

PER 1994

C.1/2.020

96/01/01

**INRS**

FASCICULE C : RISQUES LIES A L'ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

CHAPITRE 1 : LE BRUIT

Thème 2 : APPLICATIONS PRATIQUES

ETUDE  
TERMINÉE

EA

GT C

N° compte  
analytique  
932 367**Titre de l'étude**

ETUDE EXPERIMENTALE DE L'EFFICACITE ACOUSTIQUE DE JOINTS PROFILES EN ELASTOMERE

**Origine de l'étude** Origine interne : PRMT Axe 1 § 6.1 La prévention collective / Suite de l'étude C.1/2.013 : Mesure de l'efficacité acoustique de joints profilés en élastomère Origine externe :**Responsables** : THOME J.P. - ROBINET D. -**Participants** :**Correspondants** : M. LOUIT -**Collaborations extérieures** : Sté des Automobiles CITROEN - Usine de Rennes-Barre-Thomas -**Calendrier** : 1994 - 1995**Charge de travail** :

|                          |        |      |
|--------------------------|--------|------|
| <b>Prévision globale</b> | 2000 h | 0 KF |
| <b>Réalisé fin 1995</b>  | 2648 h | 0 KF |
| <b>Prévision 1996</b>    | 300 h  | 0 KF |

**Résumé de l'étude**

Les performances acoustiques des encoffrements, très employés pour réduire le bruit des machines, sont souvent fonctions de la qualité des jonctions entre les différents éléments qui les constituent, ces jonctions étant très souvent assurées par des joints profilés en élastomère. La plupart des méthodologies employées pour tester les aptitudes de ces joints ne permettent qu'une qualification relative de ceux-ci. L'étude effectuée a permis de mettre au point tous les outils (banc de mesure, logiciels de pilotage du banc et de traitement des données) permettant de déterminer expérimentalement des indices de qualité acoustique du canal dans lequel le joint est monté, du joint proprement dit, et de l'ensemble canal-joint. Trois codes d'essais correspondant aux classes de normalisation "contrôle, expertise et laboratoire" ont été définis. Cette méthodologie a été mise en oeuvre dans le cadre d'un plan d'expériences ayant pour objectif de déterminer l'influence des paramètres de forme et de matière de l'ensemble canal-joint sur ses performances acoustiques. Les mesures ont été effectuées d'une part sur un banc de classe laboratoire à l'I.N.R.S., d'autre part sur un banc de classe expertise chez un partenaire industriel. Les principaux résultats montrent qu'aux basses fréquences, ce sont les dimensions du canal qui déterminent les performances acoustiques de l'ensemble, alors que pour les hautes fréquences elles sont déterminées essentiellement par la matière et la compression du joint élastomère. Cette procédure est susceptible d'être étendue à d'autres types de solutions d'étanchéité (passage de câbles, conduit de refroidissement, etc.).

**Valorisations**

potentielles : Normalisation de la méthode par les industriels

programmées : Elaboration d'une note documentaire

réalisées : Communication aux Journées "Elastomères et Automobiles", SIA-AFICEP, Rennes (95/1) - Réalisation, qualification et utilisation d'un banc d'essai de qualification de joints profilés en élastomère par CITROEN (La Barre-Thomas)

## 1 - EXPOSE DES MOTIFS ET OBJECTIFS

Parmi les méthodes utilisées dans l'industrie pour réduire le bruit des machines, les encoffrements et les capotages sont largement utilisés, car ils présentent l'intérêt d'assurer une protection collective du personnel exposé à des niveaux sonores importants dus à une machine ou à une installation donnée, sans avoir à intervenir sur le procédé proprement dit.

Cette approche nécessite cependant de porter une grande attention à l'étanchéité acoustique des différents éléments qui constituent l'encoffrement, en particulier à la jonction entre ouvrants et dormants. Cette fonction est souvent assurée par des joints profilés en élastomère sélectionnés, la plupart du temps, sur la base de spécifications techniques, parmi lesquelles les qualités acoustiques sont rarement mentionnées.

Pour des raisons historiques, la plupart des méthodes de qualification acoustique des joints profilés ont été mises en oeuvre dans le secteur automobile. Elles utilisent généralement la méthode de *perte par insertion* à partir de mesures effectuées en "petite cabine". Celle-ci est constituée d'un caisson bas et d'un caisson haut séparés par une paroi contenant un canal dans lequel est monté l'échantillon de joint analysé.

La perte par insertion apportée par le joint est alors égale à la différence entre la pression acoustique rayonnée par le canal seul et celle rayonnée par le canal contenant le joint.

Bien que le principe utilisé soit satisfaisant, les nombreuses mesures effectuées par les constructeurs automobiles ne conduisent pas à des résultats quantitatifs fiables; la "petite cabine" ne permet pas de définir de façon intrinsèque l'efficacité acoustique d'un joint. Elle n'autorise qu'une **qualification relative** de son efficacité acoustique par comparaison de son indice d'affaiblissement acoustique avec celui d'un autre type de joint.

Pour ces raisons, l'I.N.R.S. a développé une nouvelle procédure de qualification, plus précise, décrivant de façon complète l'étanchéité acoustique apportée par le joint et son canal d'accueil. La procédure développée a été utilisée pour identifier et hiérarchiser les paramètres qui influent sur l'efficacité acoustique de l'ensemble canal et joint.

## 2 - MATERIEL ET METHODE

### 2.1. Introduction

L'étude du rayonnement acoustique transmis par un canal acoustique [1], a montré que l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi qui le contient ne variait pas linéairement avec la fréquence. En effet, l'épaisseur de la paroi, et la géométrie du canal créent des résonances qui diminuent l'efficacité acoustique globale de la paroi et modifient la loi de masse (voir par exemple la figure 1). De plus, le rayonnement acoustique transmis par le canal présente une forte hétérogénéité spatiale, en hautes fréquences, caractéristique de la directivité de l'ouverture.

Ces éléments expliquent en partie les difficultés des méthodes "petite cabine" et confortent l'idée d'une nouvelle procédure de qualification permettant de caractériser les performances d'une solution d'étanchéité acoustique qui tienne compte des paramètres spécifiques du joint, d'une part, et des caractéristiques géométriques du canal, d'autre part.

Afin de disposer d'un champ d'application le plus large possible, la procédure a été développée sous la forme de trois codes d'essais, correspondant aux trois classes de normalisation habituelles ("Contrôle", "Expertise" et "Laboratoire"), associés à trois dispositifs expérimentaux (matériel et logiciels) développés également dans le cadre de cette étude.

L'application de la procédure en classe "Laboratoire" a été effectuée au Laboratoire d'Acoustique Industrielle de l'I.N.R.S.

L'application du code d'essai de classe "Expertise" et le banc d'expérimentation associé, plutôt destinés à une utilisation industrielle ont fait l'objet d'une collaboration entre l'I.N.R.S et CITROEN Rennes-Barre-Thomas (R.B.T.), établissement spécialisé dans la conception et la fabrication de structures caoutchouc pour le groupe P.S.A.

Enfin, une analyse paramétrique expérimentale des différents facteurs d'influence agissant sur l'efficacité acoustique du couple (canal, joint) a été effectuée, à partir des mesures obtenues sur les deux bancs d'essais expérimentaux. Différents plans d'expérience, liés aux caractéristiques du joint et du canal d'accueil, ont ainsi été développés.

## 2.2. Définition de la procédure de qualification

### 2.2.1. Indices de qualification

La procédure de qualification proposée permet de caractériser l'étanchéité acoustique globale apportée par le joint et son canal d'accueil, à partir de trois indices exprimés en pour-cent, calculés à partir de mesures obtenues pour les quatre configurations représentées sur la figure 2. Il s'agit de l'indice de qualification acoustique du canal  $I_c$ , de l'indice de qualification acoustique du joint  $I_j$  et d'un indice de qualification acoustique global  $I_g$  qui s'exprime simplement à partir des deux autres.

Dans un intervalle de fréquence  $[f_a, f_b]$ , ces indices ont respectivement pour expression :

$$I_c = \frac{100}{f_b - f_a} \int_{f_a}^{f_b} \left(1 - \frac{R_{pc}(f)}{R_{po}(f)}\right) df$$

$$I_j = \frac{100}{f_b - f_a} \int_{f_a}^{f_b} \frac{R_{jc}(f)}{R_{pc}(f)} \cdot df$$

$$I_g = \frac{100}{f_b - f_a} \int_{f_a}^{f_b} \left(1 - \frac{R_{pc}(f) - R_{jc}(f)}{R_{po}(f)}\right) \cdot df$$

La relation liant ces indices est la suivante :

$$I_g = I_c + I_j - (I_c \cdot I_j)$$

Les indices d'affaiblissement ( $R_{po}$ ,  $R_{pc}$  et  $R_{jc}$ ) qui interviennent dans ces relations sont obtenues à partir des puissances acoustiques mesurées  $L_{wo}$ ,  $L_{wp}$ ,  $L_{wc}$  et  $L_{wj}$  dans les 4 configurations illustrées sur la figure 2 et sont exprimés en dB. Les puissances acoustiques sont obtenues à partir de mesures de pression acoustique  $L_{pi}$  en N points d'un maillage entourant la paroi supérieure du banc.  $f$  est la fréquence de l'onde acoustique incidente générée par l'antenne de haut-parleurs.

En ce qui concerne l'interprétation de ces indices, l'indice de canal est nul lorsque celui-ci est complètement transparent, et égal à 1 lorsque son affaiblissement est égal à celui de la paroi supérieure. En ce qui concerne l'indice de joint, il est nul lorsque qu'il n'apporte rien par rapport au canal sans joint et égal à 1 lorsqu'il compense complètement la présence de la fente.

La procédure de qualification ainsi proposée permet de caractériser le joint relativement à son canal, mais permet également de qualifier la solution d'étanchéité globale représentée par le couple (canal, joint).

Si  $[R_{pc}(f) - R_{jc}(f)]$  tend vers  $R_{po}(f)$ , l'indice global  $I_g$  tend vers 0, indiquant que la solution d'étanchéité mesurée est inefficace puisqu'elle s'approche de la configuration paroi ouverte.

Par contre, si  $[R_{pc}(f) - R_{jc}(f)]$  tend vers 0,  $I_g$  tend vers 1. Le couple (canal, joint) est particulièrement efficace puisque son indice d'affaiblissement acoustique s'approche de celui de la paroi fermée.

### 2.2.2. Indices de Directivité

La distribution spatiale du rayonnement acoustique transmis par le joint dans son canal n'est pas homogène. Pour caractériser cette propriété, on peut définir un indice  $d_n$ , à partir des mesures du niveau de pression acoustique  $L_p$  en  $p$  points de la surface de mesure  $S$  entourant la fente. Si l'on divise cette surface  $S$  en  $N$  zones spatiales  $\Delta_n$ , l'indice  $d_n$  est donné par l'expression :

$$d_n = N \cdot \frac{\sum_{i=1}^{p/N} 10^{(L_{p_i,n}/10)}}{\sum_{i=1}^p 10^{(L_{p_i}/10)}}$$

où  $n$  = indice de zone (= 1, 2, 3, ..., N)

$L_{p_i}$  = niveau de pression acoustique mesuré dans la zone  $\Delta_n$ .

L'indice de directivité  $D_n$  du rayonnement acoustique transmis dans la zone  $\Delta_n$  est alors un nombre compris entre 0 et 1, donné par l'expression :

$$D_n = \frac{d_n}{\max(d_n)}$$

### 2.3. Proposition de trois codes d'essais

Pour la classe "Contrôle", dont l'objectif est de vérifier une qualité de fabrication à partir d'un échantillon, seul l'indice global  $I_g$  est évalué, dans trois zones de fréquences (Basses, Moyennes et Hautes Fréquences).

Pour la classe "Expertise", les trois indices  $I_c$ ,  $I_j$  et  $I_g$  sont calculés dans des intervalles  $[f_a, f_b]$  correspondant au moins aux octaves contenues dans la bande de fréquence d'analyse.

Pour la classe "Laboratoire", les trois indices  $I_c$ ,  $I_j$  et  $I_g$  sont calculés au moins dans toutes les bandes de 1/3 d'octaves contenus dans la bande de fréquence d'analyse. Ils pourront cependant être calculés à partir d'une analyse en bandes fréquentielles fines, en particulier si les

résonances du canal sont nombreuses et peu amorties, ou bien si l'on observe un comportement singulier à des fréquences différentes des fréquences propres du canal.

Enfin, pour chacune des classes de normalisation définies ci-dessus, l'expression de  $D_n$  est identique. Seul, le nombre  $N$  de zones  $\Delta_n$  varie en fonction de la classe choisie ( $N = 25$  en classe "Expertise" et  $N = 4$  en classe "Contrôle").

#### 2.4. Validations expérimentales de la procédure

##### 2.4.1. Classe "Laboratoire."

Un banc d'expérimentation spécifique, entièrement automatisé, a été développé dans l'étude C.1/2.13, sur le même principe que celui de la "petite cabine", mais à partir d'un cahier des charges satisfaisant les exigences de la classe "Laboratoire" (figure 3). Il est constitué d'un caisson fortement isolant contenant un réseau plan de 64 haut-parleurs générant une onde plane de forte amplitude, se propageant perpendiculairement à la paroi contenant le canal. L'ensemble est installé dans une salle traitée acoustiquement.

La platine spécifique supportant le joint, située au centre de la paroi d'essai, est constituée de deux mâchoires munies chacune de deux degrés de liberté, permettant de contrôler l'écrasement du joint, le parallélisme et le décalage angulaire des deux faces d'appui, ainsi que le délignage du plan de joint.

Le système de mesure automatique est constitué d'une ossature métallique surmontant la paroi supérieure du caisson, sur laquelle se déplace une travée semi-circulaire dont le centre est situé sur l'axe du joint. Sur cette travée se déplace un chariot automoteur supportant la tige sur laquelle est fixé le microphone de mesure.

L'ensemble du banc d'expérimentation est contrôlé par un micro-ordinateur de type P.C. La saisie des différents paramètres associés au joint et à son canal d'accueil, le positionnement du point de mesure et le calcul des niveaux de pression sonore à partir d'une acquisition numérique du signal délivré par le microphone sont gérés par un logiciel spécifique.

Le calcul des indices  $I_c$ ,  $I_j$ ,  $I_g$  et  $D_n$  est effectué à partir des puissances acoustiques  $L_w$  calculées, pour chaque tiers d'octave compris dans la bande d'analyse et pour chacune des configurations de la figure 2, en fonction de la fréquence (cf. figure 4).

La directivité du rayonnement acoustique transmis par le couple (canal, joint) est représentée sous forme d'une cartographie du rayonnement transmis, sur le demi-cylindre d'exploration (cf. figure 5).

##### 2.4.2. Classe "Expertise."

Le banc de mesures de classe "Expertise" est représenté sur la figure 6. Il a été conçu par CITROEN Rennes-Barre-Thomas avec l'aide de l'INRS.

En classe "Expertise", le logiciel qui gère les mesures calcule les indices de qualification  $I_c$ ,  $I_j$  et  $I_g$ , pour chaque bande d'octave comprise dans la bande de fréquences d'analyse, selon la procédure décrite au paragraphe 2.2. La représentation des valeurs de  $I_c$ ,  $I_j$  et  $I_g$  est faite sous la forme d'histogrammes en octave (cf. figure 7(a)) et la directivité  $D_n$  du rayonnement acoustique transmis par le couple (canal, joint) analysé est représentée par une carte constituée de 25 pavés (cf. figure 7(b)).

### 2.4.3. Classe "Contrôle"

Le dispositif expérimental utilisé en classe "Contrôle", et destiné à vérifier sur site la qualité acoustique d'un échantillon extrait d'une production donnée, a été proposé par P.S.A. et est présenté figure 8.

Les niveaux de pression acoustique sont mesurés en quatre points situés sur les deux axes du joint, grâce à une rotation d'un quart de tour du bras horizontal supportant les deux microphones.

Dans cette classe, seul l'indice de qualification global du couple (canal, joint),  $I_g$ , est déterminé dans trois bandes de fréquences dont les bornes ont été préalablement sélectionnées par l'utilisateur.

La directivité  $D_n$  du rayonnement acoustique transmis est déterminée en rapportant la pression mesurée en chaque position à la valeur moyenne établie à partir des quatre mesures.

## 3 - RESULTATS PRINCIPAUX

### 3.1. Définition d'une campagne de mesure

#### 3.1.1. Sélection des joints analysés

Une première étape a consisté à établir une liste complète et la plus exhaustive possible de tous les paramètres susceptibles de décrire un joint profilé. Une analyse complémentaire du comportement "acoustique" du joint a été effectuée en raisonnant en terme de "transmission acoustique" (notion d'interface, d'impédance, d'absorption, etc.) plutôt qu'en terme de "description géométrique" (forme, matière, dimensions, etc.).

L'analyse des différents diagrammes en arbre, établis au cours de l'étude C.1/2.13, montre que tous les paramètres recensés peuvent être regroupés dans trois classes : les paramètres liés à la **matière**, ceux liés à la **forme** et enfin ceux liés au **montage** du joint dans son canal. Dans cette étude, seuls les paramètres de matière et de forme ont été pris en compte.

#### 3.1.2. Plan d'expériences préliminaire

L'objectif étant d'observer l'influence des paramètres liés au joint et à son canal d'accueil sur le comportement acoustique du couple (canal, joint), un premier plan d'expérience a donc été effectué pour définir les variables qui représentent le plus directement le comportement de la "forme" du tubing. L'analyse de son comportement acoustique permet d'identifier trois variables directement liées à la forme : la longueur de la ligne de contact, la force de réaction et la section intérieure du tubing.

Un plan d'expériences a été construit, et après avoir sélectionné des profilés de forme géométrique simple (ronde, carré et triangulaire), et deux épaisseurs de parois, un logiciel de calcul par éléments finis a été utilisé pour déterminer et visualiser les déformées sous contrainte, de la section du tubing, pour deux configurations d'écrasement (30 % et 50 %).

Un premier résultat, issu du calcul par éléments finis, de la déformée de la section du tubing pour les deux valeurs d'écrasement, montre que plus l'écrasement devient important, plus les différences entre les formes géométriques s'amenuisent. On peut en déduire, a priori, que, **sous charge élevée**, la forme générique du joint n'a que peu d'influence sur l'indice d'affaiblissement acoustique. Ce paramètre a donc été abandonné et la suite des travaux a porté uniquement sur des joints de section circulaire.

### 3.1.3. Définition d'une famille d'échantillons

Une famille d'échantillons homogènes, constituées de simples tubings de formes cylindriques en élastomère de plusieurs densités, et de plusieurs épaisseurs, sans parties fixatives a été réalisée. A partir de cette famille d'échantillons, deux séries d'expérimentations, ont été réalisées l'une sur le banc de l'I.N.R.S., l'autre sur le banc CITROEN R.B.T. A l'issue de ces campagnes de mesures, deux analyses de données ont été effectuées afin de déterminer les corrélations les plus fortes entre les paramètres d'entrée les plus représentatifs du plan matière (densité, diamètre, épaisseur) et les paramètres de sortie.

## 3.2. Analyse de données

### 3.2.1. Méthodologie

Les données issues des plans d'expérience ont été traitées en utilisant l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

L'analyse en composantes principales travaille sur un tableau comportant I lignes (les individus) et J colonnes (les paramètres). Les grandeurs sont d'abord rendues adimensionnelles, puis traitées pour déterminer les axes principaux d'inertie du nuage de points représentatif des mesures. L'étape suivante consiste à identifier les axes principaux d'inertie qui sont les plus représentatifs du nuage et à projeter les paramètres sur cet axe pour définir les paramètres importants de celui-ci. Une fois les paramètres importants trouvés pour chacun des axes principaux d'inertie choisis, on opère de la même façon avec les individus. L'interprétation des sorties graphiques relatives à ces axes principaux permet ensuite de préciser l'influence des principaux paramètres.

### 3.2.2. Analyse des résultats obtenus sur le banc de l'I.N.R.S. (classe laboratoire)

Chaque joint étudié (individu) est identifié par un préfixe E suivi de 3 caractères qui définissent respectivement son diamètre, sa matière et son épaisseur. Le codage utilisé est présenté dans le tableau ci-dessous.

| Notation | Désignation                                 |
|----------|---|
| EXYZ     | un essai                                    |
| X        | diamètre<br>1 12 mm<br>2 20 mm<br>3 24 mm   |
| Y        | matière<br>1 EP 130<br>2 EP 140<br>3 EP 605 |
| Z        | épaisseur<br>1 2,5 mm<br>2 4 mm<br>3 plein  |

Exemple : E111 diamètre 12 mm, EP 130, épaisseur 2,5 mm.

Pour chaque configuration testée, les résultats s'expriment, dans chaque bande de fréquence étudiée, sous forme de 31 paramètres qui correspondent respectivement :

- aux indices de qualification acoustique du canal, du joint et global,
- aux écart-types correspondants,
- aux 25 indices de directivité.

Les essais ont été effectués dans les 5 octaves dont les fréquences centrales sont 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz. Les notations utilisées pour décrire ces paramètres sont précisées dans le tableau ci-dessous.

| Notation  | Désignation             |
|-----------|-------------------------|
| E         | écart type              |
| I         | indice de qualification |
| C         | canal                   |
| J         | joint                   |
| G         | général                 |
| 1 2 3 4 5 | octave                  |

Exemples : IC1 : Indice de qualification du canal à l'octave 1.  
EG5 : Ecart type général à l'octave 5.

Une première analyse a été réalisée en utilisant pour paramètres tous les indices de qualification, tous les écarts types ainsi que les huit paramètres suivants : compression du joint, surface externe du joint, surface interne du joint, diamètre, épaisseur, densité, matière, compact ou cellulaire.

Cette analyse a fait ressortir une tendance évidente à savoir une très forte corrélation entre le diamètre du joint et les indices de qualification du canal. C'est la raison pour laquelle d'autres analyses ont été effectuées en plaçant alternativement comme paramètres actifs les indices de qualification acoustique IC (canal), IJ (joint), IG (global), l'écart type global EG couplés aux huit paramètres de base définis précédemment. Cette méthode d'éliminer l'indice de canal IC dont l'amplitude est si importante qu'elle masque l'influence des autres paramètres.

Les principaux résultats de ces cinq analyses sont présentés dans le tableau de la figure 9, en utilisant une symbolique qui précise les sens de variation relative des grandeurs placées en ligne et en colonne. A titre d'exemple, le signe +/- placé à l'intersection de la ligne IC3 et de la colonne DIAM signifie que l'indice de canal dans la 3ème octave augmente quand le diamètre diminue. Ce tableau résumé fait apparaître trois groupes de données :

- DIAM/(IC12345,IG123) avec une symbolique +/- ,
- IJ123/(SUR1,COMP,EP) avec une symbolique +/-,
- IJ4,IG4/(COMP,DENS) avec une symbolique +/+,
- EG4/(COMP,DENS) avec une symbolique +/-.

Les résultats s'interprètent de la façon suivante :

- les indices des canaux augmentent quand le diamètre diminue et ce dans les 5 octaves étudiées (on retrouve d'ailleurs cette tendance aux trois premières octaves sur les indices globaux),
- dans les trois premières octaves, les indices des joints augmentent quand la surface, la compression ou l'épaisseur diminuent,
- dans l'octave 4, les indices de joints et globaux augmentent quand la compression et la densité augmentent ; l'écart type global évolue dans le sens inverse.

En résumé, il apparaît, qu'en basses fréquences, l'indice de qualité acoustique global de l'ensemble est lié essentiellement au diamètre du canal et que le joint intervient peu. Par contre, en hautes fréquences, l'indice de l'ensemble est essentiellement fonction de l'indice de qualité du joint qui dépend de sa matière et de sa compression.

### 3.2.3. Analyse des résultats obtenus sur le banc CITROEN R.B.T. (classe expertise)

Parallèlement, une autre analyse de données a été effectuée sur des résultats obtenus avec une méthodologie de type "expertise" sur le banc correspondant [9]. Les principaux résultats montrent que l'on retrouve globalement les mêmes tendances que celles obtenues avec les données de l'I.N.R.S.

#### 4 - DISCUSSION ET CONCLUSIONS

La nouvelle méthode de qualification proposée dans ce document permet de caractériser, de façon simple, l'efficacité acoustique d'un joint profilé monté dans sa structure d'accueil en fournissant trois indices de qualification, exprimés en pourcentage, permettant de positionner l'efficacité du canal, du joint et du couple (canal, joint), dans un espace borné par deux états de référence.

La méthodologie a été mise en oeuvre dans le cadre d'un plan d'expériences ayant pour objectif de déterminer l'influence des paramètres de forme et de matière sur l'efficacité acoustique des joints. Les résultats ont été traités par une méthode d'analyse en composantes principales. Les principaux résultats montrent que :

- compte tenu des écrasements relativement importants, la forme initiale du joint influe relativement peu sur sa forme finale ce qui fait jouer à ce paramètre un rôle secondaire,
- en basses fréquences, les caractéristiques acoustiques de l'ensemble sont essentiellement dues à celles du canal et que celles-ci sont surtout fonctions de sa largeur,
- en hautes fréquences, les caractéristiques de l'ensemble sont essentiellement liées aux performances acoustiques du joint qui dépendent de sa matière et de la compression.

Trois codes d'essais correspondant aux classes de normalisation, "*Contrôle*", "*Expertise*" et "*Laboratoire*" ont été définis.

La méthode de classe "*Expertise*" et plus encore, la méthode de classe "*Laboratoire*" devraient permettre au bureau d'étude de raisonner en terme de conception d'une "solution d'étanchéité", intégrant à la fois, le joint et son support. Elles constituent un outil expérimental de validation d'une démarche globale d'optimisation des performances du couple (canal, joint), initiée au stade du bureau d'études par une phase de modélisation du comportement acoustique du canal et de celui du joint. Une telle démarche est actuellement mise en place dans quelques entreprises spécialisées dans la fabrication de joints profilés.

Enfin, la procédure de qualification exposée, appliquée à la caractérisation acoustique d'un couple (canal, joint), peut être étendue à la détermination des performances acoustiques d'une solution d'étanchéité générale, de forme, de nature et de dimensions quelconques (passage de câbles ou de conduites sur un encoffrement, joint de colonne de direction sur un véhicule, etc.) en permettant à la fois une caractérisation du joint, pris au sens le plus large du terme, et de son support.

#### 5 - VALORISATION

Les résultats obtenus au cours de cette étude sont de trois types :

1°) Une procédure de qualification de l'étanchéité acoustique, associée à trois codes d'essais normalisables.

2°) Un ensemble de logiciels spécifiques, ergonomiques et conviviaux, permettant de déterminer les indices de qualification.

3°) Une liste de corrélations existant entre les paramètres caractéristiques du joint et son efficacité acoustique, permettant de définir un choix de joint optimal, en fonction des caractéristiques géométriques du canal et du spectre acoustique de l'onde incidente.

6 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J.Ph. THOME  
"Contribution à l'étude de la transmission acoustique à travers une fente de longueur finie". Application à l'étude des fuites acoustiques sur les encoffrements de machines industrielles.  
Thèse de Doctorat de l'Université de Technologie de Compiègne  
Notes Scientifiques et Techniques de l'I.N.R.S., N.S.T. n° 86, Juin 1991.
- [2] M.C. GOMPERTS  
"The Sound Transmission Loss of Circular and Slit-shaped Apertures".  
Acustica, Vol. 18 (1967), pp 144-150N.
- [3] G.P. WILSON & W.W. SOROKA  
"Approximation to the Diffraction of Sound by a Circular Aperture in a Rigid Wall of Finite Thickness".  
J. Ac. Soc. Am. (J.A.S.A.) Vol. 37, No 2 (1965), pp 286-297.
- [4] S. METROPOLYT  
"Qualification acoustique des joints en élastomère". Logiciel ACJOIN-P(ilote) : Pilotage du banc de mesures de classe "LABORATOIRE" et acquisition des données.  
Document de Travail, n° MAV-DT 277/JTm, Juin 1995.
- [5] A. POIROT & J.L. BAYE  
"Qualification acoustique des joints en élastomère. Logiciel ACOUSTIC : Exploitation des mesures acoustiques en classe "LABORATOIRE" et acquisition des données".  
Document de Travail, n° MAV-DT 231, Décembre 1993.
- [6] J. SUEUR  
"Qualification acoustique des joints en élastomère. Logiciel ACJOIN-C(alcu) : Exploitation des mesures acoustique en classe "CONTROLE" et en classe "EXPERTISE". (Manuel d'utilisation)".  
Document de Travail, n° MAV-DT 283/JSu, Septembre 1995.
- [7] J. SUEUR  
"Qualification acoustique des joints en élastomère". Logiciel ACJOIN-C(alcu) : Exploitation des mesures acoustique en classe "CONTROLE" et en classe "EXPERTISE". (Manuel de Programmation)  
Document de Travail, n° MAV-DT 284/JSu, Septembre 1995.
- [8] P. Le GAL  
"Mise en place d'une norme de mesure de transparence acoustique des joints profilés en élastomère de portes de véhicules."  
Rapport de Projet de Fin d'Etudes d'Ingénieur U.T.C. CITROEN Rennes La Barre-Thomas, Février 1993.
- [9] H. MAUGENDRE  
"Analyse de données sur résultats INRS Expertise".  
Document de Travail PSA/MGC/ELM/RDC du 28 Septembre 1995.  
Note Technique, n° MAV-NT-305, Janvier 1996.

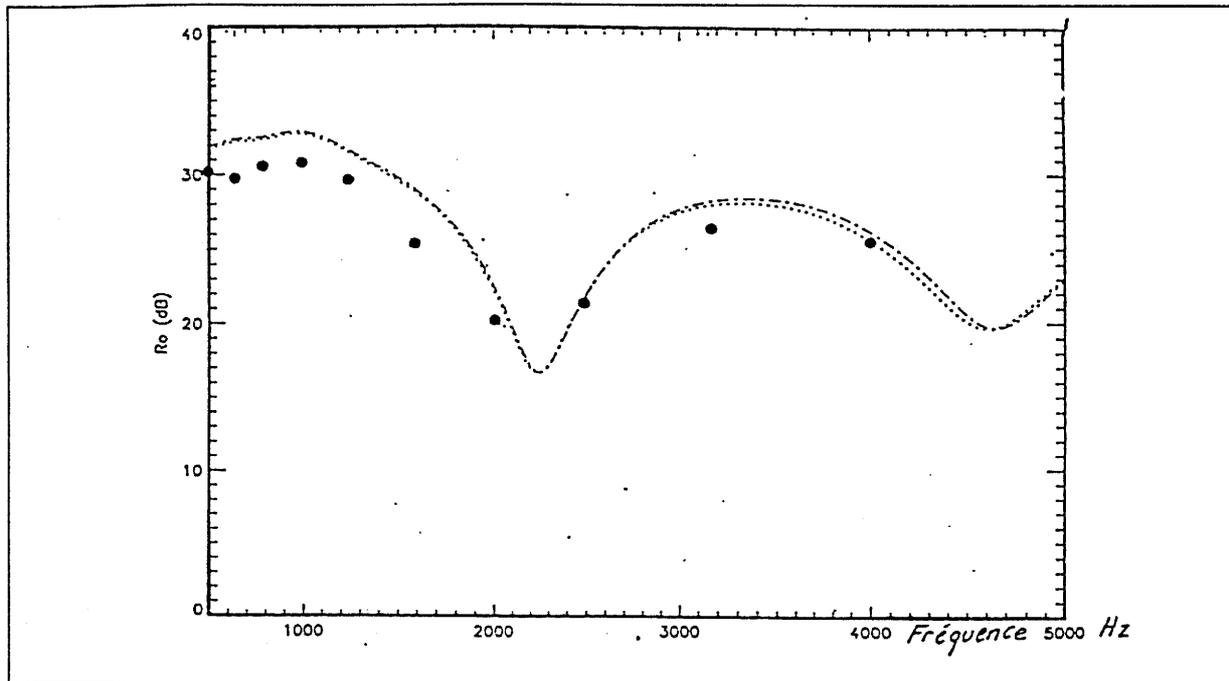


Figure 1 - Variation de l'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi contenant un canal rectangulaire de longueur  $b = 100$  cm et de largeur  $a = 0,5$  cm (épaisseur de la paroi = 6,5 cm). Modèles de GOMPERTS (.....) et WILSON-SOROKA (-----) • Mesure.

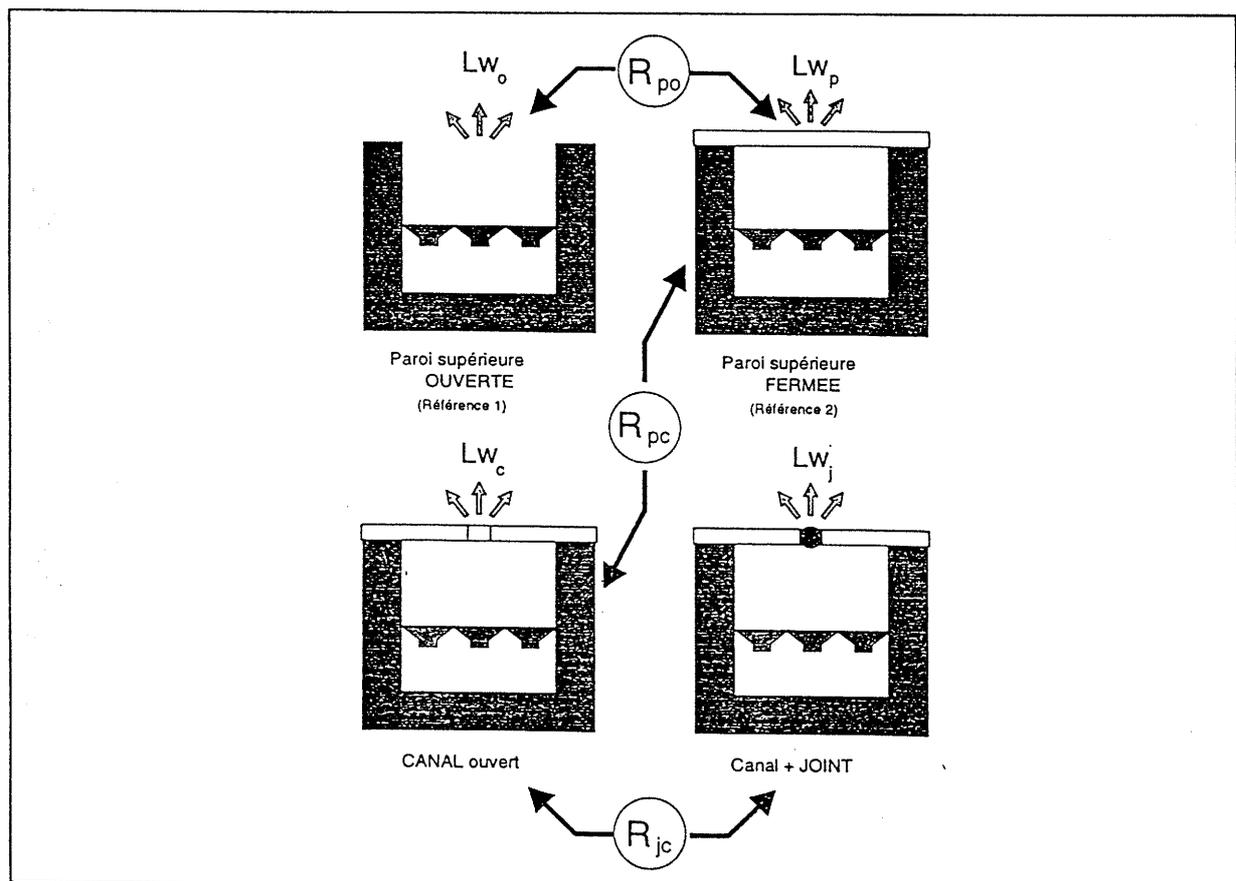


Figure 2 - Illustration de la nouvelle procédure de qualification acoustique des joints profilés pour la détermination des indices  $I_c$ ,  $I_j$  et  $I_g$ .

*Tubing cylindrique - Cellul. ( 512 kg/m<sup>3</sup> )  
D = 24 mm - Ep. = 4,0 mm - Ecras. = 20 %*

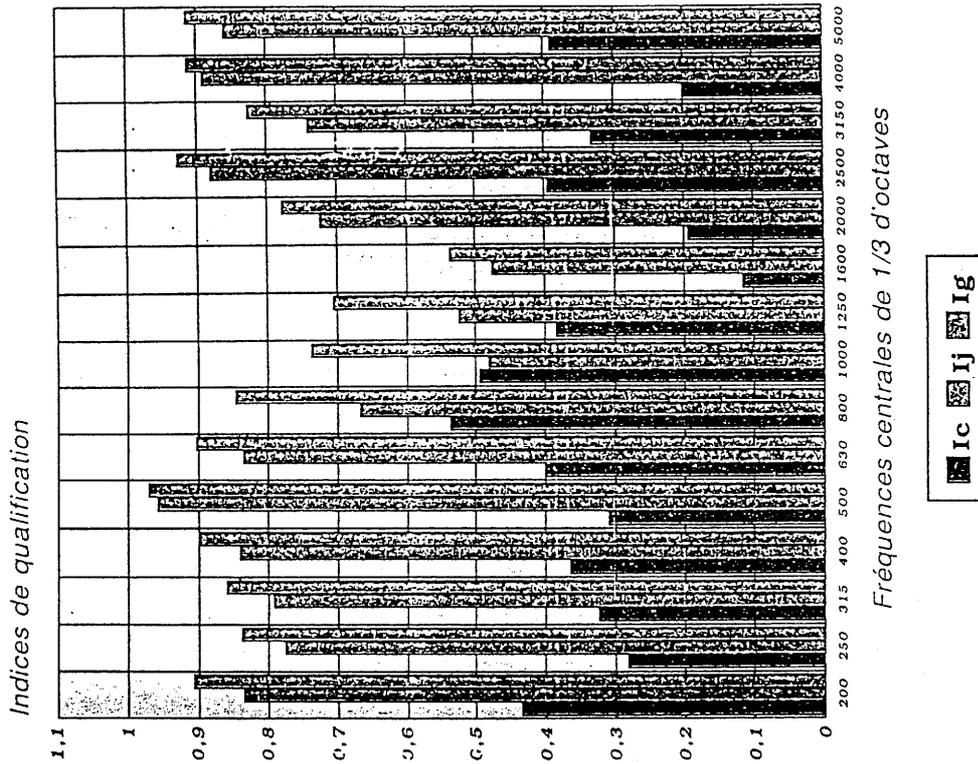


Figure 4 - Histogramme des indices de qualification Ic, Ij et Ig en classe "Laboratoire".

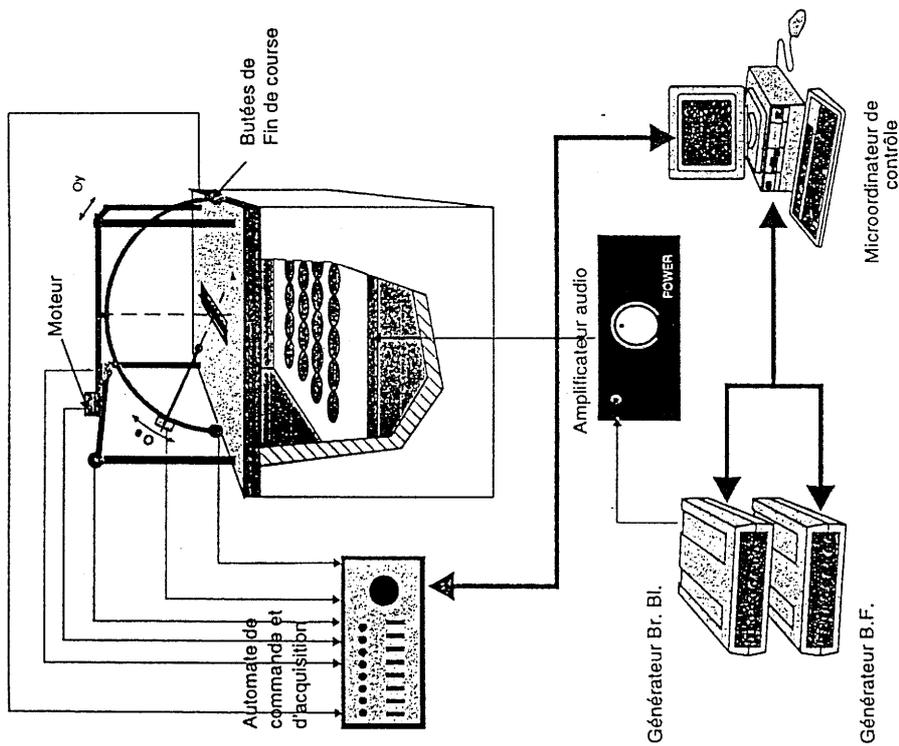


Figure 3 - Schéma de la chaîne de mesure, du circuit de génération de l'onde incidente et du système contrôle des déplacements et acquisitions.

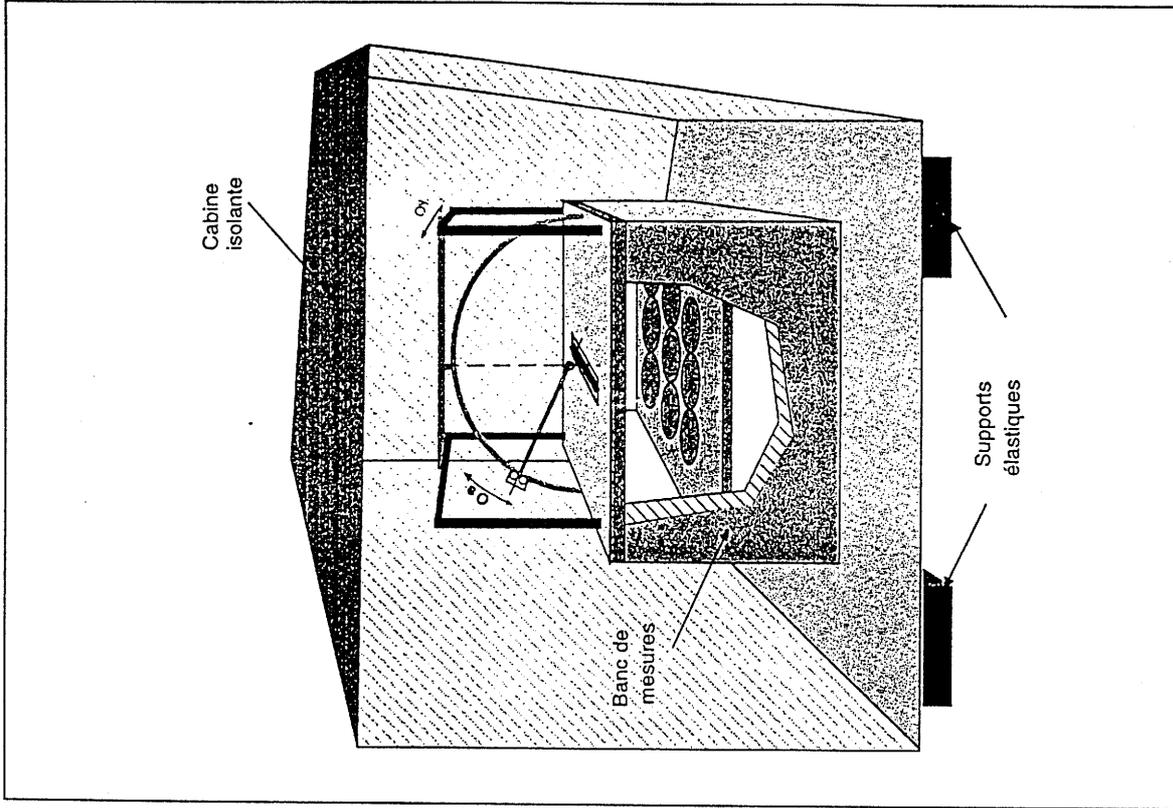


Figure 6 - Dispositif expérimental de classe "Expertise" pour la qualification acoustique des joints.

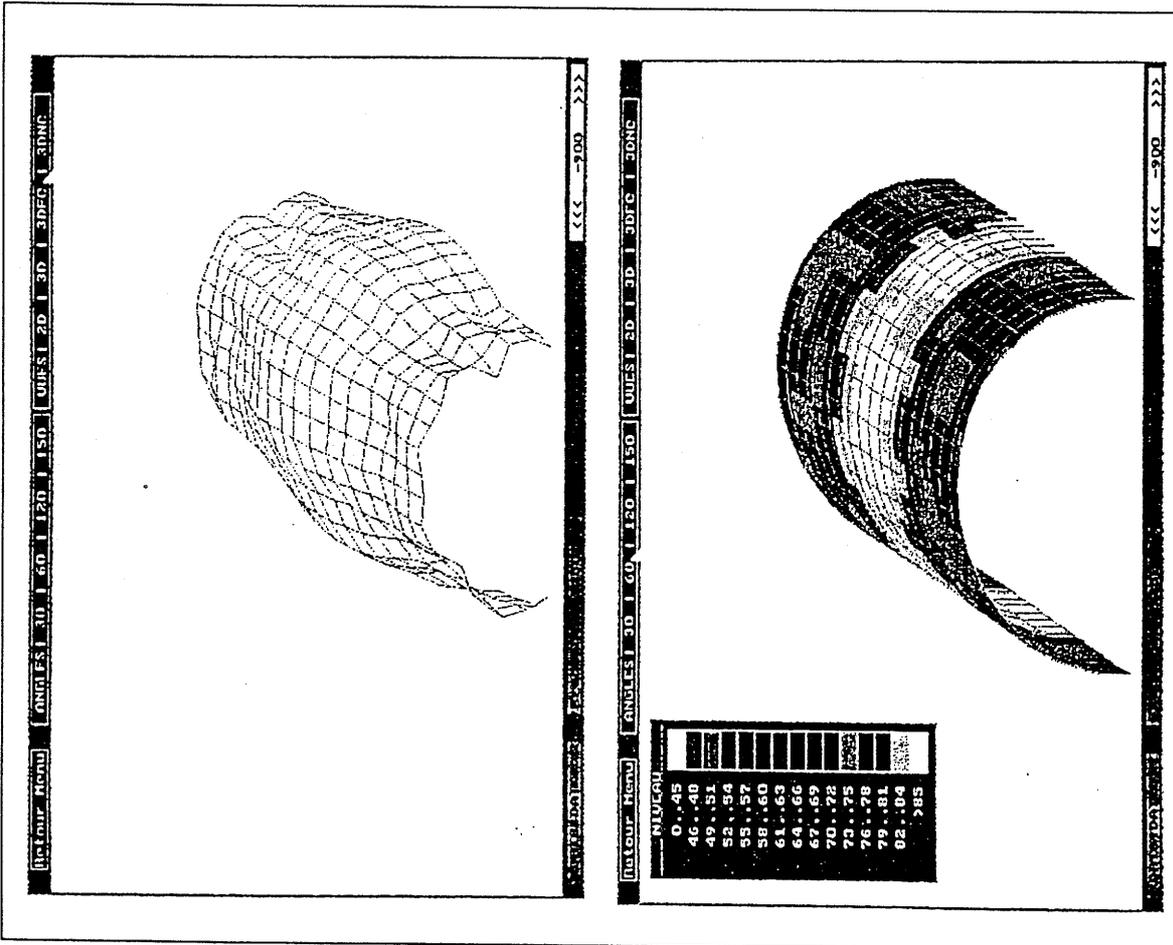


Figure 5 - Directivité du rayonnement en classe "Laboratoire".

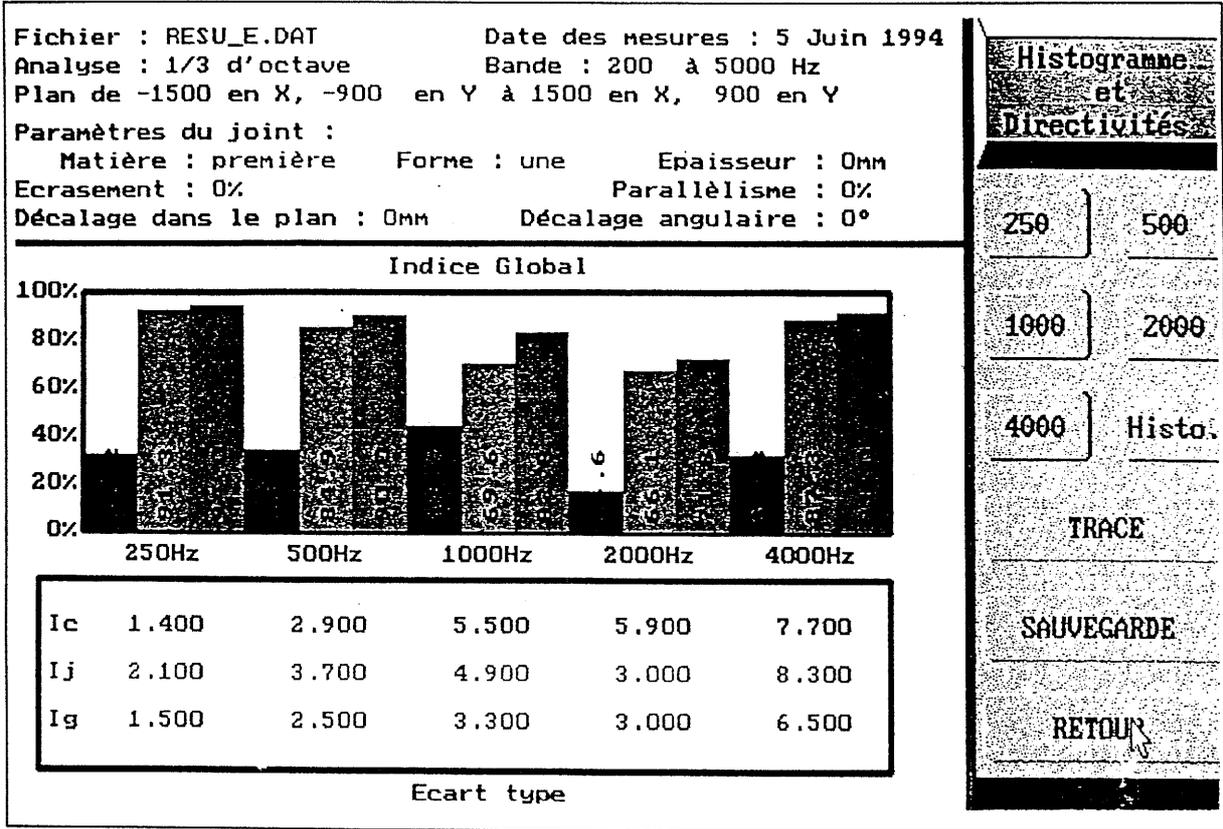


Figure 7(a) - Histogramme des indices de qualification Ic, Ij, Ig en classe "Expertise".

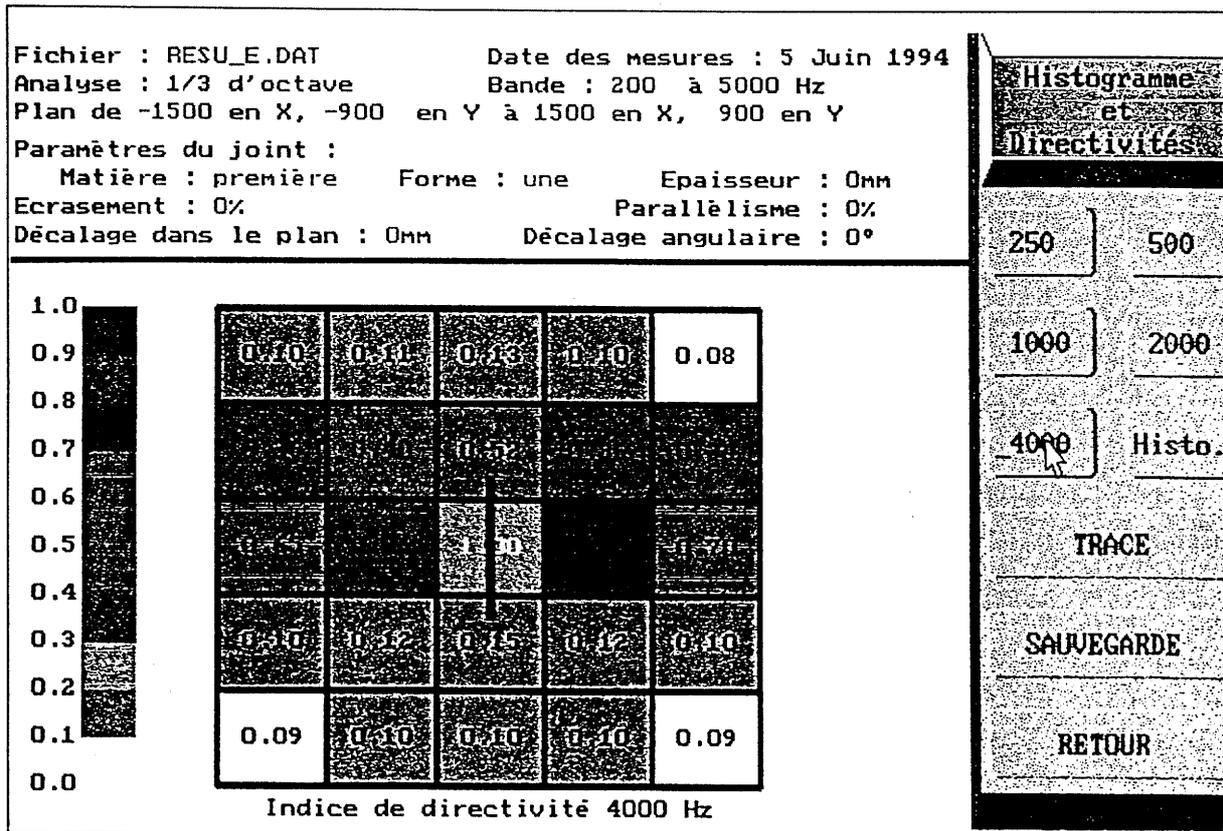


Figure 7(b) - Cartographie de la directivité en classe "Expertise".

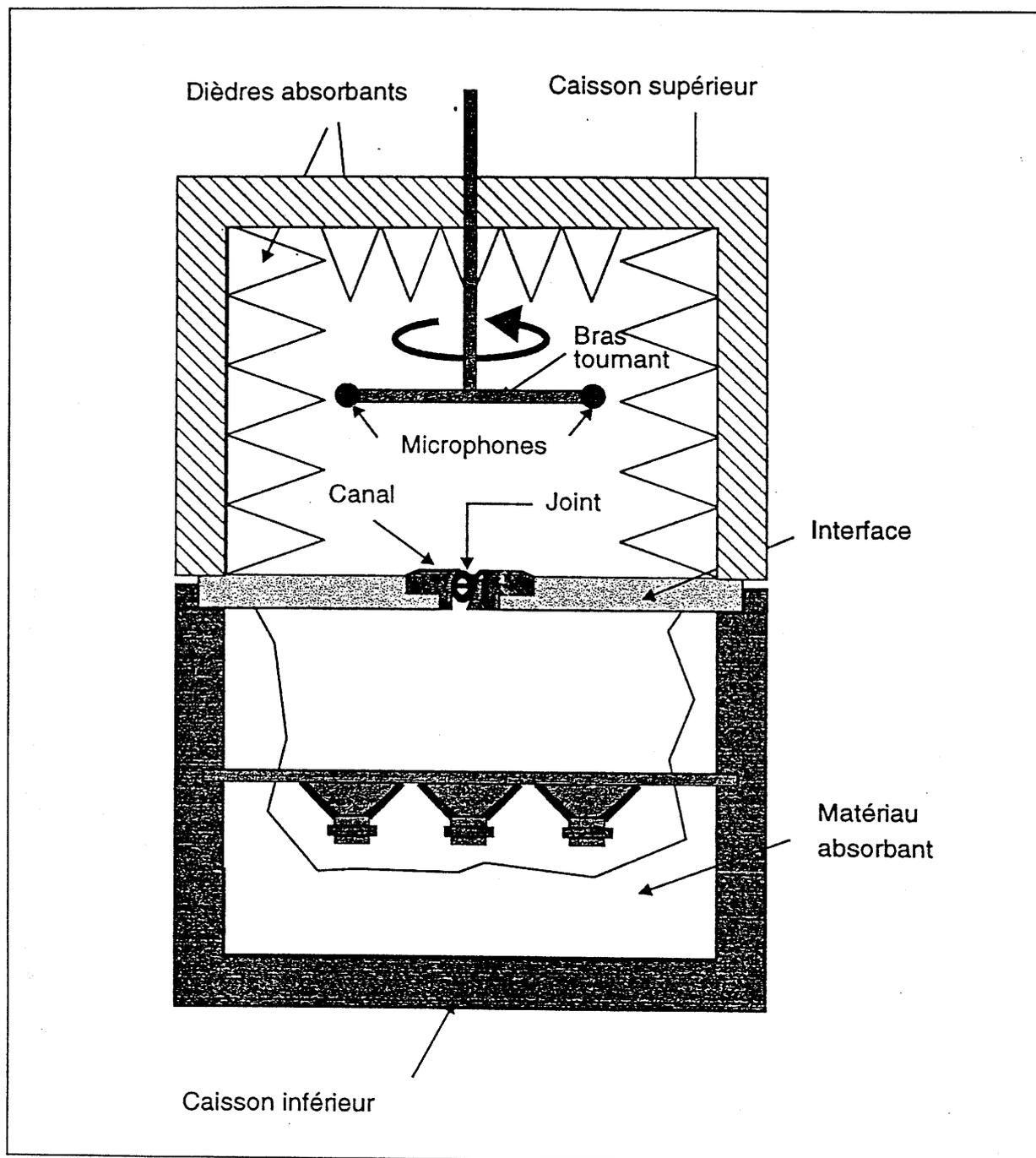


Figure 8 - Dispositif expérimental de classe "Contrôle" pour la qualification acoustique des joints.

|     | DIAM  | SUR1  | COMP  | SUR2  | DENS  | MAT | EP | COCE   |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-----|----|--------|
| IC1 | + \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IC2 | + \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IC3 | + \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IC4 | + \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IC5 | + \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IJ1 |       |       |       |       |       |     |    |        |
| IJ2 | - \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IJ3 |       |       |       |       |       |     |    |        |
| IJ4 |       |       |       |       |       |     |    |        |
| IJ5 | - \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IG1 | + \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IG2 | + \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IG3 | + \ - |       |       |       |       |     |    |        |
| IG4 |       |       |       | - \ + |       |     |    |        |
| IG5 |       | + \ + |       |       |       |     |    |        |
| EG1 |       |       |       |       |       |     |    |        |
| EG2 | - \ + |       |       |       |       |     |    |        |
| EG3 |       | - \ + | - \ + |       | - \ + |     |    | + \ CE |
| EG4 |       |       |       |       |       |     |    |        |
| EG5 |       |       |       |       |       |     |    |        |

Figure 9 - Résumé des résultats de l'analyse de données effectuée à partir des mesures INRS sur banc "Laboratoire".