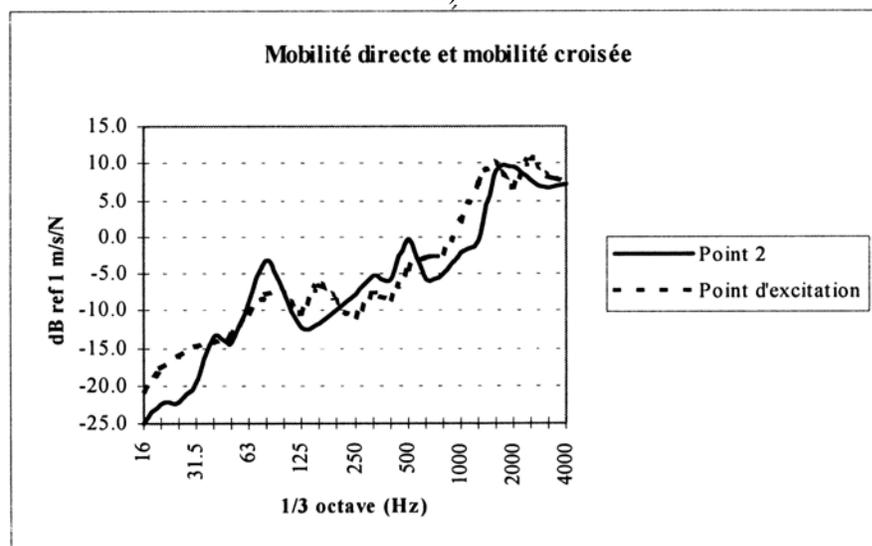
Les courbes de la figure 11 comparent respectivement la mobilité d'entrée et les mobilités croisées en différents points :



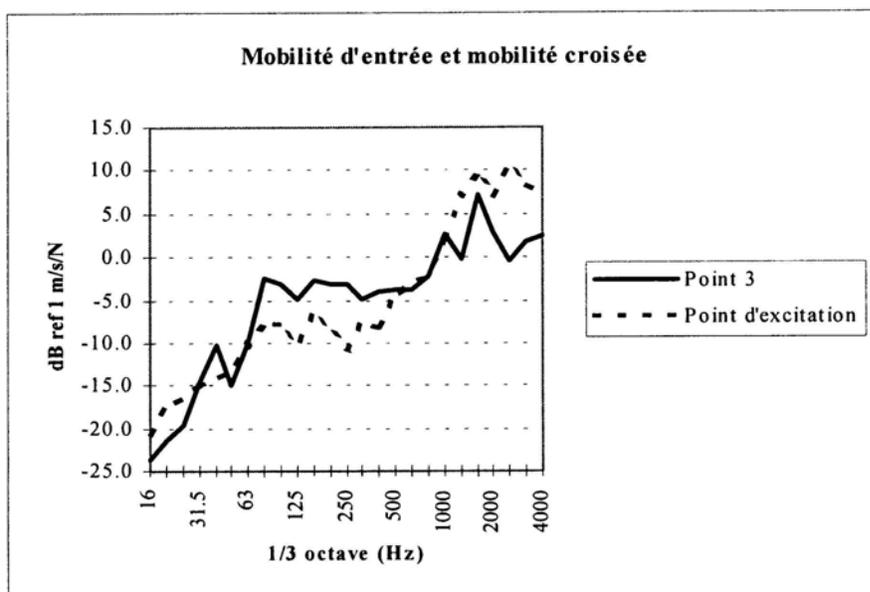
a)



b)



c)



d)

Figure 11: Mobilité d'entrée et croisée

a) position des points; b) au point 1; c) au point 2; d) au point 3

Les courbes a) et c) correspondent à deux points sur les bords de la pièce. Ces deux points montrent que ces points sont plus excités que le point d'excitation lui-même dans une bande de fréquence inférieure à 1000 Hz, au-dessus de cette fréquence, la réponse croisée est soit équivalente soit inférieure.

La courbe b) correspond à un point quelconque qui n'est pas sur un bord. Les deux courbes sont équivalentes sur toutes les bandes de fréquence. On en déduit qu'un point qui n'est pas sur les bords vibre autant que le point où l'excitation s'applique.

En conclusion, l'énergie vibratoire se transmet à toute la structure et tous les points vibrent globalement avec la même amplitude quelque soit le point d'application de la force.

L'étude du contact meule/pièce permet de tirer les conclusions suivantes :

- **Une augmentation d'impédance d'entrée au point d'excitation diminuera le niveau de vibration à l'ensemble de la structure.**
- **Vu le déplacement du point d'excitation et que les réponses en ce point sont équivalentes dans la zone bruyante, il faut donc augmenter l'impédance sur toute la structure.**

3.3 Rayonnement de la structure

3.3.1 Fréquence critique

La fréquence critique est une fréquence caractéristique des plaques à laquelle les ondes de flexion mécanique ont une longueur d'onde équivalente à celle de l'acoustique. Cette coïncidence correspond à la zone fréquentielle de fort rayonnement, de plus au-dessus de celle-ci tous les modes de vibrations sont dits « rayonnants » c'est-à-dire que tout mode de vibration va exciter le milieu dans lequel il est plongé et devient source de bruit.

La fréquence critique se calcule par la formule suivante :

$$f_c = \frac{C_o}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho \cdot h}{D}} \quad (1)$$

avec

$$D = \frac{E h^3}{12 (1 - \nu^2)} \quad (2)$$

- C_o : vitesse du son dans l'air
- ρ : masse volumique de la plaque
- h : épaisseur de la plaque
- E : module d'Young
- ν : coefficient de Poisson

Pour les plaques en acier dans l'air cette expression est simplement :

$$f_c = \frac{12}{h} \quad (3)$$

Dans le cas de la pièce étudiée, cette fréquence critique est de 17 kHz. Ce qui veut dire que la pièce étudiée est peu efficace en rayonnement dans la zone d'intérêt, néanmoins le bruit rayonné n'en demeure pas moins élevé pendant le meulage.

3.3.2 Indicateurs vibroacoustiques

Les indicateurs vibroacoustiques sont :

- la vitesse quadratique moyenne;
- la puissance acoustique rayonnée et
- le rapport des deux : le facteur de rayonnement.

On détermine ces indicateurs au moyen de deux mesures :

- mesure de vibration pour obtenir les vitesses quadratiques;
- mesure d'intensité pour obtenir la puissance acoustique.

Généralement, on utilise un pot vibrant comme source d'excitation mécanique. Mais dans le cas qui nous préoccupe, on a préféré utiliser l'outil comme source d'excitation afin de

mieux coller à la réalité du problème : soit un point d'excitation qui se déplace et une force de type « peigne de raies ».

La courbe suivante (figure 12) représente le résultat final : le facteur de rayonnement en condition de meulage.

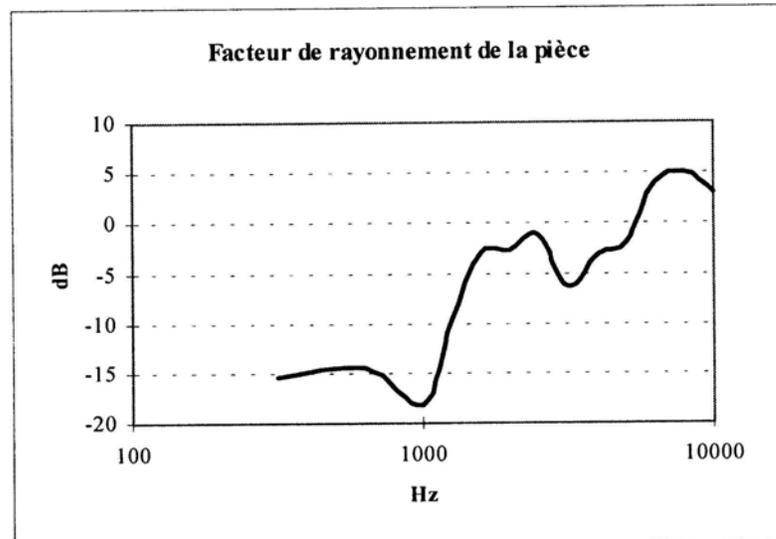


Figure 12 : Facteur de rayonnement de la pièce étudiée

Cette courbe est typique pour un facteur de rayonnement. On constate que le rayonnement maximum est atteint à environ 8000 Hz, alors que la fréquence critique théorique est de 17 000 Hz. On explique ceci par la forme bombée de la pièce qui augmente la raideur globale de la plaque. L'équation (1) fait apparaître le module de rigidité en flexion au dénominateur, si la rigidité augmente, la fréquence critique diminue. C'est ce qui se passe pour notre pièce d'essai.

Le spectre de la figure 4 montre que le bruit généré est plus élevé dans les hautes fréquences, ce résultat est confirmé par la détermination du facteur de rayonnement.

En conclusion, le rayonnement de la pièce étudiée n'est pas affecté par le fait que la source d'excitation est de type quelconque (spectre de raies et déplacement du point d'application). On retrouve le comportement vibroacoustique des plaques. La seule différence est que le rayonnement maximum intervient à une fréquence inférieure à la fréquence critique théorique, ceci étant dû à sa forme bombée (pièce emboutie) qui augmente sa rigidité. Les techniques classiques de réduction du bruit rayonne par les plaques s'appliquent donc à notre cas (ajout de masse, amortissement,...).

4. Pistes de solution pour la reduction du bruit

Cette derniere partie consiste a evaluer les reductions qu'il est possible d'obtenir en appliquant des solutions ou des concepts correspondant a la problematique au niveau de l'excitation, de la transmission de l'excitation et du rayonnement de la structure.

4.1 Emergence de concepts

L'emergence de concepts a consiste a une reunion type « Brain Storming » a laquelle tous les membres du GAUS ont ete convies (professeurs, etudiants, professionnels, techniciens). Apres une breve presentation de la problematique, les questions suivantes ont ete posees :

- Q1 - Comment reduire la force injectee dans la structure?
- Q2 - Comment reduire la transmission de l'excitation?
- Q3 - Comment limiter le rayonnement de la structure?
- Q4 - Autres moyens?

Les principaux concepts restants sont:

- Q1 :
 - Creer une modulation aleatoire dans la rotation pour empecher la generation du spectre de raies.
Augmenter la frequence d'impact pour limiter le nombre de raies spectrales dans la zone frequentielle audible.
 - Utiliser des meules plus « rondes ».
 - Utiliser des disques a sabler souples.
Systeme de meule auto-centreuse.
Utiliser des brosses abrasives.
- Q2 :
 - Poser la piece sur un socle resilient (contre-piece en mousse,...).
- Q3 :
 - Faire un encoffrement semi-ouvert pour couper le champ direct.
 - Robotiser et encoffrer le procede.
Changer les conditions aux limites = tenir la piece (etau,...).
Utiliser un autre materiau que l'acier.
Sac gonflable avec un materiau visqueux pour epouser les formes de la piece.
 - Patch de materiau visco-elastique.
 - Meuler avec deux pieces Tune dans l'autre.
- Q4 :
 - Utiliser un procede de sablage plus lent (sableuse a bande).
 - Ameliorer les autres precedes (formage, soudure, ...) de maniere a limiter les meulages.

4.2 Tests des concepts principaux sur la pièce non assemblée

Le but de ce chapitre est d'estimer les réductions obtenables à partir des concepts les plus prometteurs dans la mesure ou un test au laboratoire est réalisable. Le niveau de puissance acoustique à vide correspond au bruit de l'outil lorsque celui-ci ne touche pas à la structure. Ce niveau de puissance obtenu est de 87.2 dB(A).

Pratiquement, si le niveau de puissance lors des tests est inférieur ou égal à 90 dB(A) (= 87 + 87 dB(A)), le bruit généré par le meulage est alors inférieur ou équivalent au bruit à vide.

Les réductions qu'il est possible d'obtenir avec les concepts peuvent varier dans une fourchette de 0 à 12 dB(A) ($L_w = 99,1$ dB(A) en charge) sachant que les 9 « premiers » dB sont uniquement dépendants du meulage. Au-dessus, les réductions sont limitées par le bruit à vide.

4.2.1 Génération de l'excitation

Meule plus « ronde » :

Afin d'obtenir un outil ayant la forme la plus ronde possible, on a procédé à la fabrication d'une roulette en plastique sur laquelle vient se glisser une bande de papier à sabler (voir figure 13). Les défauts géométriques de cette meule sont de l'ordre de 0,10 mm sur l'excentration.

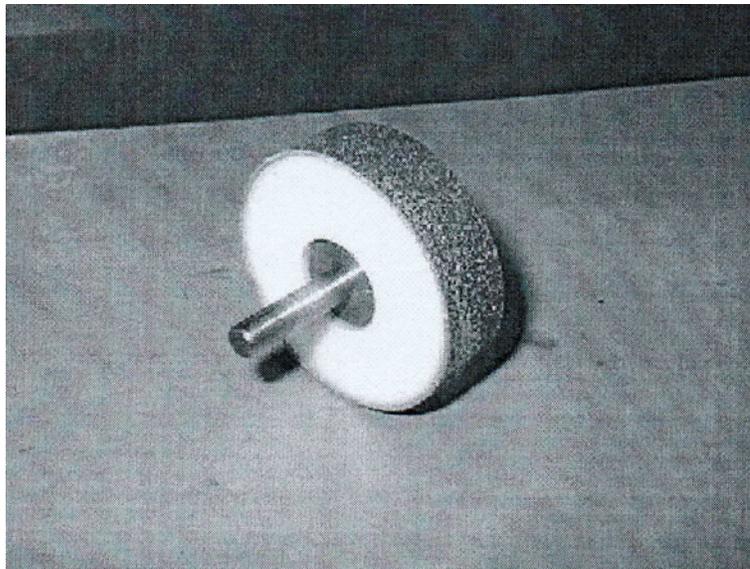
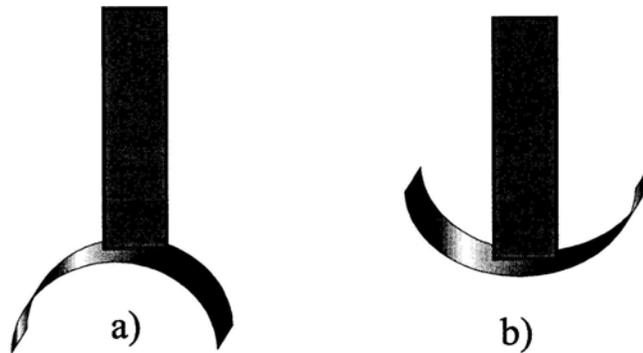


Figure 13 : Meule ronde (roulette + bande de papier à sabler)

Les niveaux de puissance en meulage sont:

État standard	$L_w = 99,1 \text{ dB(A)}$
Meule ronde	$L_w = 95,4 \text{ dB(A)}$
Réduction	3,7 dB(A)

Notons que cette réduction est minimisée par le fait que notre meule ronde a été conçue pour avoir une surface de contact plate. Comme la pièce est courbée, la meule est plus performante sur des surfaces convexes que sur les surfaces concaves (voir figure 14) car dans le cas concave, le défaut de voilage entre en ligne de compte.



**Figure 14 : Meule plate sur surfaces
a) concave; b) convexe**

Meules souples

Nous n'avons pas utilisé le disque à sabler souple, mais des meules à volet constituées d'une série de bande de papier à sabler (voir figure 15). L'avantage est d'avoir une meule très souple, les défauts géométriques seront rattrapés par l'écrasement de la meule pendant l'opération.

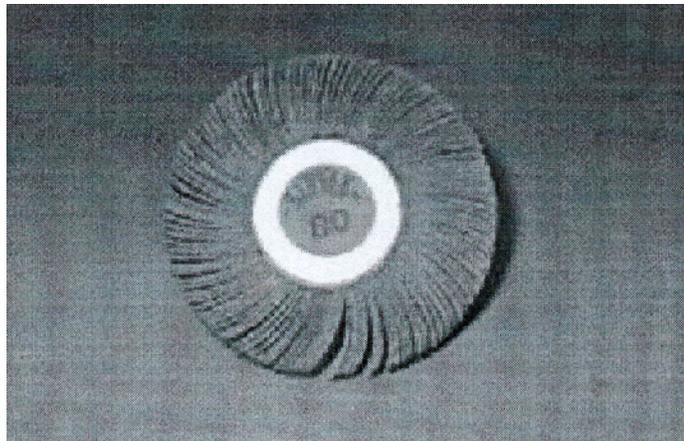


Figure 15 : meule à volets

Etat standard	$L_w = 99,1 \text{ dB(A)}$
Meule a volet	$L_w = 93,5 \text{ dB(A)}$
Reduction	$5,6 \text{ dB(A)}$

4.2.2 Transmission de l'excitation

Socle resilient

L'utilisation d'un socle a un double effet, augmentation de l'impedance et reduction des vibrations de la piece. On a utilise une mousse de remplissage qu'on a injecte sous la piece pour obtenir une contre-piece, puis on a tapisse ce socle a l'aide d'une mousse de polyurethane pour la partie resiliente.

Les resultats sont:

Etat standard	$L_w = 99,1 \text{ dB(A)}$
Socle resilient	$L_w = 91,8 \text{ dB(A)}$
Reduction	$7,3 \text{ dB(A)}$

4.2.3 Rayonnement de la structure

Piece double

On a tout simplement pris deux pieces qu'on a emboite Tune dans l'autre pour donner l'effet d'un doublement de la masse plus un ajout d'amortissement par frottement sec a l'interface des deux pieces.

Les resultats sont:

Etat standard	$L_w = 99,1 \text{ dB(A)}$
Piece double	$L_w = 95,0 \text{ dB(A)}$
Reduction	$4,1 \text{ dB(A)}$

4.2.4 Cumul de solution

Le test suivant correspond au cumul de deux pistes de solution :

Meule a volet + socle resilient

Les resultats sont:

Etat standard	$L_w = 99,1 \text{ dB(A)}$
Meule a volet + socle	$L_w = 89,3 \text{ dB(A)}$
Reduction	$9,8 \text{ dB(A)}$

4.2.5 Autre procédé

Nous avons testé l'utilisation d'une sableuse (voir figure 16) à bande disponible à l'Université de Sherbrooke. Nous n'avons pas pu mesurer la puissance acoustique pendant l'opération. On compare donc ici les niveaux de pression relevés à l'oreille de l'opérateur.

Meulage standard	Lw = 98 dB(A)
Sablage à bande	Lw = 86 dB(A)
Réduction estimée	12dB(A)

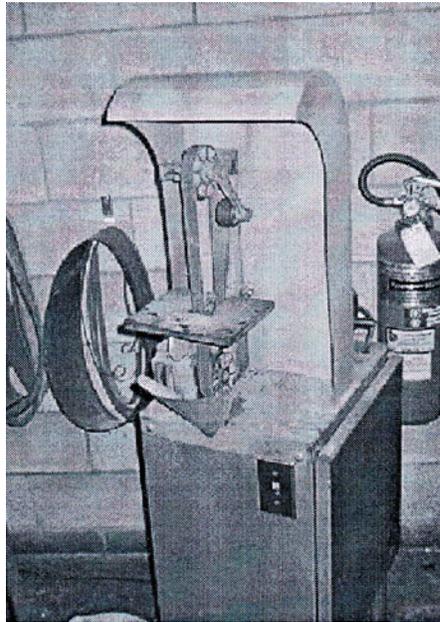


Figure 16 : Sableuse a bande

Cet essai prouve qu'il est possible de réduire fortement le bruit du procédé par un procédé de remplacement basé sur des vitesses plus lentes.

4.3 Tests des concepts sur la pièce assemblée

Il s'agit de tester les concepts précédents quand ils sont applicables à la pièce assemblée. Dans ce cas, il y a un joint de soudure qu'il faut enlever, c'est une opération d'ébarbage. Nous avons aussi effectué le polissage d'une partie de la pièce comme dans le cas de la première étape de la pièce assemblée. Les résultats des mesures sont donnés dans le tableau suivant :

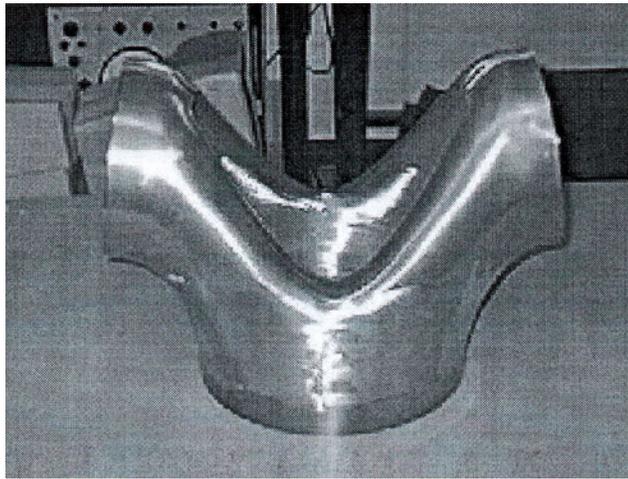


Figure 17 : Pièce assemblée

	Ébarbage			Polissage		
	<i>Avant</i>	<i>Après</i>	<i>Réduction</i>	<i>Avant</i>	<i>Après</i>	<i>Réduction</i>
Pièce doublée	101.4 dB(A)	97.7 dB(A)	3.7 dB(A)	102.3 dB(A)	98.4 dB(A)	3.9 dB(A)
Meule "ronde"	101.4 dB(A)	98.7 dB(A)	2.7 dB(A)	N/A	N/A	N/A
Meule à volets	N/A	N/A	N/A	102.3 dB(A)	97.5 dB(A)	4.8 dB(A)

Nous avons séparé les deux opérations et utilise deux types différents de meules pour chaque opération car la meule à volets n'est pas faite pour enlever un joint de soudure.

On retrouve les mêmes réductions pour la pièce doublée (de l'ordre de 4 dB(A)), on devrait donc trouver des réductions équivalentes pour un socle résilient.

Pour les résultats de réduction avec les meules spéciales, on constate une légère détérioration de l'efficacité de ces solutions (de l'ordre de 1 dB). Cette différence est attribuable au fait que la pièce a change, donc son comportement vibro-acoustique aussi.

4.4 Analyse

Un problème complexe

La problématique du meulage de tôles légères est complexe car :

- la même meule et la même meuleuse sont utilisées pour toutes les opérations (polissage, ébarbage essentiellement);
- la pièce évolue dans le temps et à une forme différente suivant l'étape de fabrication.

Transfert des solutions a d'autres pièces

Les solutions décrites ci-dessus ne s'adaptent pas toujours à toutes les situations :

- un socle n'est utilisable que pour une seule étape de fabrication;
- les meules à volets sont plus destinées au polissage qu'à l'ébarbage.

Par contre, le fait d'utiliser des meules plus rondes est universel et n'interfère ni avec le type d'opération, ni avec l'état d'avancement de fabrication de la pièce.

Ainsi, les réductions énoncées plus haut sont transférables au poste d'opération chez Pratt & Whitney de manière très pondérée (On ne peut pas directement déduire quelle sera la réduction effective pour une journée de travail).

Choix des outils

Chez Pratt & Whitney, on s'en remet à l'expérience de l'opérateur pour juger de la qualité du travail effectué par l'outil. Celui-ci juge le travail d'un nouvel outil par rapport aux résultats obtenus par les meules décrites ci-dessus. À ce jour, aucun autre outil n'a été jugé acceptable par ce processus de sélection.

Il est normal de prendre en compte l'avis de l'utilisateur final, mais un travail supplémentaire devrait être entrepris pour aller chercher d'autres critères objectifs de sélection.

5. Recommandations

Nous recommandons donc de procéder par étapes, de manière à tester les différentes solutions sur le terrain de manière itérative en séparant bien les différentes opérations (une meule pour l'ébarbage, une meule pour le polissage).

Solutions à essayer immédiatement :

- meule à volet pour le polissage seulement (ces meules sont disponibles chez tous les fournisseurs);
- doublage des pièces l'une dans l'autre quand c'est possible, cet essai ne nécessite aucun aménagement particulier.

Solutions à développer au niveau ingénierie :

- penser à la conception d'un socle qui puisse s'adapter au plus grand nombre possible de situations pour une même pièce. Ou alors fabriquer autant de socles que nécessaire;
- améliorer la fabrication des meules actuelles.

Solutions à développer au niveau du choix de l'outil:

Les critères de sélection des outils (surtout *des* meules) devraient être définis de manière précise :

- finition requise (quantité de matière enlevée, état de surface,...)
- temps d'opération
- durée de vie
- émission de poussières
- génération de bruit
- prix
- ...

Ces critères seraient définis en collaboration entre:

- l'opérateur
- l'opérateur de l'étape subséquente (soudage,...)
- un responsable de production
- un responsable de la qualité
- un responsable des méthodes
- un responsable de l'approvisionnement
- ...

Le but étant de définir d'un commun accord des critères de sélection qui permettront de sélectionner les meules par un jugement pondéré par les préoccupations de chacun.

6. Conclusion

Chaîne de génération du bruit de meulage des tôles légères

- L'excitation provient essentiellement des défauts de forme (voilage, excentration) des meules utilisées.

La faible épaisseur des tôles et la densité modale élevée imposent d'appliquer un traitement sur toute la surface de la pièce soit pour réduire la transmission de l'effort soit pour diminuer le bruit rayonné.

Pistes de solutions

Les pistes de solutions issues de l'émergence de concept sont (avec leurs réductions respectives) :

- | | |
|-----------------------------------|-----------|
| - Meule ronde pour l'ébarbage | 3,7 dB(A) |
| - Meule à volet pour le polissage | 5,6 dB(A) |
| - Socle résilient | 7,3 dB(A) |
| - Pièce doublée | 4,1 dB(A) |
| - Meule à volet + socle | 9,8 dB(A) |
| - Sablage par bande | 12 dB(A) |

Recommandations

Procéder par étapes :

- séparer les opérations de polissage et d'ébarbage pour utiliser des meules appropriées pour chacune d'elle;
- tester les solutions simples (meule à volet, pièce doublée);
- définir des critères de sélection pour les meules bases sur un consensus entre différents intervenants concernés
- faire une recherche approfondie concernant les meules pour l'ébarbage auprès des manufacturiers;
- étudier la possibilité d'implantation des socles.

Transfert des solutions à d'autres types de pièce

Seul le socle est tributaire de la forme de la pièce, les autres solutions qui se concentrent sur l'outil sont transférables à toutes les pièces.

7. Bibliographie

- [1]: C. Collinge e.a., "Analyse des risques et études des besoins relatifs au procédé de meulage dans l'industrie lourde", Rapport synthèse IRSST en préparation.