Cadilhac Romain ENS Louis Lumière

Promotion SON 2007

Vent et Prise de son

Mémoire de fin d'études

Directeur de mémoire interne : Francis Wargnier

Philippe Chenevez : Directeur de mémoire externe

« *Le vent joue avec les sons, les déforme, les éparpille…* », Joris Ivens.

Résumé

Nous apportons dans ce mémoire des informations relatives à la question du vent en prise de son : décrire les caractéristiques du vent dans l'environnement du preneur de son, protéger ses microphones du vent, et mesurer les conséquences du matériel utilisé :
Nous nous attachons à quantifier la variation de la vitesse du vent en fonction de la nature du sol et de l'altitude. Nous traitons également de l'intérêt d'un obstacle plan sur la réduction de la vitesse du vent pour la prise de son, de la sensibilité au vent selon la nature du capteur du microphone, du principe d'action des bonnettes anti-vent, de leur efficacité et de leur influence sur la réponse du microphone (timbre et directivité).

Abstract

The matter of this dissertation is to bring informations concerning the question of the wind in a situation of sound recording: describe the characteristics of the wind in the sound recorder's environment, protect his microphones form the wind, and size up the consequences of the equipment used.

We first focus on quantifying the variations of wind's speed, contingent on the ground's type and the altitude. We discuss as well the relevance of a plane obstacle in order to reduce wind's speed in sound recording, the diverse sensitivities to wind depending on the microphone's technology, the windshield's mechanism, their efficiency and their influence on the microphone's response (directivity and frequency response).

TABLE DES MATIERES

RESUME 3

INTRODUCTION 5

I. PREALABLE THEORIQUE 9

I.1. CARACTERISTIQUES DU VENT 10
I.2. LE BRISE-VENT – ECOULEMENTS TURBULENTS AU VOISINAGE D'UN OBSTACLE POREUX 35
I.3. TECHNOLOGIE DU MICROPHONE ET SENSIBILITE AU VENT : 45
I.4. LES ACCESSOIRES DE PROTECTION ANTI-VENT : 55
I.5. CONSIDERATIONS AEROACOUSTIQUES 63
I.6. CONCLUSION DU PREALABLE THEORIQUE 72

II. PARTIE EXPERIMENTALE : MESURES SUR LES ACCESSOIRES DE PROTECTION 74

II.1. MESURES EN VENT NATUREL 75
II.2. MESURES ACOUSTIQUES (FILTRAGE, DIRECTIVITE) 99

CONCLUSION 125

REMERCIEMENTS 126

RESSOURCES BIBLIOGRAPHIQUES 126

INTRODUCTION

Restituer les dialogues en présence de vent…

Pour un film, la logique de reconstruction qui a lieu dans le processus de création sonore nécessite d'enregistrer séparément les éléments d'une séquence. Au tournage, il est donc indispensable de pouvoir dissocier la voix des interférences dues au vent.

Restituer le vent comme objet sonore…

Le vent, muet dans l'absolu, se met à chanter, siffler, déplacer, gêner, bruire, tordre, geindre, lorsqu'il heurte un élément du paysage. Le paysage déchire le vent, le vent déforme le paysage dans toute sa profondeur. Au cinéma, le vent signifié peut devenir un puissant vecteur narratif et émotionnel : jouer la subjectivité, la détresse, le chaud, le froid, l'isolement, l'énergie, le temps, l'élévation… L'opérateur du son doit par conséquent pouvoir enregistrer la trace d'un vent dans le paysage sans que le bruit dû aux écoulements proches de la capsule fasse disparaître les sons convoités…

L'objectif de ce mémoire est d'apporter des éléments de réponse à des problèmes techniques auxquels l'opérateur du son est confronté lorsque le vent fait partie de l'environnement de la prise de son.

La présence du vent pendant le tournage est gênante. Partageant le même milieu de propagation, le vent et le son sont tous deux perçus par le microphone. Protéger le microphone du vent a des conséquences directes et importantes sur le rendu sonore de la captation. C'est en mesurant ces effets, et en comprenant leurs causes que l'on pourra choisir la solution correspondant au meilleur compromis. On cherchera donc à fournir dans cet ouvrage les informations nécessaires au preneur de son pour qu'il choisisse la meilleure option.

Il ne s'agit pas d'éradiquer tout défaut lié à la présence de vent (certains cherchent à introduire dans leur captation les phénomènes dus aux limites de la protection. L'énergie sonore produite peut favoriser l'implication du spectateur dans la séquence enregistrée), il s'agit seulement de ne pas subir sa présence.

La partie théorique :

La problématique de la protection du microphone face aux problèmes de vent n'est pas limitée à la question des bonnettes anti-vent. Plus la vitesse du vent est importante, plus le microphone est susceptible de subir ses effets : chercher une place où la cause du bruit est réduite doit donc également faire partie de la question de la protection. Afin de définir au mieux les données du problème, nous allons tout d'abord caractériser le vent à l'échelle locale dans le but de déterminer notamment l'influence du sol sur sa vitesse. Nous allons ensuite étudier succinctement la question des écoulements turbulents au voisinage d'un obstacle poreux, notamment pour l'application des brise-vent. Puis, nous aborderons le problème du vent du point de vue des microphones. Nous allons ensuite faire la description des bonnettes anti-vent, en précisant leur principe de fonctionnement. Pour finir cette étude théorique, nous expliquerons pourquoi le bruit du vent reste perceptible sans que la membrane du microphone ne soit nécessairement en présence d'un flux d'air.

La partie expérimentale :

Nous y présenterons les résultats d'un test comparatif d'un large échantillon d'accessoires de protection. Cela pour permettre de qualifier quantitativement la réduction du bruit du vent, le détimbrage, et la perte de directivité occasionnés par les bonnettes.
Nous pourrons alors d'une part, vérifier et quantifier les principes développés dans la partie théorique, et d'autre part amorcer une discussion à propos du choix du matériel pour la prise de son en présence de vent.

La partie pratique :

La partie pratique sera l'occasion de rédiger un précis pour le preneur de son qui cherche des informations sur la problématique du vent. Le document (fourni en annexe) contiendra de façon condensée les informations développées dans ce mémoire qui sont les plus directement liées au cas concret du tournage. Des extraits sonores seront fournis pour que l'auditeur puisse entendre de lui-même le bruit d'un vent réel sur les différentes bonnettes, ainsi que le détimbrage qu'elles occasionnent.

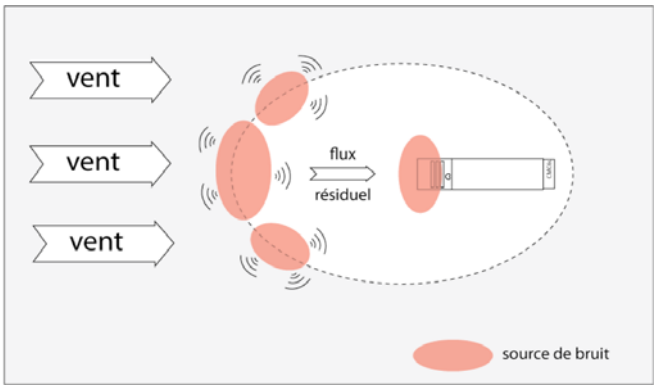
Point de départ

Précisons les notions de bruit et de protection dont il va être question dans ce mémoire :

Le signal utile est la source convoitée par le preneur de son. Le bruit est, de façon générale, celui qui est perçu *et* provoqué, par le microphone lui-même et son équipement de protection anti-vent.

Par hypothèse, ce bruit peut être causé par au moins deux phénomènes liés à la présence du vent :

- La circulation d'air au contact de la membrane
- Les turbulences du vent au contact de la bonnette



Le signal restitué par le microphone, est un mélange de la source convoitée par le preneur de son et du bruit engendré par le vent. La différence de niveau entre le signal utile et le bruit constitue la dynamique.

> *La protection correspond à l'ensemble des moyens mis en œuvre pour obtenir le maximum de dynamique tout en préservant le timbre de la source convoitée.*

I. Préalable théorique

L'étude du vent dans son état naturel est au preneur de son en extérieur ce qu'est l'acoustique architecturale pour le preneur de son d'un concert… Il est utile d'en connaître les grands principes pour pouvoir allier méthode et intuition, agir à « peu de frais » pour trouver une solution efficace.

Pour cette raison, nous commencerons par décrire de façon générale les caractéristiques du vent en abordant tout d'abord les régimes d'écoulement, puis le vent à l'échelle humaine et notamment sous l'influence du sol ou d'un couvert végétal. Nous verrons qu'il est possible d'en tirer des éléments de conclusion permettant de faciliter la tâche du preneur de son lorsque la présence du vent est gênante.

Après avoir dressé ce rapide portrait du vent, nous étudierons son comportement face à un obstacle plan. L'enjeu de cette partie est de savoir si le preneur de son peut utiliser un tel dispositif à son avantage.

Puis nous orienterons notre étude sur le comportement des microphones en présence de vent. À partir notamment du fonctionnement des deux familles de capteur (de pression et de gradient de pression), nous jugerons de la sensibilité aux problèmes de circulation d'air pour différents types de microphones et nous établirons quelques principes qui seront à la base de la réflexion sur le fonctionnement des protections anti-vent.

Nous porterons donc ensuite notre attention sur les accessoires de protection qui sont proposés par les constructeurs. Quels en sont les principes de fonctionnement ? Comment les associer aux différents types de microphones ?

Nous allons enfin porter notre attention sur les bruits d'origine aérodynamique qui sont générés par le heurt du flux d'air sur les bonnettes. Cela dans le but d'expliciter plus précisément la persistance du bruit en l'absence de flux d'air sur la membrane.

I.1. Caractéristiques du vent

Le vent naturel est difficile à caractériser. A notre échelle, il est le résultat notamment à la fois d'interactions fluide-surface dues à la présence du sol, et de phénomènes atmosphériques à très grande échelle.

I.1.1. Un premier aperçu : la variabilité du vent

Nous présentons ici des enregistrements de vitesse de vent. La courbe représentant la composante horizontale de la vitesse du vent rapide (5 m/s équivaut à 18 Km/h) varie de façon imprévisible dans des proportions importantes (de l'ordre de 40%). La courbe représentant la composante horizontale du vent lent (0,7 m/s équivaut à 2,5 Km/h) a été placée artificiellement au niveau de la courbe du vent rapide pour pouvoir comparer leurs variabilités.

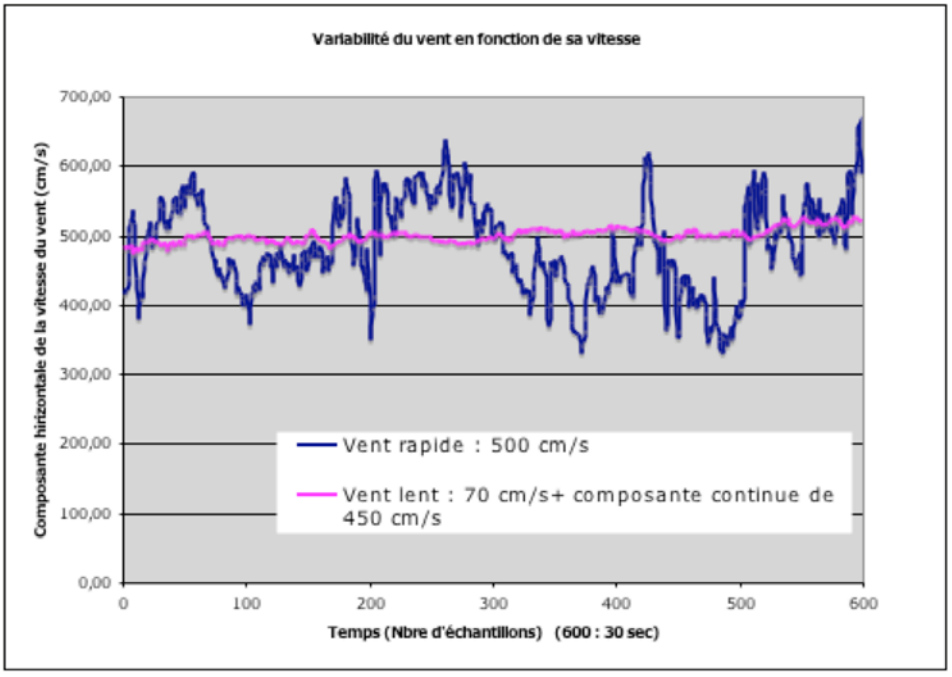


Fig.1 : Variabilité de la vitesse du vent (cm/s) pour une période de 30 secondes, pour un vent lent (courbe mauve) et pour un vent rapide (courbe bleue). D'après des relevés effectués à 42 m d'altitude dans la forêt de Fontainebleau (hauteur moyenne des arbres 35 m). D'après Nicolas Delpierre, Lab. Ecophysiologie végétale [UPS, orsay].

Mais si nous agrandissons fortement l'échelle (voir figure 2 ci-dessous), on s'aperçoit d'une part que le vent faible varie aussi de façon imprévisible dans des proportions importantes, et d'autre part que le vent rapide fait l'objet de très fines variations par rapport à sa vitesse moyenne.

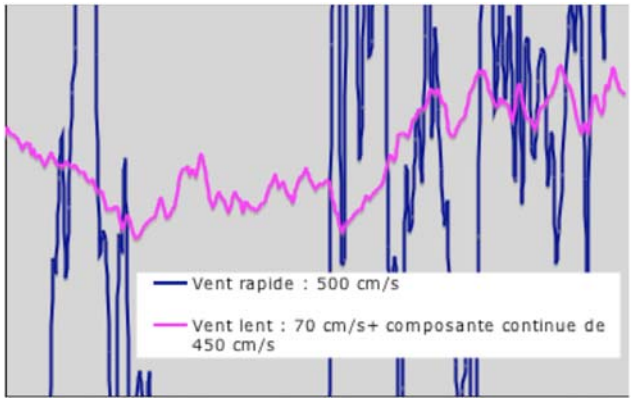


Fig.2 : Zoom de la fig.1 sur une durée de 10 sec (200 échantillons), centré sur une vitesse de 5m/s, et avec une dynamique verticale de 0,8 m/s.

Ces relevés de vitesse montrent, dans le cadre d'une première approche, le caractère instable et peu prévisible du vent, quelle que soit l'échelle de lecture. Nous allons tenter, malgré tout d'approfondir la description des phénomènes caractérisant le vent.

I.1.2. Préliminaires concernant les régimes d'écoulement d'un fluide

L'air est un gaz et constitue un fluide compressible. Un fluide évolue dans l'espace sous la forme d'écoulements. Pour comprendre la dynamique de l'air, même de façon superficielle, il est nécessaire de situer les différents régimes d'écoulement du fluide aérien.

On distingue les écoulements laminaires, dans lesquels on peut observer des formes remarquables, et les écoulements turbulents qui sont proches d'un mouvement chaotique. Autrement dit, l'écoulement est laminaire lorsque les couches de fluide voisines glissent les unes sur les autres sans s'interpénétrer, et il est turbulent lorsque le mouvement des particules fluides est désordonné et que les couches voisines s'interpénètrent.

C'est la prépondérance des forces de viscosité ou des forces inertielles qui détermine le régime de l'écoulement.

I.1.2.1. Effets des forces de viscosité – Ecoulement laminaire

Les forces de viscosité : On considère deux couches voisines d'un fluide, notées abcd et a'b'c'd', et toutes deux de surface S. Elles sont espacées d'une distance dz. La couche abcd est animée d'une vitesse dv, dirigée suivant x. μ est un paramètre dépendant du milieu. Il vaut environ 10^{-6} (faible) dans le cas de l'air. Sous l'effet de la viscosité, une force F s'exerce sur la couche a'b'c'd' et s'exprime : $F = \mu S (dv/dz)$.

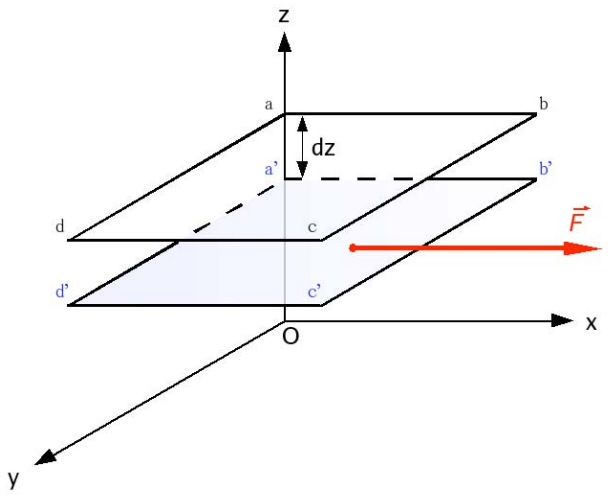


Fig. 3 : Schéma pour l'illustration des forces de viscosité.

Un fluide réel, comme l'air, est visqueux. On ne peut plus négliger cette propriété lorsque l'on se trouve près d'une surface solide. La viscosité est une propriété moléculaire qui représente la résistance du fluide à la déformation. À l'intérieur d'un fluide, elle engendre donc des forces de frottement entre deux couches voisines de fluide. Dans l'écoulement laminaire d'un fluide visqueux, des échanges entre les couches fluides voisines existent et sont dûs essentiellement aux forces de viscosité. Les profils de vitesse présentent une forme régulière et prévisible qui évolue progressivement dans l'espace et dans le temps.

I.1.2.2. Effets des forces inertielles – Ecoulement turbulent

Les forces inertielles : elles dépendent de l'accélération et de la masse de la portion de fluide considérée. Lorsque les forces inertielles deviennent prépondérantes, l'écoulement est turbulent.

Les écoulements turbulents sont très irréguliers. Par exemple pour l'écoulement de l'air, les fluctuations de la vitesse du vent correspondent à des échelles de temps comprises entre 10^{-3} et 10^{4} secondes et des échelles d'espace de 10^{-3} à 10^{4} mètres, et ces fluctuations suivent un régime chaotique. Ces ordres de grandeur sont valables au sein de la couche limite atmosphérique.

I.1.2.3 Couche limite

La transition entre l'écoulement turbulent et l'écoulement laminaire n'est pas brutale. On distingue schématiquement dans cette zone la couche limite, dans laquelle à la fois les forces de viscosité et les forces inertielles jouent un rôle important. Cette couche limite correspond à la zone de transition entre le fluide dont l'écoulement est perturbé et celui dont l'écoulement n'est pas perturbé par l'état de la surface.

Dans le cas du vent réel, il est difficile d'appliquer ce schéma très simpliste. Il est important de garder à l'esprit que la notion de proximité d'une paroi est très relative :

cela dépend de l'échelle à laquelle on observe les phénomènes. On peut considérer en effet que jusqu'à 1500 m d'altitude il existe une couche limite planétaire, mais on peut également observer la présence d'une couche limite de quelques centimètres d'épaisseur au dessus du sol.

I.1.3. Le vent à l'échelle humaine

Nous abordons ici le phénomène du vent tel que nous le ressentons tous les jours, à notre échelle. Il agite la végétation, modifie la perception de la distance d'une source sonore, ou vient produire du bruit dans nos microphones… Nous verrons que malgré son caractère imprévisible, il est possible de dégager quelques caractéristiques du vent, et notamment concernant sa vitesse. Nous commençons à aborder ici des notions qui sont directement utiles au preneur de son soucieux de s'affranchir au maximum des sources de bruit dues au vent.
Mais avant d'observer le vent à proximité du sol, rappelons le phénomène à très grande échelle, puisque c'est de celui que naissent les phénomènes à notre échelle.

I.1.3.1. Le gradient de pression atmosphérique, moteur de la circulation de l'air

La circulation de l'air est toujours la conséquence d'un gradient de pression, que ce soit à très grande ou à très petite échelle. Le vent à très grande échelle est principalement régi par des mouvements horizontaux, qui dépendent en premier lieu du champ de pression atmosphérique. Le gradient de pression entre une zone anticyclonique et une zone dépressionnaire est à l'origine du déplacement de l'air, le vent ayant tendance à rétablir l'équilibre de la pression. De façon schématique, le vent est donc le résultat de l'écoulement d'une zone de haute pression vers une zone de moindre pression.

En réalité, d'autres facteurs entrent en ligne de compte, comme la rotation de la terre qui engendre des forces supplémentaires (force de Coriolis), ou comme la présence d'un relief contrasté. De plus, même si les vitesses verticales sont très faibles devant les vitesses horizontales, elles ne sont pas négligeables et participent activement aux phénomènes climatiques. Si ces facteurs n'étaient pas présents, les états déséquilibrés seraient moins entretenus et disparaîtraient très vite et l'atmosphère serait quasiment inerte.

I.1.3.2. Le vent et l'influence du sol

La présence et la nature du sol agissent à la fois sur la vitesse et sur la forme des écoulements dans le vent. Le but de cette partie est d'énoncer quelques principes pouvant aider à l'analyse du terrain de prise de son et en tirer des conclusions quant à la disposition du microphone.
Ces principes théoriques, validés par quelques relevés expérimentaux, sont issus des études de Gérard Guyot (voir bibliographie).

Freinage et création d'une agitation tourbillonnaire

A très basse altitude, le sol a une grande influence sur les caractéristiques du vent. Celui-ci est littéralement freiné lorsqu'il est à proximité de la surface, ce qui est à l'origine de la création d'une couche limite turbulente. En effet, la vitesse du vent au niveau de la surface est idéalement nulle. La différence de vitesse entre la couche au contact du sol et la couche supérieure introduit, par le biais de la viscosité du fluide, des forces de cisaillement. Ces forces engendrent une agitation du fluide orientée principalement dans le plan normal au sol. Autrement dit, des tourbillons verticaux apparaissent.

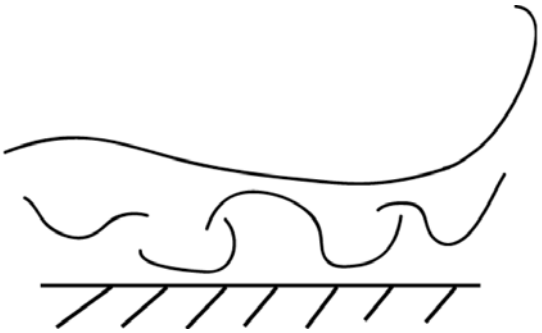


Fig. 4 : Agitation tourbillonnaire à proximité du sol.

Couche de surface, rugosité

L'effet de freinage à proximité du sol peut être précisé et quantifié. Il est donc possible de juger de la pertinence de la prise en compte de ce phénomène pour répondre à un problème de vent autour du microphone. Mais il est tout d'abord nécessaire de définir la notion de couche de surface et de sous-couche de rugosité.

On considère une couche dite « de surface » dans laquelle le vent est fortement déterminé par les effets du relief. Très près de la surface, on distingue encore la « sous-couche de rugosité ». Sa dimension dépend bien sûr à la rugosité rencontrée. La rugosité correspond à la distance moyenne entre les saillies et les creux des éléments tapissant le sol. C'est dans cette sous-couche que l'écoulement de l'air est directement dépendant de variables locales comme l'état de la surface (lisse ou rugueuse), la présence d'un couvert végétal et sa densité, la viscosité…

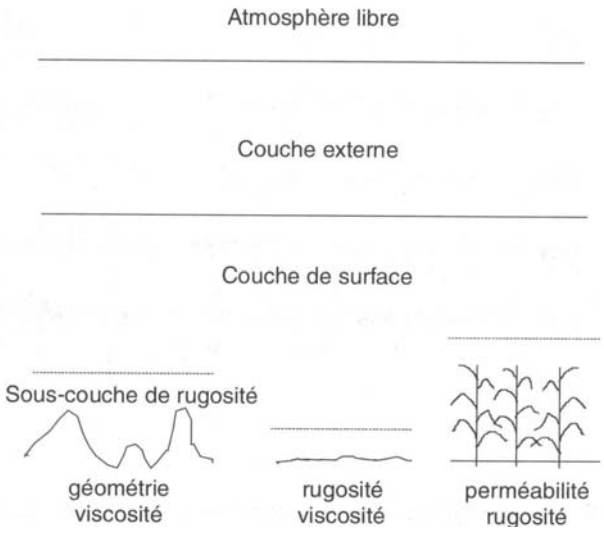


Fig. 5 : Représentation schématique des couches. D'après Guyot.

Un emboîtement de couches limites

Nous l'avons qu'il existe une couche limite à la surface du sol, provoquée par la différence de vitesse de l'écoulement de l'air. Mais si on monte en altitude, on trouve à nouveau des différences de vitesse dans les écoulements, ce qui donne lieu à une autre couche limite, et ainsi de suite. Dans une zone hétérogène, il est possible, en choisissant des échelles de temps et d'espace augmentant au fur et à mesure que l'on s'éloigne du sol, de mettre en évidence non plus une seule couche mais un emboîtement de couches limites.

Turbulence et vitesse du vent

Spectre en fréquence

L'emboîtement des couches limites se traduit notamment par l'existence de turbulences tourbillonnaires de dimensions très variables. En travaillant sur des données de vitesse de vent à des échelles de temps suffisamment précises (fréquence d'échantillonnage suffisante) il est possible de caractériser un des aspects des écoulements turbulents du vent naturel : à partir des évolutions de la vitesse, on calcule un spectre en fréquence. Le spectre d'un écoulement turbulent rend compte de la superposition de tourbillons

de différentes échelles, qui contribuent chacun aux échanges d'énergie et de masse. Il est important de noter qu'un accroissement de la fréquence correspond à une diminution de la dimension des tourbillons qui sont pris en compte.

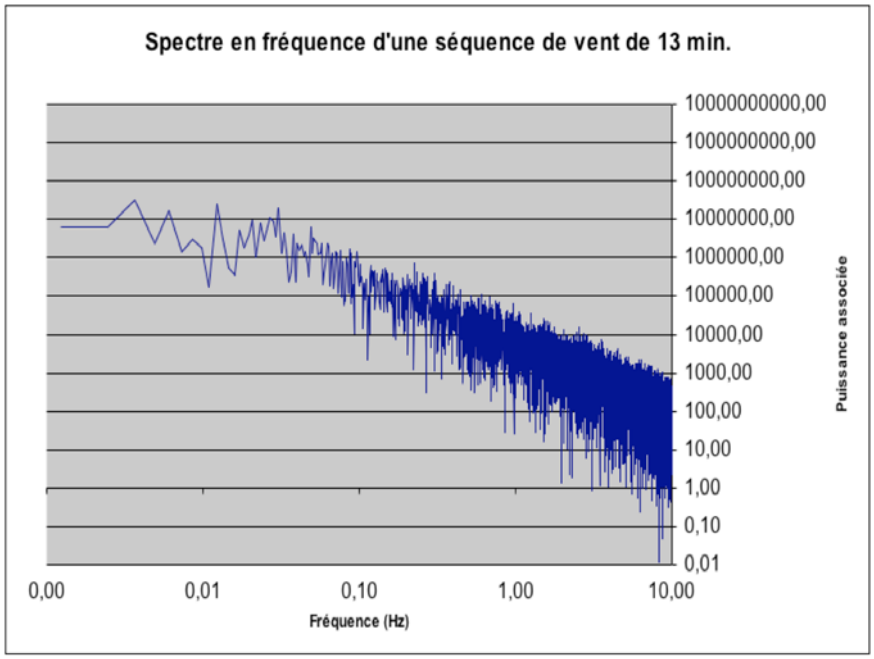


Fig. 6 : Spectre en fréquence de la vitesse d'un vent de 5 m/s pour une séquence continue de 13 minutes.

Le tracé de la figure 6 est issu d'une acquisition tridimensionnelle de vitesse (composantes horizontales u et v, et composante verticale w) à 42 m d'altitude, au-dessus d'une forêt de chênes (hauteur des arbres 35 m). L'outil de mesure est un anémomètre à ultrasons à haute fréquence d'échantillonnage (20 Hz). Nous présentons ici le spectre de la résultante u.v pour rendre compte seulement de la composante horizontale du vent.

Sur la figure, qui correspond à une analyse continue de 13 minutes, on note que la puissance des composantes spectrales décroît lorsque la fréquence croît : le signal est marqué dans le temps par des oscillations de longue période (tourbillons de grandes dimensions) qui correspondent à des vitesses de vent importantes. Les hautes fréquences sont présentes mais à un niveau moins important. Elles signent la présence de variations rapides de la vitesse du vent (tourbillons de petites dimensions) et correspondent à des vitesses plus faibles.

Niveau de turbulence et vitesse du vent

Il est possible de montrer l'évolution du niveau de turbulence en fonction de la vitesse du vent. Pour cela, on utilise un paramètre u*, qui est un estimateur de turbulence. Il est appelé « vitesse de frottement » et est défini par :

$$u^* = (u'w'^{2} + v'w'^{2})^{1/4}$$

u', v' et w' désignent les fluctuations des composantes horizontales et verticales de la vitesse.

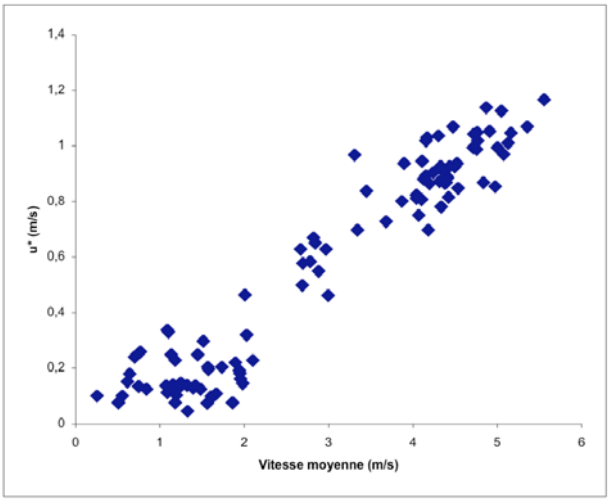


Fig. 8 : Évolution de u* en fonction de la vitesse du vent. D'après Nicolas Delpierre, Lab. Ecophysiologie végétale [UPS, orsay].

Cette figure est issue de relevés tridimensionnels de vitesse de vent du même centre d'acquisition que pour les figures de spectre en fréquence. Elle montre parfaitement l'évolution proportionnelle du niveau de turbulences avec l'augmentation de la vitesse du vent.

Cascades de tourbillons

Notons également que, dans le cas du vent, pratiquement toute l'énergie est apportée par les grands tourbillons, alors qu'elle est dissipée par les petits tourbillons. Le transport de l'énergie des grands tourbillons vers les petits résulte d'un processus en cascade qui fait intervenir l'ensemble des tourbillons de taille intermédiaire. En simplifiant, les petits tourbillons sont supposés être la résultante des divisions

successives des grands tourbillons, par suite de leur instabilité. Puisque les petits tourbillons sont finalement créés après une cascade de divisions successives des tourbillons de taille supérieure, on est finalement très loin des processus initiaux de création de turbulence à une macro-échelle. Ainsi, on ne doit plus avoir de direction préférentielle pour la direction des écoulements.

Dimensions des turbulences et relief

Dans le domaine macroscopique, par exemple lorsque l'on cherche un emplacement pour le microphone, l'échelle de la turbulence principale est comparable à l'échelle caractéristique de l'écoulement moyen. Cette échelle caractéristique de l'écoulement moyen correspond aux dimensions caractéristiques de la couche limite (très grande échelle) si la surface est à peu près plane, et aux dimensions caractéristiques du relief s'il existe. Ce sont ces tourbillons qui reçoivent le maximum d'énergie de la part de l'écoulement moyen. Autrement dit s'il existe des accidents de relief, les turbulences principales générées par cet accident seront de sa dimension.

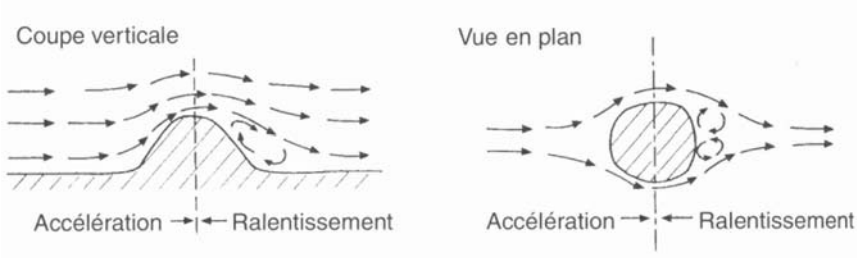


Fig. 6 : Effets du relief sur la création des turbulences. Exemple de la colline. D'après Guyot.

Vitesse du vent et altitude

En conclusion, pratiquement toute l'énergie du vent est apportée par les tourbillons de grande taille, et plus les tourbillons sont grands, plus l'énergie est importante. Or, comme la taille des plus grands tourbillons est déterminée par les dimensions caractéristiques de l'écoulement, plus on monte en altitude, plus la vitesse de vent croît.

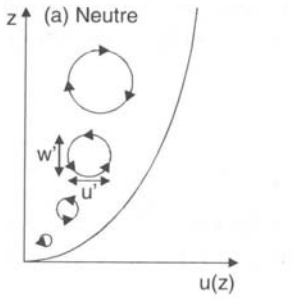


Fig. 7 : Schéma montrant l'évolution des dimensions des turbulences en fonction de l'altitude et de la vitesse. D'après Guyot.

Synthèse en quelques points

- Le vent est instable : sa vitesse et sa direction varient de façon importante quelle que soit l'échelle d'observation.
- La présence du sol occasionne une agitation tourbillonnaire et un freinage du vent.
- Le niveau de turbulence croît linéairement avec la vitesse du vent.
- La vitesse du vent croît avec l'altitude.

Profil vertical de la vitesse du vent au voisinage du sol

Décroissance logarithmique de la vitesse du vent à proximité du sol

On peut montrer par le calcul, en utilisant un certain nombre d'hypothèses, que la vitesse du vent décroît de façon logarithmique avec la hauteur. Ce modèle mathématiques suppose en particulier que le gradient thermique vertical soit faible. La loi de variation de la vitesse du vent en fonction de l'altitude s'écrit alors :

$$u(z)= (u^*/k) \ln (z/ z_0) \qquad (1)$$

Avec z l'altitude, z_0 le paramètre de rugosité (voir tableau ci-dessous), u* la « vitesse de frottement », et k la constante de Von Karman égale à environ 0,4. La « vitesse de frottement » est liée au niveau de turbulence, et il est relativement aisé de connaître sa valeur si l'on connaît la vitesse du vent à deux hauteurs différentes. Donnons à titre d'exemple le profil vertical de la vitesse du vent au-dessus d'un sol nu (paramètre de rugosité de 0,005m), ayant à 10 m une vitesse de 6,7 m/s et une vitesse de frottement de 0,35 m/s.

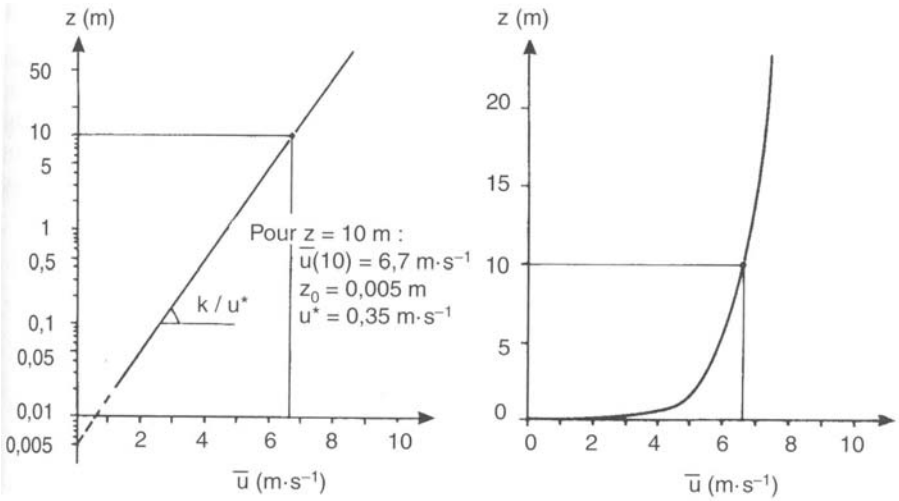


Fig. 9 : Profil vertical de la vitesse du vent sous l'influence du sol. D'après Guyot.

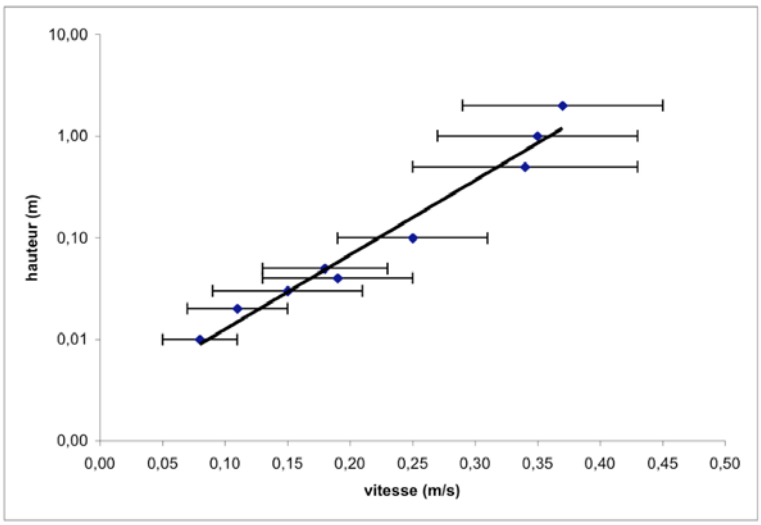


Fig. 10 : Profil vertical de la vitesse du vent. Relevés à la bille chaude, de 1 cm à 2 m. D'après Eric Dufrêne, Lab. Ecophysiologie végétale [UPS, orsay].

La représentation en coordonnées semi-logarithmiques des figures 9 et 10 montre que la courbe représentant la vitesse en fonction de l'altitude à proximité du sol est une droite, et représente donc bien l'évolution logarithmique de la vitesse du vent à très basse altitude. D'autre part, la droite de la figure 9 passe par une valeur de vitesse nulle à 0,005 m (paramètre de rugosité). La vitesse tend donc vers zéro à proximité du sol. Enfin, on remarque que le gradient de vitesse augmente fortement si l'on s'approche de la surface.

Présentation de la rugosité pour quelques surfaces typiques :

Type de surface	Rugosité z_0 (m)
Eau libre	0,002-0,006
Sol nu	0,005-0,020
Gazon ras (1cm de haut)	0,001
Gazon dense (10 cm de haut)	0,023
Prairie (0,5 m de haut)	0,05-0,07
Blé (1m de haut)	0,10-0,16
Plaine cloisonnée par des haies	0,2-1

Précision sur le cas de la plaine cloisonnée par des haies :

Si l'on se place à l'échelle de la plaine, la répétition des obstacles constitués par les haies correspond à une certaine rugosité (rappel : la rugosité correspond à la distance moyenne entre les saillies et les creux des éléments tapissant le sol).

Étude de la réduction du vent entre deux positions de hauteur différente, en fonction du type de surface

D'après la théorie, le type de rugosité du sol influe donc sur le profil vertical de la vitesse du vent. Afin de juger l'influence de ce paramètre sur la vitesse du vent, nous présentons ici le calcul de réduction de la vitesse entre deux positions z_1 et z_2, pour quelques valeurs de rugosité typiques.

z_2 est la position haute et vaut 2 m ; z_1 est la position basse et vaut 1,1 m. Ces choix de hauteurs sont arbitraires. Ils peuvent toutefois correspondre approximativement, dans certains cas typiques de tournage, à des positions de perche au-dessus (z_2) et en dessous (z_1) du cadre.

A partir de (1), on peut exprimer la réduction de la vitesse du vent entre deux positions par la formule :

$$\% \text{ Réduction} = 1 - (u(z_1)/u(z_2)) = 1 - (\ln (z_1/z_0) / \ln (z_2/z_0)) \quad (2)$$

Résultats :

Type de surface	Z_2 (m)	Z_1 (m)	% de réduction de la vitesse
Sol nu	2	1,1	10
Gazon de 10 cm de haut	2	1,1	14
Herbes de praire de 0,5 m de haut	2	1,1	17
Champ de blé de 1 m de haut	2	1,1	23
Plaine cloisonnée par des haies	2	1,1	65

Le pourcentage de réduction de la vitesse du vent est de 10% entre les deux positions pour un sol nu, de 14% pour un sol constitué de gazon ras, de 17% pour un sol constitué d'herbes de prairie de 50 cm de haut, de 23% pour un sol constitué par du blé de 1 m de haut, et enfin de 65% pour une plaine cloisonnée par des haies. (Rappelons que dans le cas de la plaine, le calcul ne correspond pas à la réduction de la vitesse du vent apportée par l'effet d'obstacle de la haie, mais bien à l'effet de rugosité à grande échelle.)

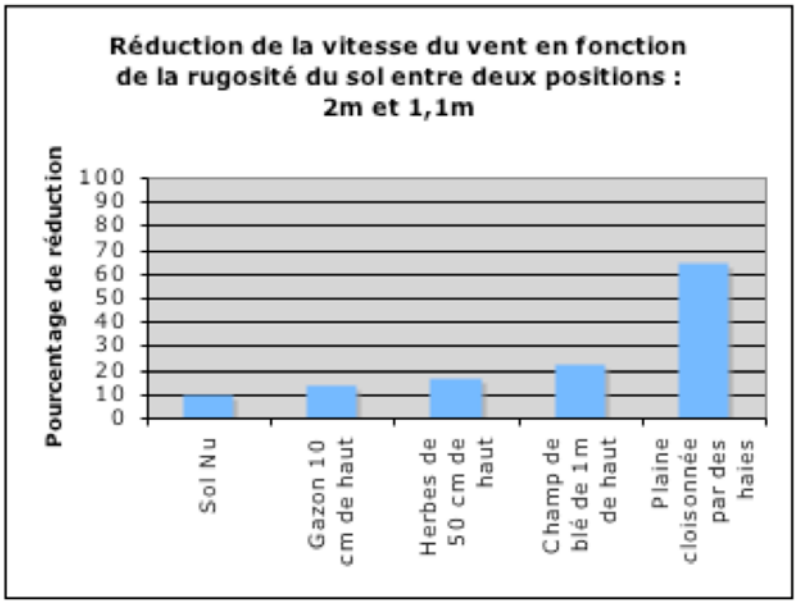


Fig. 10 : Réduction de la vitesse du vent en fonction de la rugosité du sol, entre une position à 2 m et une position à 1,1 m.

Nous pouvons en déduire les quelques propriétés suivantes :

- La réduction de la vitesse du vent entre 2 m et 1,1 m est faible pour les sols les plus courants en situation de tournage (de l'ordre de 10 à 15%).

- La réduction de la vitesse du vent est très variable selon le type de rugosité du sol.

- On remarque un renforcement de la réduction du vent lorsque la rugosité augmente.

- La réduction de la vitesse du vent devient significative, entre ces deux positions à deux mètres et à un mètre dix, seulement si la rugosité est très importante.

Est-il pertinent de prendre en compte le paramètre de rugosité dans la problématique de la protection au vent du microphone ?

Dans une situation de tournage, la marge de manœuvre pour positionner le microphone est très réduite, et est avant tout déterminée par la valeur du cadre et par le type de source. On peut en revanche envisager, pour les plans moyens et serrés, de situer la perche au-dessus ou en dessous du cadre. Il appartient alors au preneur de son de mesurer les avantages et les inconvénients de ces options, en considération du niveau et du timbre perçu de la source, de la mobilité de la perche…

D'après les résultats présentés dans le tableau précédent, la réduction de la vitesse du vent entre ces deux positions n'est pas suffisante pour justifier de placer le microphone sous le cadre, à moins de se trouver sur un sol dont la rugosité est très importante (hautes herbes ou plaine cloisonnée par des haies). (Nous n'incluons pas ici dans le raisonnement l'obstacle que peut constituer un comédien pour le vent.)

En revanche, il semble pertinent, dans le cadre de ce modèle de décroissance de la vitesse du vent, de vérifier si l'influence du sol peut être mise à profit dans le cas d'une

prise de son d'ambiance. En effet, dans ce cas, le preneur de son peut envisager de placer son microphone très près de la surface du sol…

Étude de la réduction de la vitesse du vent entre une position à deux mètres et une position au sol :

Nous avons vu précédemment que la réduction de la vitesse du vent est rarement significative pour une situation de perche tournage (sauf pour des valeurs de rugosité très importantes). Mais d'après le modèle théorique, la vitesse du vent tend vers zéro lorsque la position considérée s'approche de la valeur de rugosité du sol, et le gradient de vitesse s'accroît à proximité du sol : c'est en s'approchant du sol que l'on va pouvoir bénéficier en théorie de la meilleure protection au vent.

Afin d'inclure cette option de placement dans la problématique de la protection au vent, il est nécessaire de quantifier la réduction de vitesse que la proximité du sol apporte par rapport à une position de microphone plus haute. On a choisi une position de perche typique (z_2 = 2 m) et une position du microphone au sol (z_1). z_1 est à 5 cm de la limite haute des éléments présents sur le sol. Dans le cas de la plaine cloisonnée par des haies, z_1 est arbitraire.

Résultats :

Type de surface	Z_2 (m)	Z_1 (m)	% de réduction de la vitesse
Sol nu	2	0,10	50
Gazon de 10 cm de haut	2	0,15	60
Herbes de prairie de 0,5 m de haut	2	0,55	38
Champ de blé de 1 m de haut	2	1,05	26
Plaine cloisonnée par des haies	2	0,85	93

Le pourcentage de réduction du vent est de 50% pour un microphone placé près d'un sol nu, de 60% pour un microphone près d'un sol en gazon, de 38% pour un sol constitué de hautes herbes, de 26% pour un sol constitué par du blé d'un mètre de haut, et de 93% pour une plaine cloisonnée par des haies.

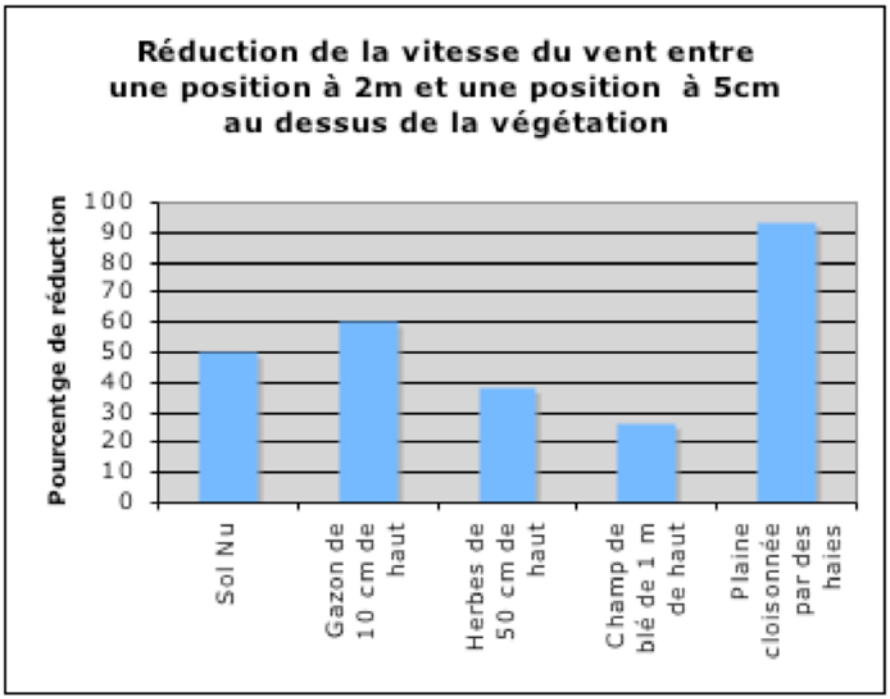


Fig. 11: Réduction de la vitesse du vent entre une position à 2 m et une position à 5 cm de la végétation.

Nous pouvons en déduire les quelques propriétés suivantes :

- La réduction de la vitesse du vent est importante quelle que soit la nature du sol.

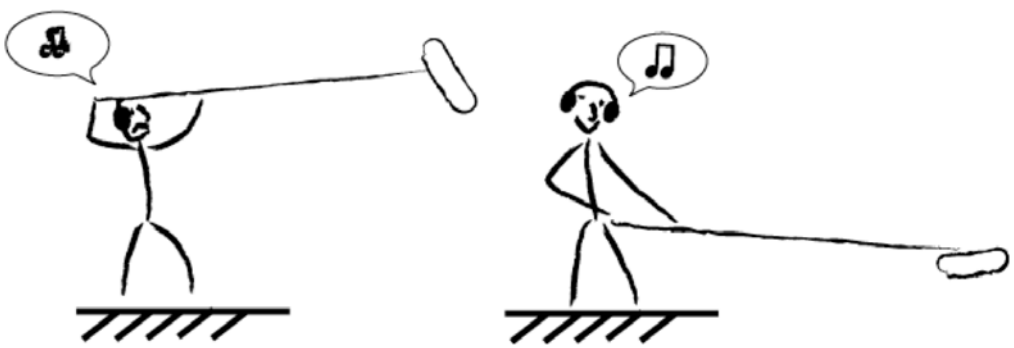
- La réduction de la vitesse dépend surtout de la différence de hauteur entre les deux positions haute et basse du microphone, sauf pour le cas de la plaine cloisonnée par des haies. Du strict point de vue de la protection au vent, il est donc préférable de se trouver sur une surface plutôt faiblement rugueuse, car cela permet de descendre le microphone tout à fait au niveau du sol.

- Mais pour des sols à grande valeur de rugosité, on peut aussi envisager de pratiquer une ouverture dans la végétation pour pouvoir placer le microphone en deçà même de la valeur de la rugosité, ce qui se traduirait par une atténuation de la vitesse du vent encore plus importante.

Est-il pertinent de placer le microphone près du sol dans un souci de protection au vent ?

Du point de vue de la prise de son, que ce soit pour la captation d'une scène dialoguée ou pour l'enregistrement d'ambiances, s'approcher du sol est une contrainte. En effet, cela revient pour la voix à s'éloigner très sensiblement de la source sonore. En ce qui concerne les ambiances, ce placement n'est pas sans conséquence du point de vue du champ acoustique perçu. Les effets du sol vont par exemple masquer telle ou telle source, ou absorber plus ou moins l'énergie acoustique en fonction des fréquences… Il faut également ajouter que la végétation présente sur le sol peut être bruissante dans certains cas.

Dans la pratique d'un enregistrement d'ambiance, la proximité du sol est cependant peu dommageable car l'auditeur ne dispose pas de référence acoustique lui permettant de comparer et de constater un éventuel détimbrage (le cas de la voix est différent car on s'attend à une certaine qualité de timbre). De plus, les résultats que nous avons présentés montrent qu'il est possible, en s'approchant du sol (et même en y pratiquant une ouverture…), de réduire très fortement l'exposition au vent pour le microphone. Si le vent devient très problématique, il est alors sans doute préférable de protéger au mieux le capteur pour minimiser la source de bruit, en optant alors pour une position très proche du sol. C'est bien sûr le preneur de son qui peut juger, au cas par cas, de la meilleure solution.



Couvert végétal et hauteur de déplacement

Un couvert végétal est constitué d'une végétation dense et relativement homogène. C'est le cas par exemple pour une forêt de feuillus, de résineux, ou encore pour certaines cultures agricoles. Nous allons chercher à analyser, toujours selon la théorie, les effets de ce type de végétation sur le profil vertical de la vitesse du vent.

Un déplacement vers le haut du profil de décroissance du vent

Lorsque le sol est recouvert par une végétation dense de hauteur H, tout se passe comme si du point de vue aérodynamique le niveau du sol se trouvait surélevé d'une hauteur D<H. Au-dessus du couvert végétal, le profil vertical logarithmique de la vitesse du vent est donc surélevé de cette hauteur D, qui est appelée hauteur de déplacement et vaut environ 70% de la hauteur de la végétation (voir figure ci-dessous).

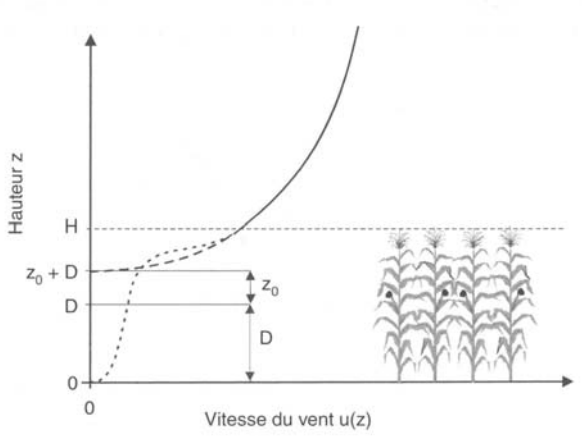


Fig. 11 : Principe de « hauteur de déplacement ». Exemple du champ de maïs. D'après Guyot.

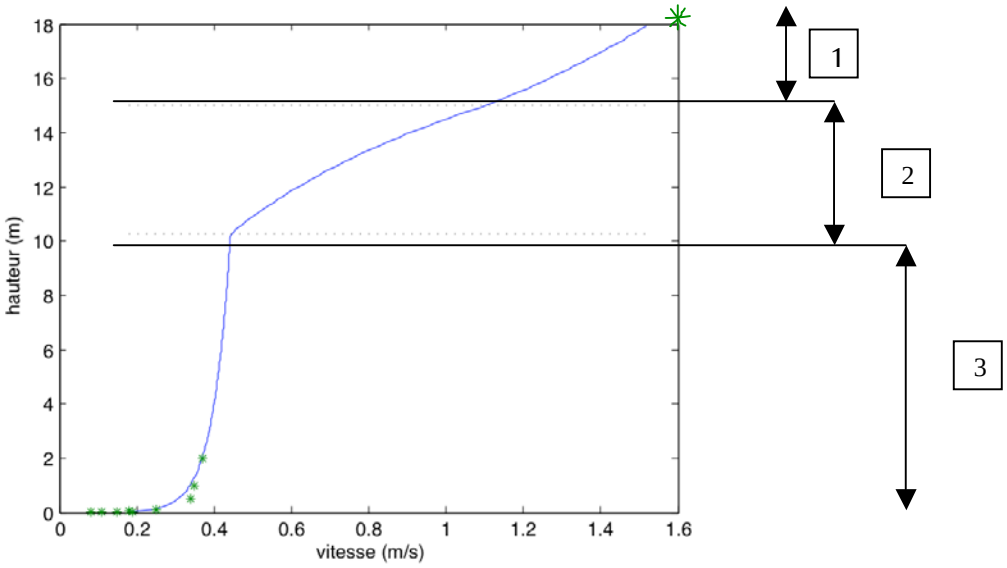


Fig 12: Superposition des profils théoriques (trait bleu) et des relevés expérimentaux (points verts) de la vitesse du vent en fonction de la hauteur dans une forêt de hêtres. Hauteur moyenne arbres : 15 m. Hauteur du houppier (branches basses) : 10,20 m. D'après Eric Dufrêne, Lab. Ecophysiologie végétale [UPS, orsay]..

La figure 12 montre la correspondance entre les profils théoriques de décroissance du vent (trait bleu continu) et des relevés expérimentaux de vitesse du vent (points verts) dans une forêt. On peut constater la concordance des profils théoriques avec les mesures sur le terrain (la mesure à 18 m se situe presque sur la courbe). On note l'effet de la hauteur de déplacement déterminant la limite basse du profil logarithmique du vent au-dessus des arbres. On peut situer approximativement la hauteur de déplacement entre 13 m et 14 m (dans le feuillage).

La couche limite où s'opère le freinage, et où l'on observe la décroissance logarithmique verticale de la vitesse du vent, est au niveau de la cime des arbres (1). Dans le couvert végétal (feuillage des arbres), la décroissance du vent est exponentielle (2). On retrouve ensuite, entre les branches et le sol, une décroissance logarithmique de la vitesse du vent tendant vers zéro à proximité du sol (3). Le preneur de son se situe donc dans une zone où le vent a déjà été freiné au-dessus de lui. Il pourra ensuite toujours chercher une zone où le vent est encore réduit en s'approchant du sol.

Intérêt d'un placement de microphone en forêt dans une problématique de protection au vent

Une forêt dense constitue donc un environnement dans lequel le microphone bénéficiera d'un vent fortement atténué. Mais une forêt ne constitue pas toujours un couvert homogène, et peut donc laisser la place à des phénomènes de courants d'air non conformes à notre théorie et peu prévisibles. Il faut enfin considérer que la forêt peu devenir gênante du point de vue acoustique car l'agitation des feuilles sous l'effet du vent est productrice de bruit.

Importance de la prise en compte de l'influence du sol et de la végétation dans la problématique de la protection au vent du microphone

La présence d'un couvert végétal, la rugosité du sol et surtout la hauteur où l'on se place jouent donc un rôle important quant à la vitesse du vent. Ces effets constatés sont à prendre en compte dans une problématique de protection au vent car diminuer la cause originelle du bruit (c'est-à-dire la vitesse du vent) doit être à la base de la réflexion.

En tournage, ceci est évidemment à mesurer car la marge de manœuvre pour positionner le microphone est très faible lorsqu'il s'agit de la prise de son des voix. En revanche, l'enregistrement d'une ambiance offre plus de liberté, et l'on pourra plus facilement profiter de ces propriétés.

Synthèse en quelques points

- La vitesse du vent tend vers zéro lorsque l'on s'approche du sol et sa décroissance est logarithmique : le gradient de vitesse augmente très fortement très près du sol.

- Plus la rugosité du sol est importante et plus le vent est freiné : entre une position à 2 m et une position à 1 m, la réduction de la vitesse peut varier de 10% à 60% en fonction de la rugosité.

- Dans le cas d'une prise de son d'ambiance ou d'un vent tellement fort qu'il empêche tout placement de microphone en hauteur, on peut bénéficier d'une forte protection très près du sol : la vitesse du vent peut diminuer de 25% à 90% selon la rugosité du sol, entre une position à 2 m et une position à 5 cm au-dessus de la végétation.

- Un couvert végétal homogène (une forêt dense…) constitue un abri au vent très efficace pour le preneur de son.

I.2. Le brise-vent – Ecoulements turbulents au voisinage d'un obstacle poreux

Pour compléter la notion de protection au vent du microphone, nous allons porter à présent notre attention sur le principe du brise-vent. Les informations présentées dans ce développement sont issues de la thèse de Gérard Guyot (1972).

Dans la nature, les brise-vent existent sous la forme de haies d'arbres ou d'arbustes. Ils jouent par exemple un rôle important pour la maîtrise des cultures agricoles, ou bien la protection d'habitations. C'est pourquoi des études ont été menées pour caractériser leur action sur le vent. Le preneur de son qui a connaissance de ces propriétés va pouvoir analyser leur présence sur le terrain et, si le vent est problématique, les utiliser pour améliorer les conditions de la captation sonore. Les brise-vent artificiels sont également un sujet qui mérite notre attention. Nous verrons s'il est possible, dans des cas particuliers, de mettre en place une structure légère permettant de s'affranchir significativement d'un vent gênant.

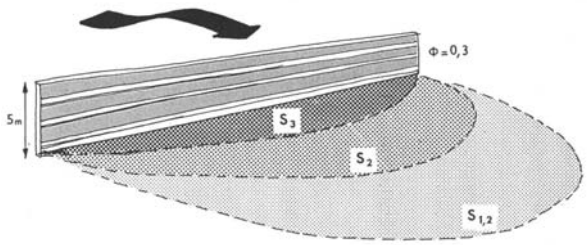


Fig. 13 : Exemple d'un brise-vent.

De façon schématique, le brise-vent est un obstacle plan, mince, et plus ou moins poreux. Lorsqu'un flux d'air rencontre un brise-vent, il se divise en deux parties : l'une le traverse et l'autre le contourne. La vitesse et la direction du vent ne redeviennent identiques à ce qu'elles étaient en zone dégagée qu'à une certaine distance derrière l'obstacle. La fraction du flux d'air incident qui contourne le brise-vent est d'autant plus importante que celui-ci est moins perméable et les perturbations apportées dans

l'écoulement seront alors plus importantes. La zone d'écoulement « sous le vent » est le lieu d'un vaste mouvement tourbillonnaire qui s'éloigne et disparaît lorsque la porosité augmente.

I.2.1. Le brise-vent imperméable, favorable aux échanges verticaux

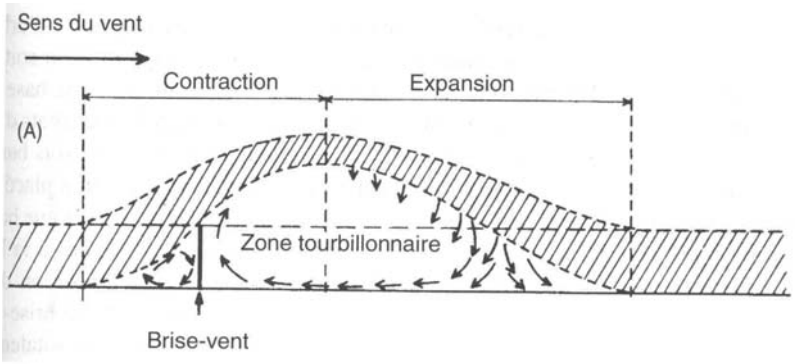


Fig. 14 : Schéma de principe du brise-vent imperméable. D'après Guyot.

L'air est dans ce cas totalement dévié vers le haut de l'obstacle. La perturbation de l'écoulement engendre une agitation importante à l'aval du brise-vent, et les échanges verticaux sont très présents. La dépression immédiatement située à l'aval du brise-vent entraîne au voisinage du sol un vent de sens opposé à celui du vent incident. De façon schématique, l'amorce de ce retour du vent a lieu environ à cinq fois la hauteur du brise-vent en aval du dispositif. La couche de vent supérieure « alimente » le mouvement tourbillonnaire en ce point, et « l'intègre » à l'aplomb du brise-vent. On observe un tourbillon dont le diamètre est approximativement de l'ordre de grandeur de l'obstacle, et dont l'axe de rotation lui est parallèle.

Le preneur de son pourrait donc trouver théoriquement un point de l'espace où la vitesse du vent est parfaitement nulle, sur l'axe de rotation de ce mouvement

tourbillonnaire. En réalité la longueur du brise-vent n'est pas infinie et les effets de bord créent une circulation d'air dans la direction parallèle au brise-vent. De plus, il est impossible d'adapter en permanence l'orientation du dispositif par rapport à la direction du vent, ce qui contribue de nouveau à l'existence d'un flux d'air latéral. Enfin, la nature turbulente du vent incident va constamment modifier les échanges alimentant ce mouvement de rotation. En effet, l'apport de la couche supérieure n'est pas constant et empêche au tourbillon de s'établir de façon stable. La zone de calme sera donc plus approximative car légèrement mobile.

Le brise-vent imperméable fournit donc au preneur de son un pouvoir de protection important. Il faut cependant garder à l'esprit que la zone de calme est très réduite et sa localisation varie un peu dans l'espace.

I.2.2. Le brise-vent perméable minimise les échanges verticaux

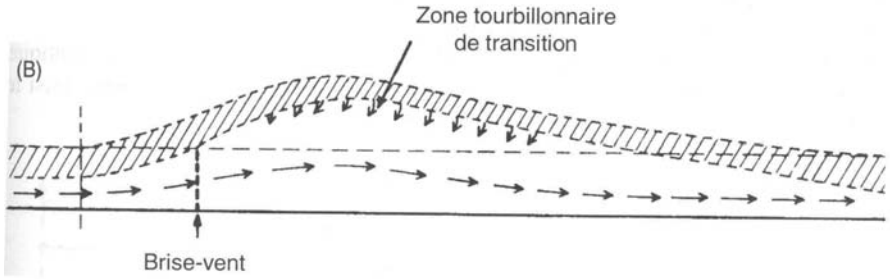


Fig. 15 : Schéma de principe du brise-vent perméable. D'après Guyot.

Le brise-vent imperméable donne lieu, nous l'avons vu, à une agitation de l'air importante rendant difficile la protection au vent pour le preneur de son. Il est possible de détruire ce mouvement d'air tourbillonnaire qui se traduit notamment par un retour de vent près du sol. Si le brise-vent est perméable, une veine de vent le traverse et diminue l'effet de dépression existant immédiatement à l'aval de l'obstacle. Des échanges verticaux ont encore lieu entre la couche supérieure et la couche freinée mais

ils sont limités dans l'espace à une zone tourbillonnaire de transition relativement fine. La diminution des échanges entre les couches permet un meilleur maintient de la zone protégée.

La première conséquence de la perméabilité du brise-vent est donc d'étendre de façon non négligeable la zone protégée. Des expériences montrent que la protection s'étend sur une longueur de deux à cinq fois plus importante que dans le cas d'un brise-vent imperméable (environ de douze à vingt fois la hauteur du brise-vent). En revanche, la veine de vent non défléchie existant dans la zone protégée minimise la « qualité » de la protection. Nous verrons que l'étendue de la protection dépend de plusieurs facteurs, comme le niveau de turbulence du vent incident et la rugosité du sol.

Des études ont été menées pour estimer que la porosité (rapport entre les surfaces vides et les surfaces pleines) offrant le meilleur compromis entre réduction de la vitesse et étendue de la zone protégée se situe aux alentours de 40%. Ces études ont été faites en considération des cultures agricoles. Dans le cas d'une prise de son, la question est différente, et la porosité optimale va surtout dépendre du cas de figure qui se présente. Nous verrons par la suite que l'on peut chercher à faire varier la porosité en fonction du besoin plus ou moins grand de bouger les microphones.

<u>Résultats expérimentaux issus des travaux de Nageli (1946) :</u>

Dans ce tableau figurent des relevés de vitesse à mi-hauteur du brise-vent en fonction de la distance. Ces deux grandeurs sont exprimées en valeurs relatives : la vitesse V est exprimée par rapport à la vitesse V_0 du vent mesuré dans une zone non abritée, et la distance D est exprimée par rapport à la hauteur H du brise-vent.

On a donc comme expression de la vitesse : $V = V_{abrit} / V_0$

Et la distance s'exprime : $D = D_{obstacle} / H$

D	-5	-2,5	0	2,5	5	10	15	20	30
Porosité importante	0,98	0,98	0,67	0,49	0,41	0,63	0,82	0,92	0,92
Porosité moyenne	0,99	0,87	0,57	0,45	0,35	0,48	0,72	0,85	0,94
Porosité faible	0,99	0,85	0,48	0,29	0,33	0,58	0,80	0,90	0,97
Porosité très faible	0,99	0,85	0,35	0,22	0,46	0,72	0,87	0,93	0,98

Vitesse relative moyenne du vent à différentes distances du brise-vent.

Afin de mieux visualiser l'influence de la porosité sur l'étendue de la protection, le graphique suivant montre le pourcentage de réduction de la vitesse du vent en fonction de la distance relative (distance exprimée par rapport à la hauteur du brise-vent).

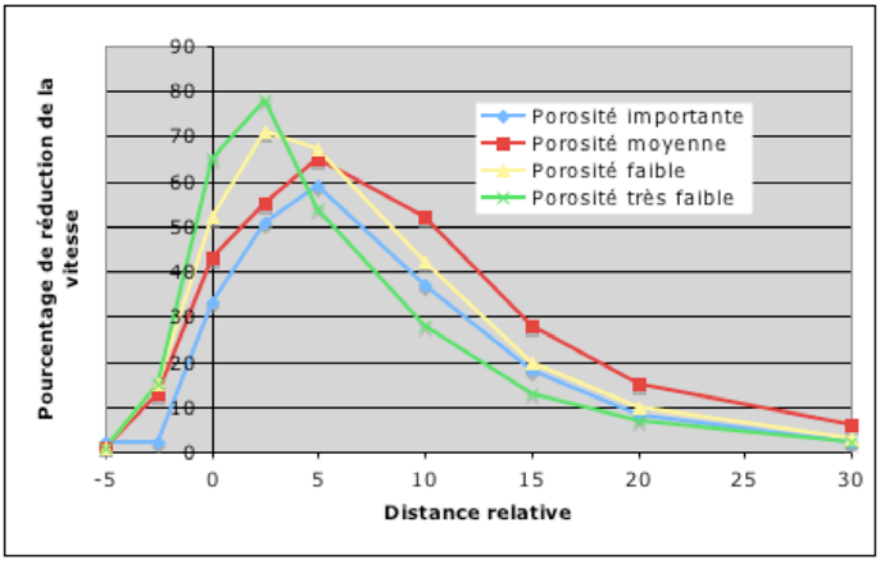


Fig. 16 : Etendue de la zone de protection en fonction de la porosité du brise-vent.

Dans le cas d'un brise-vent d'un mètre de haut (dans ce cas le paramètre de distance se lit directement sur l'axe des abscisses) et d'après ces données expérimentales, si l'on se

place à cinquante centimètres de haut, la vitesse du vent sera réduite de moitié dans une zone entre :

- 0 et 6 m pour un brise-vent à porosité très faible
- 0 et 9 m pour un brise-vent à porosité faible
- 2 et 10 m soit une distance de 8 m, pour un brise-vent à porosité moyenne
- 3 et 7 m soit une distance de 4 m, pour un brise-vent à porosité importante

Le preneur de son pourra donc bénéficier d'une latitude maximum (9 m), dans le cas d'un brise-vent à porosité faible, pour placer son microphone tout en bénéficiant d'une bonne protection au vent. Nous remarquons que la porosité très faible du brise-vent permet une très forte atténuation de la vitesse du vent (75%) sur une distance d'environ un mètre cinquante. Dans le cas d'une prise de son d'ambiance, cela laisse tout de même une certaine latitude pour placer le microphone.

I.2.3. Structure du brise-vent

La porosité globale du brise-vent ne suffit pas pour caractériser l'optimisation de la protection. En faisant varier la porosité du brise-vent en fonction de la hauteur, on fait varier également l'étendue de la zone protégée :

En plaçant une bande imperméable à la base du dispositif, on constate que celui-ci se comporte presque comme un brise-vent totalement imperméable. A l'inverse, une bande imperméable placée au sommet, et qui laisse donc une bande plus poreuse à la base, s'approche du brise-vent totalement poreux. De façon synthétique, on peut penser dans ce deuxième cas que le soufflage existant à la base du brise-vent suffit à briser l'effet de retour du vent au niveau du sol et empêche ainsi la création du tourbillon. Les échanges verticaux sont ainsi minimisés et permettent de prolonger la zone protégée. Dans la pratique, il suffit donc de surélever la base du brise-vent pour en augmenter l'étendue de la zone protégée.

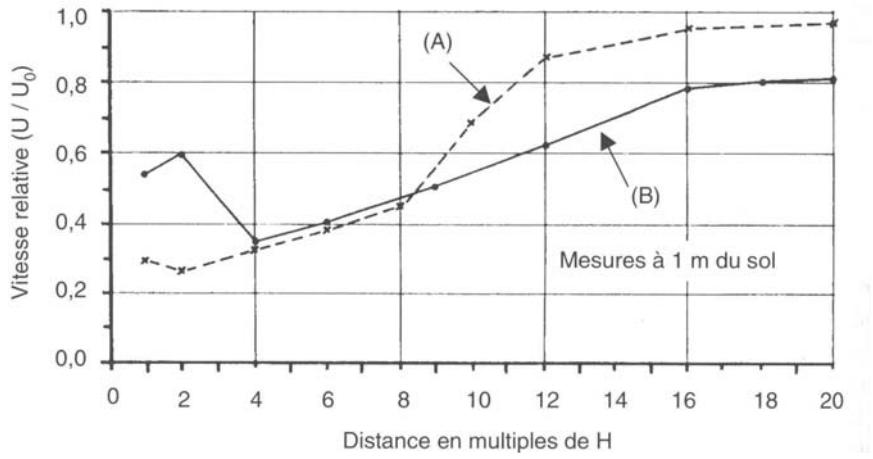


Fig. 17 : Influence de la hauteur de la bande imperméable sur la réduction de la vitesse à l'aval d'un brise-vent. (A) : Bande imperméable en bas. (B) : Bande imperméable en haut. H est la hauteur du brise-vent. D'après Guyot.

I.2.4. Influence de la nature du vent

La réduction de la vitesse du vent ne dépend pas de sa vitesse initiale. En revanche, l'efficacité d'un brise-vent peut varier fortement d'un lieu à un autre. Cela s'explique par la nature plus ou moins turbulente du vent en fonction du lieu. Plus on se situe dans un paysage accidenté, plus le vent aura un niveau de turbulence important. La turbulence sera limitée en plaine et très forte en zone montagneuse par exemple.

La conséquence directe sur l'efficacité des brise-vent vient du fait que la protection qu'ils peuvent offrir ne concerne que les turbulences qui sont de dimension inférieure ou de l'ordre de grandeur de ses propres dimensions. S'il existe des turbulences de grande dimension, les échanges verticaux seront donc favorisés et l'extension de la zone protégée sera minimisée.

Ainsi, en plaine la longueur de la zone protégée par le brise-vent sera maximale, alors qu'elle sera réduite dans une zone accidentée.

I.2.5. Série de brise-vent

Plusieurs brise-vent consécutifs ne seront pas efficaces du strict point de vue de la réduction de la vitesse du vent. Un brise-vent est en effet lui-même un accident de terrain pour le vent. Il génère donc des turbulences de taille non négligeable et, dans le cas d'une série de brise-vent, minimise l'effet du brise-vent consécutif en augmentant la quantité des échanges verticaux. En multipliant les brise-vent, on ne pourra que prolonger l'étendue de la zone protégée sans diminuer davantage la vitesse du vent.

I.2.6. Mise en pratique du brise-vent pour la prise de son

D'après les principes que l'on a exposés dans cette partie sur le brise-vent, l'utilisation d'un brise-vent est très efficace pour la protection du microphone. Nous avons vu en effet que la réduction de la vitesse pouvait atteindre 75% environ sur une zone de 1 à 2 m, à l'aval d'un brise-vent *quasi* imperméable. En théorie, il suffit par ailleurs de surélever la base du brise-vent pour s'assurer d'une diminution de la vitesse du vent de 50% sur une distance de 8 m.

Pour réaliser ce brise-vent, on peut envisager simplement de tendre un filet (porosité importante) entre deux piquets, et multiplier le nombre de passage du filet entre les piquets jusqu'à atteindre une porosité correspondant aux besoins de mobilité du microphone.

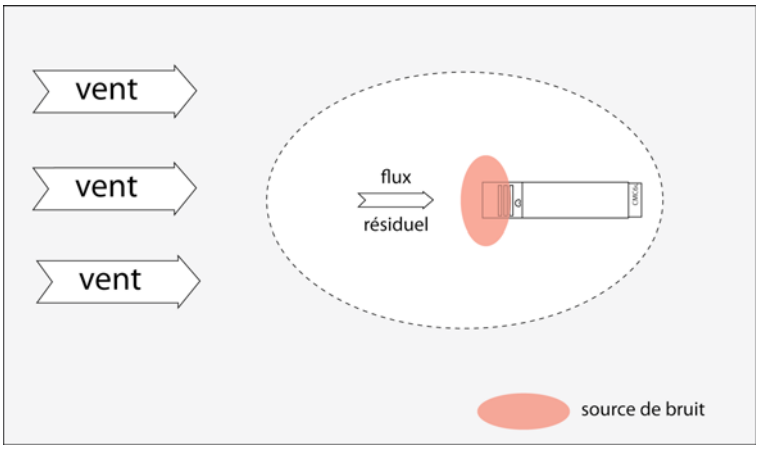
Ceci n'est sans doute pas envisageable dans la plupart des situations de tournage de fiction ou documentaire, car cela implique un temps de préparation conséquent, et surtout le dispositif pourrait gêner les passages et les lumières. En revanche, il y a sans doute un intérêt pour le cas de prises de son d'ambiance, par exemple si l'on veut enregistrer le son d'une tempête… à condition d'être opérationnel avant que la tempête ne se termine. Le parapluie (bien connu des preneurs de son pour les ambiances) est un cas particulier de brise-vent imperméable à envisager sérieusement car il a l'avantage d'être léger et mobile.

Synthèse en quelques points

- Le brise-vent imperméable offre une protection importante mais dans une zone réduite : 75% pour une distance de 1,5 m.
- Le brise-vent perméable offre une protection moins importante mais dans une zone plus étendue : 50% pour une distance de 8 m.
- On peut varier la porosité et donc augmenter l' étendue de la protection en introduisant un soufflage à la base du dispositif.
- Multiplier les brise-vent ne permet pas d'obtenir une meilleure atténuation de la vitesse du vent.

I.3. Technologie du microphone et sensibilité au vent :

Nous allons ici présenter qualitativement les différences fondamentales de comportement des différentes technologies de transducteur face au vent. Nous verrons que ces caractéristiques auront une grande importance dans le choix du matériel si le preneur de son est confronté à un vent problématique. D'autre part, il est important de prendre connaissance de ce qui suit pour comprendre le fonctionnement des protections anti-vent.



Nous développons ici des principes issus notamment des études de Jörg Wuttke (directeur technique de Schoeps), de consultants techniques de DPA, et d'entretiens avec des preneurs de son. Nous nous attacherons à constater leur existence et à les quantifier dans la pratique lors de notre étude expérimentale. Ce sera notamment l'occasion de confirmer un principe fondamental exposé dans cette partie : les microphones sont plus ou moins sensibles au vent selon la nature de leur capteur. Distinguons dès à présent les capteurs de pression et les capteurs de gradient de pression.

I.3.1. Le capteur de gradient de pression

Une grande sensibilité à la circulation d'air au voisinage de la capsule

Le principe du capteur de gradient de pression est de restituer la différence entre la pression à l'avant du diaphragme et la pression dans l'évent, à l'arrière du diaphragme. Plus la longueur d'onde est grande en regard des dimensions de la capsule, moins la différence perçue est importante. Le gradient de pression dans les basses fréquences est ainsi très faible. Pour remédier à ce manque de sensibilité dans les graves, la tension de la membrane est peu importante, et l'électronique du microphone se charge de corriger cet effet passe-haut du transducteur.

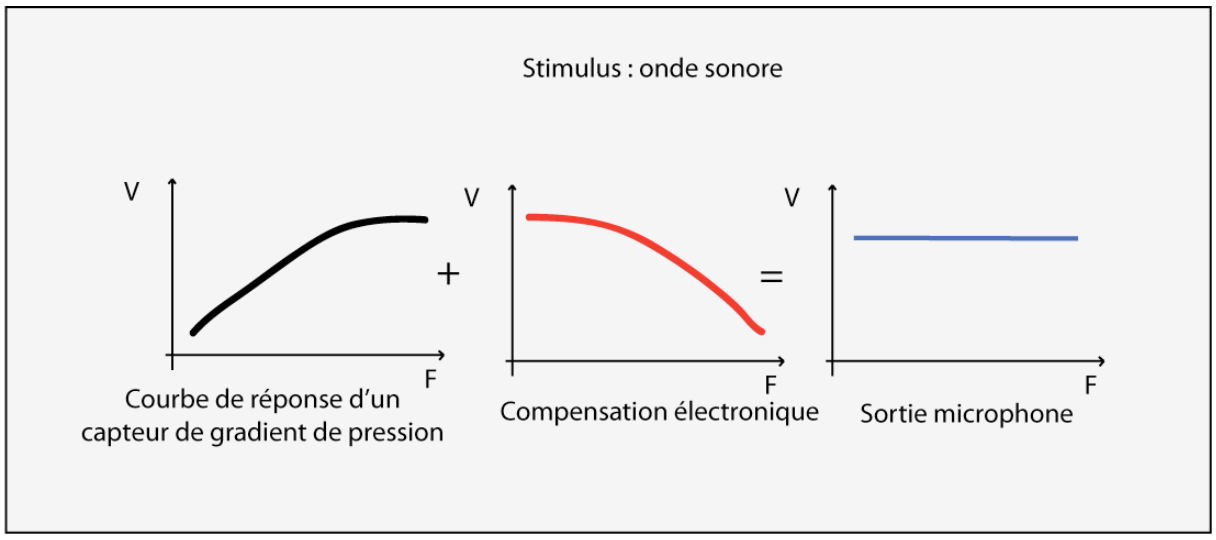


Fig. 18 : Principe de l'effet passe-haut du gradient de pression compensé par filtrage électronique.

Or, le flux d'air résiduel qui circule au voisinage de la capsule, que ce soit de façon laminaire (mouvement de perche rapide) ou bien turbulente (vent naturel), occasionne des grandes variations de pression, mais surtout complètement décorrélées entre l'avant et l'arrière du diaphragme. Ceci engendre un gradient de pression susceptible d'être très important, notamment dans les basses fréquences. L'effet est d'autant plus présent que la tension dans la membrane est peu importante, et qu'il y a dans la préamplification du microphone une correction en gain des basses fréquences.

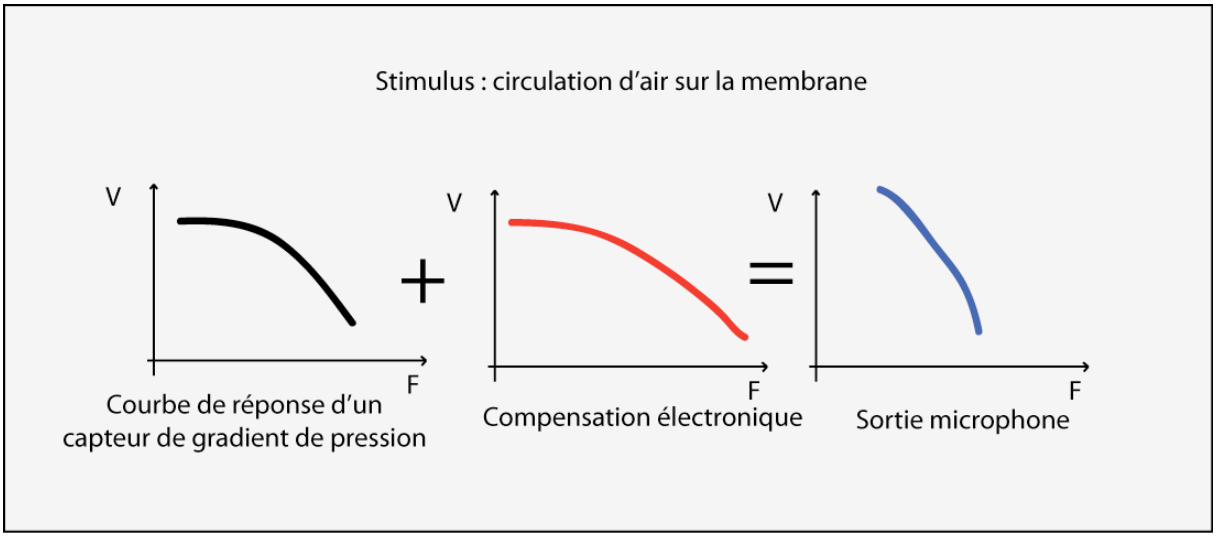


Fig 19 : Principe de favorisation des basses fréquences issues de la circulation d'air autour de la membrane.

Les microphones à forte directivité basés sur le principe du tube à interférences se comportent sensiblement de la même manière, puisque c'est toujours un gradient de pression qui est capté. La différence avec un simple capteur de gradient de pression est la directivité ajoutée par le tube à interférences. Or, cette directivité est très peu effective dans le bas du spectre, c'est-à-dire là où résident les bruits dus au vent.

L'effet de proximité et les turbulences à la surface de la bonnette

L'effet de proximité favorise la sensibilité d'un capteur de gradient de pression pour les sources qui sont considérées comme proches du capteur. Cet effet est la conséquence de ce principe de transducteur qui capte la différence de pression de part et d'autre de la membrane. Et comme cette différence de pression peut être issue d'une différence de phase (propriété qui permet d'obtenir la directivité) mais aussi d'une différence d'intensité (propriété qui est à l'origine de l'effet de proximité), la décroissance de l'énergie sonore de part et d'autre de la membrane va prendre part dans la mesure du gradient de pression :

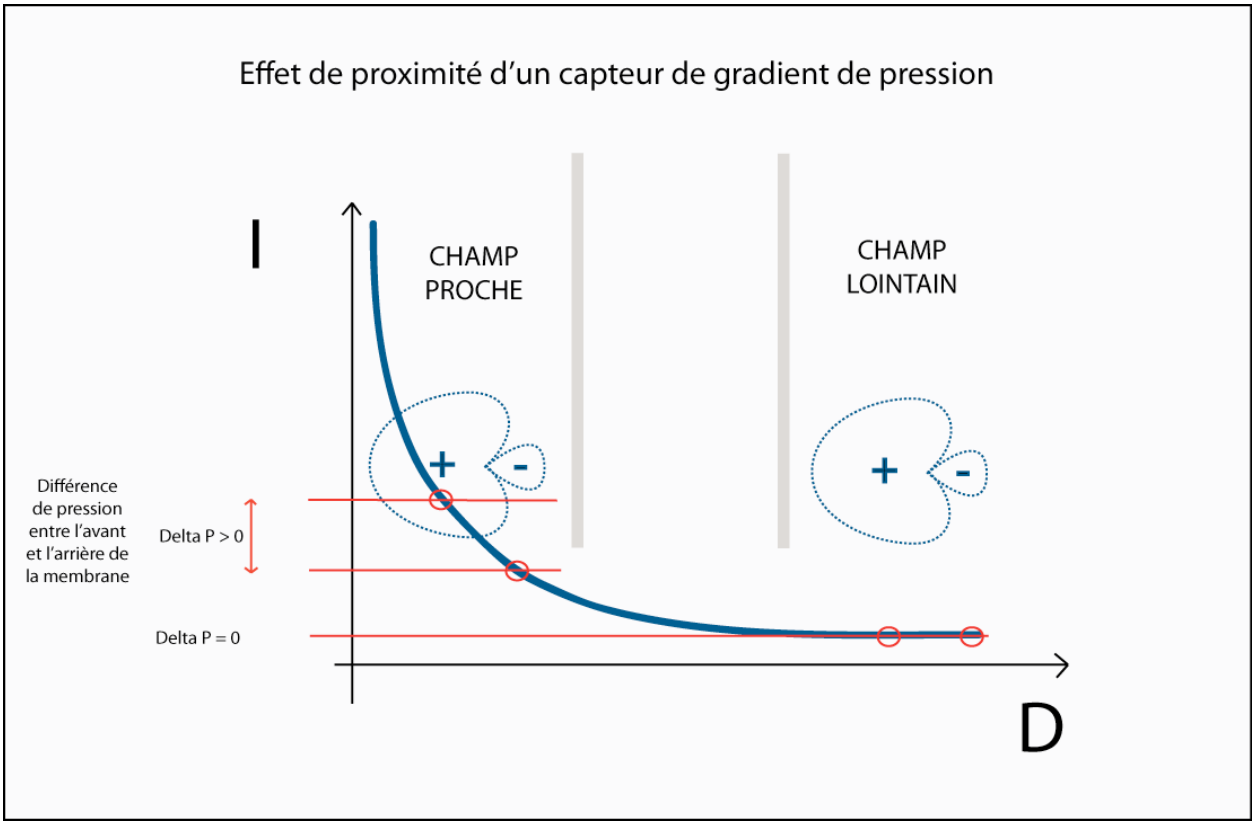


Fig. 20 : Principe du ΔI (de part et d'autre de la membrane) responsable de l'effet de proximité pour les capteurs de gradient de pression.

- En dehors de la zone de proximité, la décroissance de l'intensité de l'onde acoustique est faible. Le gradient de pression issu de la différence d'intensité sonore de part et d'autre de la membrane n'est pas perceptible.

- Dans la zone de grande proximité, la décroissance de l'intensité de l'onde acoustique est très forte. La distance entre la face avant et la face arrière de la membrane n'est plus négligeable en regard de l'atténuation naturelle de l'onde en fonction de la distance. L'amplitude de l'onde sera moins importante à l'arrière du diaphragme qu'à l'avant, introduisant ainsi une différence de pression. Plus on est près de la source, plus cette différence est importante. Si l'on considère que les turbulences générées par le heurt du vent sur la protection anti-vent constituent des sources sonores (nous développerons ce point dans la partie I.5), alors ces sources sont de l'ordre de la grande

proximité pour le capteur. L'effet de proximité est donc susceptible de favoriser le bruit de ces turbulences et augmente donc la sensibilité au vent du capteur.

Par ailleurs, ces sources sonores présentent la particularité d'être de très petite dimension (inférieure aux dimensions de la bonnette) par rapport à la longueur des ondes qu'elles émettent (30 Hz correspond environ à une longueur d'onde de 10 m, et 300 Hz correspond à environ 1 m…). Nous développerons ce point dans la partie I.5. Ce sont donc *a priori* des sources sonores dites « évanescentes », et leur énergie ne décroît donc pas en fonction du carré de la distance, mais de façon exponentielle. La zone de proximité se trouve réduite, mais la décroissance de l'énergie sonore est très forte et l'effet de proximité est d'autant plus important. On peut donc remarquer ici l'importance fondamentale de l'éloignement entre la surface de la bonnette et la capsule dans le cas d'un capteur de gradient de pression.

Directivité et sensibilité au vent

Les différents degrés de directivité sont obtenus en variant la part de gradient de pression dans le capteur.
La directivité bidirectionnelle, par exemple, est issue d'un capteur de gradient de pression pur, et la grande sensibilité à la circulation d'air et aux ondes engendrées par les turbulences à proximité est donc pleinement effective pour un microphone de cette nature. Situé à l'opposé dans la famille des microphones directifs, le microphone infracardioïde n'a qu'un très faible degré de gradient de pression, et la sensibilité au vent sera ainsi réduite : *a priori*, plus le capteur a une directivité forte, et plus la sensibilité au vent sera grande.

I.3.2. Les microphones omnidirectionnels

A contrario des microphones à gradient de pression, les microphones omnidirectionnels sont seulement sensibles aux variations de pression sur la face avant de la capsule. La confrontation entre la pression due à la circulation d'air, et la pression due à une source purement acoustique, est alors différente : l'énergie finalement captée est plus volontiers d'origine acoustique (tout dépend évidemment de l'importance des deux phénomènes).

En effet, pour un capteur de pression, il n'y a pas de problème de décorrélation des fluctuations basses fréquences entre l'avant et l'arrière de la membrane, ni d'effet de proximité.

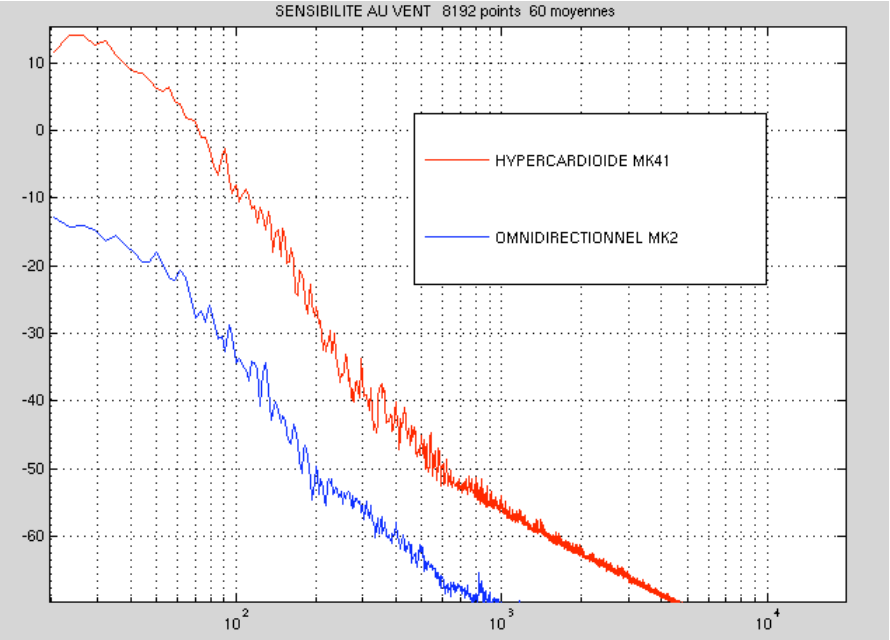


Fig. 21: Courbes représentant le bruit généré par un vent faible sur deux types de microphones non protégés: en rouge un hypercardioïde et en bleu un omnidirectionnel. Figure issue des résultats de la partie expérimentale.

I.3.3. Les microphones dynamiques

Les microphones dynamiques sont peu sensibles aux basses fréquences. De plus, ils intègrent souvent une protection anti-vent intégrée autour du diaphragme. Ce qui les rend à priori moins sujets aux problèmes de vent. Par ailleurs, le caractère non linéaire du déplacement de leur équipement mobile suspendu a un effet naturel de compression des forts niveaux. La présence éventuelle de grande énergie que le vent

peut occasionner dans les infrabasses, aura moins tendance à saturer l'électronique de la chaîne de captation.

I.3.4 Les microphones miniatures pour transmission sans fil

Les capteurs miniatures utilisés le plus souvent sur les tournages de cinéma sont de nature omnidirectionnelle. Ils sont donc par conséquent peu sensibles au vent.
Le souci de dissimulation du capteur fait qu'ils sont le plus souvent utilisés sans protection au vent, et enfouis dans le costume du comédien. S'ils sont utilisés en apparent, en utilisant leur petite taille associée à une valeur de plan suffisamment grande, leur exposition à une circulation d'air est évidemment potentiellement plus importante.

Que ce soit dans l'un ou l'autre des cas, l'utilisation d'une protection anti-vent est rendue très difficile car elle augmente la visibilité du dispositif. De plus, ajouter une coiffe miniature pour augmenter la protection a tendance à augmenter le bruit des frottements contre les costumes. L'utilisation de ce type de capteurs est par conséquent rendue périlleuse puisqu'on ne dispose pas de la possibilité d'augmenter la protection.

I.3.5. Le cas particulier des microphones de surface

Ces microphones sont constitués notamment d'un capteur de pression fixé sur une plaque destinée à être posée sur une surface. La directivité ainsi obtenue est hémisphérique. Il est rare d'être confronté sur un plateau de cinéma à un cas de figure où la mise en place d'un tel microphone est possible. Si c'est cependant le cas, on pourra bénéficier à la fois d'une directivité hémisphérique et d'une sensibilité au vent réduite.

I.3.6. Résonance du corps du microphone

La sensibilité au vent pour un microphone intervient également au niveau de la susceptibilité de l'objet à résonner. L'ensemble de l'appareil microphonique constitue en effet une prise au vent. Sa surface est par conséquent susceptible de devenir le lieu d'une excitation vibratoire. La tendance du corps du microphone à vibrer devient une source de bruit puisqu'il est fixé plus ou moins solidairement à la capsule. Il apparaît alors important que le microphone soit le moins sensible à une excitation vibratoire, et que sa capsule soit découplée au maximum du corps.
Les microphones de type canon et semi-canon sont potentiellement plus faibles de ce point de vue puisque leur masse est peu importante en regard de leurs dimensions, et auront *a priori* moins tendance à résonner.

I.3.7. Du point de vue du conditionnement du signal électrique

Les analyses spectrales indiquent clairement que l'énergie perçue par le microphone, lorsqu'il est soumis à du vent, se situe très largement en basse fréquence (voir fig.21). Si l'on ne parvient pas à réduire suffisamment ces interférences avant qu'elles ne soient transmises sous forme électrique, il devient nécessaire de les filtrer.
Il est préférable d'effectuer le plus tôt possible cette correction. Certains étages électroniques pourraient en effet être soumis à une très grande énergie dans les basses et infrabasses, ce qui entraînerait une saturation. La distorsion résultante interviendrait de fait dans le domaine des fréquences audibles. Certains microphones et certains étages d'entrée acceptant une dynamique tout juste dimensionnée sont plus sensibles à ces problèmes. Une solution envisageable est de placer un filtre passe-haut à forte pente avant même le préamplificateur du microphone si le microphone le permet, ou

bien avant l'étage d'entrée de la console ou de l'enregistreur. Un tel filtre nécessite une alimentation, qui est notamment disponible dans les microphones statiques et dans leur câble.

I.3.8. Conclusion

Le problème du vent apparaît donc notamment comme fonction de la technologie du microphone :
La susceptibilité au microphone de résonner semble être un des critères à prendre en compte. Si le phénomène gênant n'a pas pu être neutralisé, le reste de la chaîne de captation (préamplificateurs du microphone et des étages d'entrée) doit être suffisamment dimensionné pour ne pas surcharger l'électronique. Il est ensuite nécessaire d'opérer un filtrage.

Mais la sensibilité au vent du microphone apparaît avant tout comme fonction de sa directivité : théoriquement, plus le capteur a une directivité prononcée et plus la sensibilité au vent est grande. Il semble donc que la volonté de se prémunir des problèmes de vent peut avoir des conséquences importantes sur la manière d'envisager la captation d'une séquence, puisque cela concerne notamment le choix du microphone. La question est valable tant du point de vue de la prise de son de dialogues (la directivité est importante dans la notion de cadrage du son), que de la prise de son d'ambiances stéréos ou multicanales (l'angle de prise de son est notamment dépendant de la directivité des microphones).
Il serait utile de quantifier l'évolution de la sensibilité au vent en fonction de la directivité.

Synthèse en quelques points

 Les microphones à gradient de pression sont sujets à une forte sensibilité au vent, ceci étant dû à la fois :

- à l'effet de proximité qui favorise la captation du bruit des turbulences à la surface de la bonnette.
- à la compensation électronique passe-bas dans le préamplificateur et à la tension moindre de la membrane, qui favorisent la captation des variations de pression issues de la circulation d'air autour de la capsule.

 Les microphones à capteur de pression sont moins sensibles au vent.

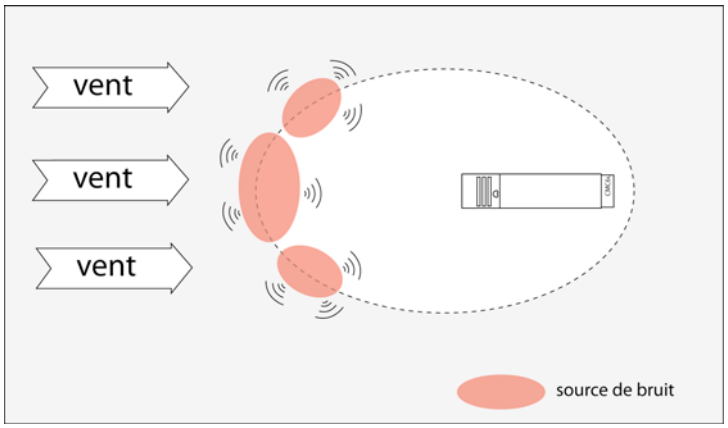
 Le degré de directivité du microphone détermine sa sensibilité au vent.

 La distance de la capsule à l'enveloppe a une grande influence sur la sensibilité au vent du microphone, particulièrement pour un capteur de gradient de pression (effet de proximité).

I.4. Les accessoires de protection anti-vent :

Nous ne faisons dans cette partie qu'une présentation qualitative des différents aspects des accessoires de protection anti-vent. Les tests comparatifs de la partie expérimentale du mémoire permettront de compléter quantitativement cette étude.

I.4.1 La protection, génératrice de bruit



Le but de ces protections est de neutraliser la source de bruit dont nous avons discuté précédemment dans la partie sur la technologie des transducteurs (flux d'air au contact de la membrane). Il est relativement aisé, en appliquant la protection, de réduire sensiblement la présence de ce souffle d'air sur la membrane. En revanche, le bruit issu des turbulences à la surface de l'enveloppe reste présent. La protection engendre elle-même du bruit, par le frottement de l'air sur l'enveloppe et par l'agitation propre des turbulences, ce que nous développerons dans la dernière partie du préalable théorique. Ce bruit est produit à une très faible distance de la capsule.

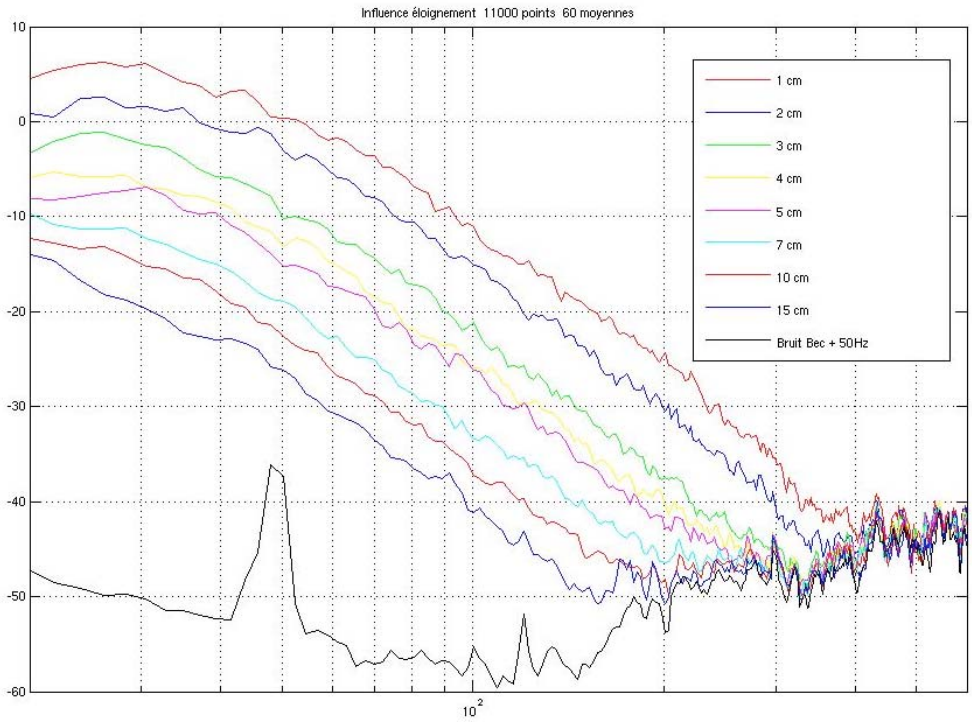


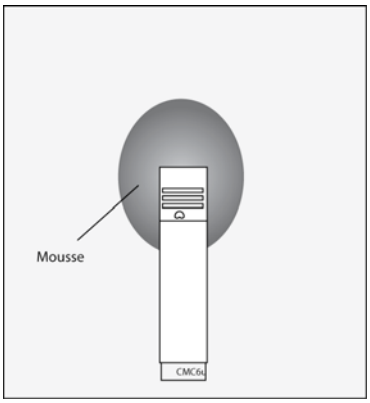
Fig. : Evolution du bruit perçu par une capsule cardioïde en fonction de son éloignement à l'enveloppe. Vent soufflé par un bec. D'après Philippe Chenevez.

<u>Note :</u> Cette figure montre l'augmentation du bruit lorsque l'on se rapproche de l'enveloppe. Cependant on ne sait pas si ce bruit est d'origine uniquement aéroacoustique (bruit des turbulences) ou bien s'il intègre également le bruit issu du flux d'air résiduel sur la membrane. Il serait pertinent de chercher à mesurer la part purement acoustique du bruit et la part de heurt du flux d'air sur la membrane dans la création du bruit.

La forme de la protection devra minimiser l'existence de ces turbulences apportées par le heurt du vent sur la bonnette. Sa taille devra accroître la distance entre la capsule et la source de bruit existant tout autour de la protection (mais plus la taille est grande et plus la prise au vent est importante…). Et enfin sa matière devra si possible absorber le maximum d'énergie turbulente de l'air. Il apparaît donc clairement que l'efficacité d'une protection va être fonction de sa matière, de sa forme, et de sa taille. Ces trois paramètres devront participer à la minimisation de la source de bruit, en introduisant le minimum de détimbrage, et en préservant au mieux la directivité éventuelle du capteur. Les constructeurs nous proposent différents types d'accessoire pour réduire la sensibilité au vent des microphones. Plusieurs stratégies de protection sont ainsi mises

en oeuvre. Nous verrons, en théorie, comment les protections agissent, et quelles influences peuvent-elles avoir sur la réponse du microphone équipé.

I.4.2. Les mousses pleines



La plus simple et la moins coûteuse des solutions consiste à fixer une mousse directement sur la capsule du microphone.

La mousse est constituée de petits volumes d'air plus ou moins enclos, qui protègent la capsule du flux direct de l'air. L'onde acoustique se propage de proche en proche alors que la circulation d'air est empêchée par la fine séparation entre les petits volumes, ou est tout au moins freinée par le trajet qu'impose le labyrinthe constitué par les pores de la mousse.

La mousse pleine n'est adaptée qu'à des faibles vitesses de vent, et pour un microphone à capteur de pression. La protection devient en effet vite insuffisante devant les problèmes que rencontrent les microphones à gradient de pression (grande sensibilité à la circulation d'air de part et d'autre de la membrane, et effet de proximité susceptible de favoriser le bruit des turbulences). En effet, les petites dimensions de la mousse n'éloignent qu'un peu la capsule de la surface de la protection où résident les turbulences.

De plus, ces turbulences occasionnent un frottement sur la mousse qui devient alors conductrice de vibrations. La mousse est donc susceptible de devenir une source de bruit supplémentaire par transmission vibratoire sur le corps du microphone.

<u>Directivité :</u>

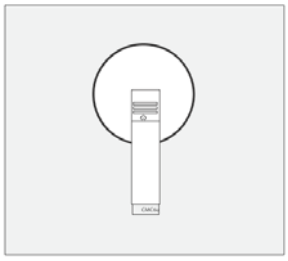
Pour savoir si la mousse pleine est susceptible de changer la directivité, observons ce que la protection apporte comme modification pour le capteur de gradient de pression :

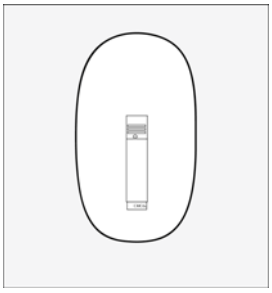
La mousse est presque au contact de la face avant de la membrane, alors qu'il subsiste une cavité à l'intérieur du microphone en arrière de cette membrane. Le milieu de propagation à l'avant et à l'arrière du diaphragme n'est par conséquent pas le même : il y a désadaptation d'impédance, ce qui se traduit inévitablement par une perturbation du capteur de gradient de pression. La directivité est donc *a priori* affectée.

Détimbrage :

Le labyrinthe acoustique que constituent les pores de la mousse occasionne un filtre passe-bas. Son effet dépend de la densité de la mousse et de son épaisseur. L'homogénéité de la matière et la petite dimension des pores évitent cependant tout comportement de type résonances et réflexions. Le filtrage se traduit donc *a priori* par une atténuation progressive dans les aigus. On peut envisager de la compenser électroniquement.

I.4.3. Les cages





Une structure équipée d'une enveloppe englobe tout ou partie du microphone. L'enveloppe constitue une paroi qui a une impédance suffisamment faible pour transmettre les ondes acoustiques, mais suffisamment importante pour gêner le flux d'air.

Une forme aérodynamique peut être utilisée pour minimiser la création des turbulences et réduire la prise au vent. La sphère est théoriquement le volume le mieux adapté pour toutes les directions de vent possibles. Cependant, la forme des

microphones impose souvent d'utiliser une géométrie cylindrique, car les contraintes d'encombrement et d'ergonomie ne permettent pas d'enclore l'intégralité du microphone par une sphère de rayon supérieur à la longueur du microphone.

L'effet chambre de pression

L'enveloppe constitue un volume clos autour de la capsule. Ce volume se comportant comme une *chambre de pression* pour les fluctuations basses fréquences du vent, celles-ci évoluent de façon homogène à l'intérieur de ce volume. Les variations de pression basse fréquence autour de la capsule sont égalisées entre la face avant et la face arrière de la membrane. Équipés d'une bonnette de type cage, les microphones à capteur de gradient de pression sont donc moins sensibles à ces variations de pression.

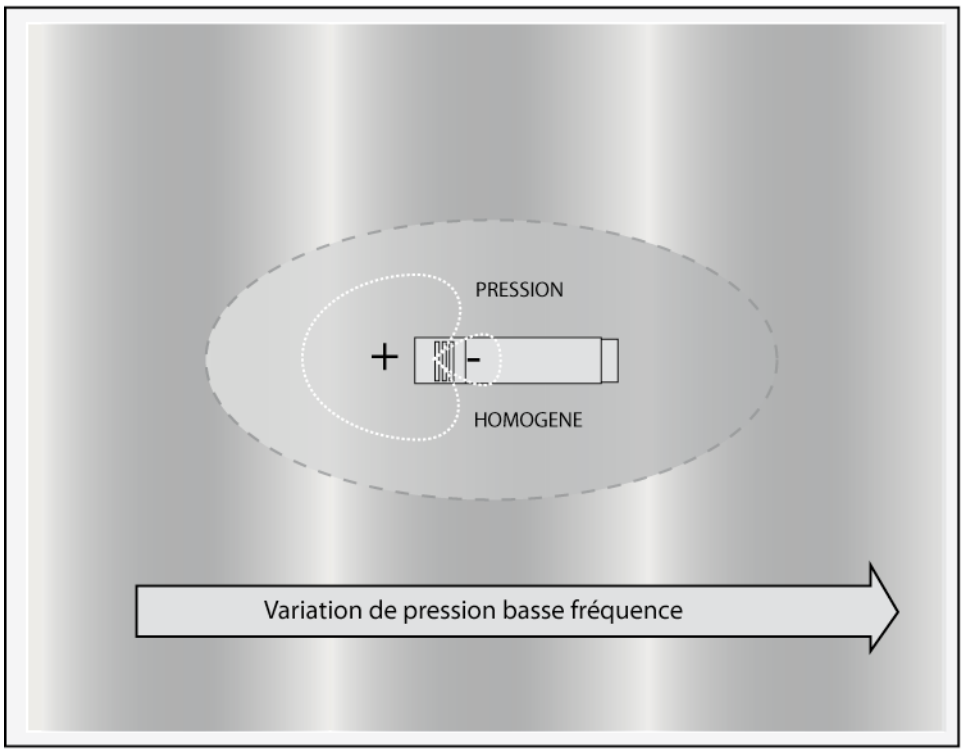


Fig. 21 : Principe de la chambre de pression : homogénéisation de la pression à l'intérieur de la cage.

Diminution de l'effet de proximité

Par ailleurs, l'éloignement de la capsule avec l'enveloppe diminue sa sensibilité vis-à-vis des turbulences de surface. Chaque centimètre gagné entre la capsule et la surface de la protection permet de minimiser l'effet de proximité dont un capteur de gradient de

pression est particulièrement sensible. La taille de la bonnette joue donc un rôle important dans la protection au vent.

Adaptation du niveau de protection en fonction de la vitesse du vent

Si la source de bruit est très importante, la structure de la cage offre la possibilité d'ajouter une coiffe en fourrure synthétique. Cela pour absorber les turbulences de l'air à la surface de la bonnette par la transformation de leur énergie en énergie mécanique qui agite les poils.

Directivité :

L'effet chambre de pression diminue l'impact des effets du vent sur le microphone directif, mais il agit aussi malheureusement sur les variations de pression des ondes acoustiques. Une perte de directivité accompagnée d'une perte de niveau dans l'axe apparaît donc pour les basses fréquences. Nous tenterons de vérifier et de quantifier ce phénomène à l'occasion des mesures de la partie expérimentale.

Détimbrage :

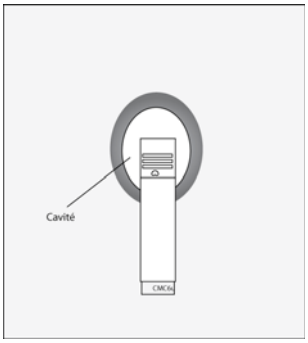
Dans les hautes fréquences, la bonnette n'est plus petite en comparaison des longueurs d'ondes acoustiques, donnant lieu à des résonances qui modifient le champ acoustique. Plus la cage est petite et plus le détimbrage sera effectif car le volume d'air enclos autour de la capsule du microphone aura tendance à modifier l'impédance acoustique vue par la membrane. L'augmentation du nombre de couches de l'enveloppe ne peut aller aussi que dans le sens d'une dégradation du champ acoustique.

Accumulation de cages

Certains constructeurs et certains opérateurs du son utilisent l'effet cumulé de plusieurs cages. Du point de vue de la réduction du souffle d'air sur la membrane et de

l'homogénéisation de la pression de part et d'autre de la membrane, on aura ainsi une meilleure efficacité. En contrepartie, la perte de directivité et le détimbrage sont alors accentués. Des études menées à l'INA ont montré que d'un point de vue perceptif dans le cas de la protection au vent, on ne gagne pas forcément à rechercher à tout prix une courbe de réponse plate. Le cumul des filtrages dans les aigus dû à la superposition des cages (possibles compensations accidentelles des résonances et anti-résonances) associé à un filtrage dans les basses peut ne pas être « gênant » pour un auditeur.

I.4.4. Les mousses à cavité



Les protections en mousse évidées fonctionnent selon les principes combinés des cages et des mousses. La cavité permet effectivement d'utiliser des microphones à gradient de pression grâce à l'effet de chambre de pression en équilibrant les fluctuations basses fréquences entre l'avant et l'arrière de la membrane. Comme dans le cas des cages, cet effet va malheureusement tendre à diminuer la directivité du microphone.
L'autre avantage vient de la nature de la paroi qui tend à minimiser les réflexions à l'intérieur de la bonnette, et donc la création de modes propres.
La protection aux bruits de vent est cependant limitée par les dimensions de ce type de protection qui deviennent vite insuffisantes pour diminuer le bruit favorisé des turbulences de surface par un microphone à gradient de pression.

I.4.5. Une mousse pleine dans une cage : l'effet chambre de pression est brisé

À l'intérieur de la cage et en dehors de la mousse, on a toujours une variation de pression homogène pour les fluctuations basses fréquences (effet chambre de

pression). Mais si l'on s'intéresse à ce qui se passe autour de la capsule, on s'aperçoit que la mousse pleine occasionne des différences d'impédance acoustique vues de part et d'autre de la membrane (voir paragraphe sur les mousses pleines). Un gradient de pression est ainsi créé et restitué par le microphone sous la forme d'un signal sonore… L'utilisation d'une mousse pleine à l'intérieur d'une bonnette de type cage affaiblit donc la protection au vent dans le cas d'un microphone à gradient de pression.

Synthèse en quelques points

- Les protections en mousse pleine sont adaptées aux microphones à capteur de pression.
- Les protections en mousse pleine introduisent une atténuation progressive des aigus.
- L'effet chambre de pression occasionné par une cavité autour de la capsule favorise la protection des microphones à gradient de pression.
- Les protections de type cage permettent d'éloigner la capsule du microphone des sources de bruit aéroacoustiques (turbulences de l'air à la surface de la protection).
- Les protections de type cage occasionnent dans les hautes fréquences des phénomènes de réflexions et de résonances susceptibles de modifier irrégulièrement le camp acoustique capté par le microphone.
- Si le volume de la cage est très petit, une modification de l'impédance vue par la membrane apparaît, et est donc susceptible de modifier la réponse du microphone.
- Les protections en mousse à cavité sont adaptées aux microphones à gradient de pression et minimisent les résonances.
- L'association d'une mousse dans une cage nuit à la protection d'un microphone à gradient de pression.

I.5. Considérations aéroacoustiques

Nous allons à présent donner une simple description des phénomènes générateurs de bruit lorsque le vent vient à heurter la bonnette. Pour cela nous allons présenter quelques principes issus de recherches menées actuellement dans ce domaine.

Introduction :

Une variation de pression (émission sonore) peut provenir de la pulsation d'un corps solide vibrant (cas typique du haut-parleur), mais il peut être également occasionné à l'intérieur même d'un fluide par des déplacements rapides des portions de fluide de densités différentes.

C'est ainsi que les décrochements et oscillations périodiques des tourbillons dans le sillage d'un fil raide produit un sifflement modulé par la vitesse du vent. Ce phénomène peut s'entendre couramment à proximité de câbles électriques, structures métalliques, cordages de bateau…

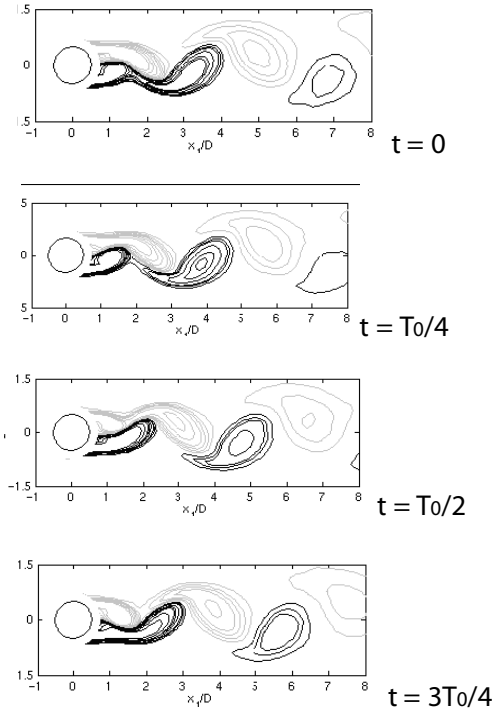


Fig. 22 : Phénomène périodique de lâchers tourbillonnaires derrière un cylindre.

Dans le cas qui nous occupe, les turbulences engendrées par le heurt du vent sur la surface de la protection ne sont pas régies par des mouvements réguliers. Les tourbillons n'oscillent donc pas de façon périodique, mais de façon désorganisée. Ils naissent, se meuvent et meurent, à des positions et à des occurrences complètement éparpillées. Il résulte de cette agitation désorganisée du bruit large spectre, dont l'énergie est plutôt située dans les basses fréquences.

I.5.1. L'origine du bruit

Les recherches scientifiques dans le domaine des bruits d'origine aérodynamique portent principalement sur des cas où le flux de l'air est plus ou moins connu et confiné, et qu'il atteint des vitesses supérieures à celles qui nous concernent dans le cadre de ce mémoire. Il est de plus très difficile d'analyser et de modéliser les phénomènes en jeu. On ne pourra donc pas bénéficier ici d'une description scientifique rigoureuse du problème, mais seulement de quelques précisions facilitant la compréhension des phénomènes.

Les bruits d'origine aérodynamique se divisent en deux familles. La première famille, l'aéroélasticité, regroupe les mécanismes liés au rayonnement acoustique de la structure excitée par les fluctuations de l'écoulement autour de l'équipement. Il s'agit d'une problématique vibratoire. Si la protection anti-vent n'est pas suffisamment isolée mécaniquement du microphone, ces vibrations peuvent être perçues par la capsule.

La seconde famille, l'aéroacoustique, concerne l'évaluation du rayonnement acoustique produit par l'écoulement turbulent. Ce rayonnement est ensuite transmis à l'intérieur de l'enveloppe par la transparence acoustique de ses parois. Plus un écoulement est perturbé, fluctuant, plus il est susceptible de produire un rayonnement aéroacoustique fort.

A priori, le bruit perçu par le microphone intègre à la fois les bruits d'origine aéroélastique et les bruits d'origine aéroacoustique. Il est donc très difficile d'identifier la source principale de bruit, et même les gammes de fréquences sur lesquelles l'une ou l'autre est dominante.

Pour approcher les phénomènes mis en cause, on peut s'intéresser au cas particulier d'un cylindre plongé dans une veine d'air. Il est à noter que ce cas particulier est propice à l'établissement de formes dans les écoulements (sillage tourbillonnaire périodique), et donc d'une densité spectrale du bruit relativement localisée. *Hypothèse :* les protections anti-vent offre moins volontiers de cas de figure remarquable, car les bonnettes sont rugueuses et pas nécessairement cylindriques, mais surtout, le vent naturel est très turbulent. Ces deux points sont favorables à une agitation plus désorganisée que celle occasionnée par un écoulement dirigé sur un cylindre. Ce désordre dans les écoulements se traduit *a priori* par un bruit moins localisé en fréquence, et par une intensité sonore moins importante. Le cas particulier du cylindre introduit dans une veine de vent semble cependant tout à fait utile pour dégager les principes du problème qui nous occupe.

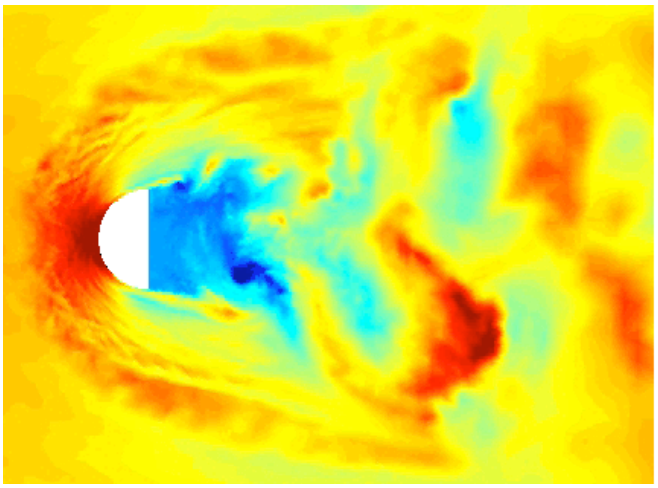


Fig. 26 – Illustration du champ de pression instantané. Cas du demi-cylindre plongé dans une veine d'air. D'après Perot, 2004.

I.5.2. Topologie des écoulements autour d'un cylindre plongé dans une veine d'air

Les propriétés de l'écoulement autour d'un objet cylindrique lisse sont principalement régies par deux quantités sans dimension, le nombre de Mach et le nombre de Reynolds. Le premier se définit comme le rapport de la vitesse moyenne U de l'écoulement et de la vitesse du son C du milieu (air, eau...), tel que M = U/C. Il permet ainsi de quantifier l'influence des effets compressibles sur le fluide.
Le second quantifie quant à lui l'influence des forces visqueuses par rapport aux forces inertielles sur le fluide (voir partie 1.1a) et s'écrit Re = (U x D) / ν , D étant une dimension caractéristique du système (dans le cas du cylindre son diamètre), et ν la viscosité cinématique du fluide.
La variation des nombres de Reynolds et de Mach influence de nombreuses grandeurs physiques et paramètres comme la fréquence des lâchers tourbillonnaires, la présence ou non de structures cohérentes dans les couches de cisaillement, l'évolution de la position du point de décollement, l'épaisseur de la couche limite, la longueur de la zone de transition, les coefficients de traînée et de portance...

<u>Détermination du nombre de Mach et de Reynolds dans le cas de la bonnette anti-vent :</u>

Dans le cas des écoulements d'air sur une bonnette anti-vent, le nombre de Mach est très faible et ses variations sont complètement négligeables dans la caractérisation des écoulements. En prenant une vitesse de vent de 10 m/s *-36 Km/h-* on trouve :

$$M = 10^{-2}$$

Cette très faible valeur du nombre de Mach permet en pratique de considérer l'air comme un fluide incompressible, et de simplifier ainsi les équations décrivant la dynamique des fluides.

En prenant une valeur de vitesse d'écoulement moyenne du vent de 3 m/s – *11 Km/h* – (ce qui correspond à la vitesse d'un vent déjà générateur de bruit à la surface de la bonnette), une dimension caractéristique de 30 cm (ce qui correspond aux dimensions moyennes des bonnettes de type cage), on détermine ainsi le nombre de Reynolds qui va nous permettre de caractériser approximativement les écoulements autour de la bonnette.

On trouve : $Re = 6.10^{4}$

Ordres de grandeur du nombre de Reynolds pour différentes dimensions de bonnettes et dans des conditions de vent probables en tournage :

Re .10 ^{4}	3 m/s *- 11 Km/h -*	5 m/s *- 18 Km/h -*	8 m/s *- 30 Km/h -*	10 m/s *- 36 Km/h -*
5 cm	1	1,5	2,5	4
10 cm	2	3	5	7
30 cm	6	10	16	20

L'ordre de grandeur du nombre de Reynolds reste le même, quelles que soient les dimensions des bonnettes et quelle que soit la vitesse du vent. On peut donc considérer que le cas de la bonnette dans le vent naturel correspond à un nombre de Reynolds de 10^{4}.

Evolution des formes des écoulements en fonction du nombre de Reynolds :

Pour aider à la caractérisation des phénomènes physiques dans les écoulements, on distingue schématiquement des encadrements du nombre de Reynolds, qui

correspondent à des régimes d'écoulement différents. Puisque le bruit aéroacoustique est fonction notamment du niveau de turbulence, l'étude des écoulements autour d'un obstacle cylindrique peut nous aider à préciser les phénomènes aérodynamiques générateurs de bruit dans le cas de la bonnette anti-vent.

Description des écoulements d'air en régime critique et transcritique, à l'aval d'un cylindre plongé dans une veine d'air (d'après Perot, 2004) :

• Pour un nombre de Reynolds compris entre 180 et 1200 - Régime critique

Le sillage est turbulent de plus en plus près du point de décollement à mesure que le nombre de Reynolds augmente. Pour des nombres de Reynolds situés autour de Re = 100, la transition semble être due aux développements de motifs. Pour des nombres de Reynolds plus importants (Re > 300), la transition est due à un état saturé non linéaire d'un mode d'instabilité absolue de l'écoulement, causé par l'étirement des filaments tourbillonnaires[5]. Des filaments de vorticité sont ainsi déformés par une instabilité tridimensionnelle et engendrent la formation de vorticité longitudinale. Les structures de petites échelles sont de plus en plus nombreuses et désordonnées, même si les tourbillons de Karman restent extrêmement bien visibles. L'écoulement peut finalement être décrit comme étant la superposition d'un motif cohérent (les allées de Karman) à un système chaotique (les fines structures 3-D).

Bloor en s'intéressant au problème de transition vers la turbulence du sillage d'un cylindre, définit une longueur de transition en aval du cylindre qui correspond à la distance nécessaire aux instabilités pour s'amplifier et former des structures de tailles variables. Une étude par anémométrie à fil chaud de cette zone de transition, très courte, de l'ordre de 1D pour ce régime fait émerger deux propriétés importantes :

1- Les instabilités qui produisent les allées de Karman sont 2-D.

2- Des oscillations basses fréquences à bas nombre de Reynolds présentes dans la zone de transition sont associées à un caractère tridimensionnel du sillage et sont éventuellement une source importante de turbulence.

• *Pour un nombre de Reynolds supérieur à $3x10^6$ - régime transcritique*

Les couches limites sont turbulentes dès le point d'arrêt. On considère l'écoulement comme totalement turbulent et la détection de structures est surprenante.

En conclusion, une augmentation du nombre de Reynolds d'un état complètement laminaire jusqu'à un état transcritique est équivalente à un rapprochement de la transition laminaire/turbulente près du point d'arrêt.

Visualisation de l'évolution des écoulements pour quelques valeurs de Reynolds :

La Fig.23 nous montre l'évolution des écoulements pour quelques valeurs de Reynolds. On trouve dans les faibles nombres de Reynolds des formes remarquables qui sont dues à la prépondérance des forces de viscosité (voir partie 1.1.a) . Des structures cohérentes bien connues appelées « allées de Von Karman » apparaissent à l'aval de l'obstacle. Elles sont de moins en moins reconnaissables au fur et à mesure que Re croît.

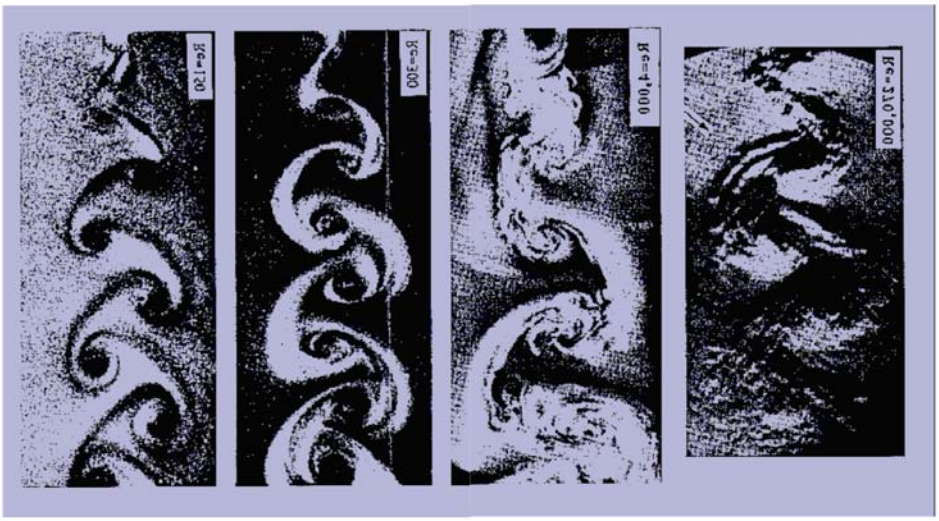


Fig. 23 : Allure du sillage d'un cylindre à nombre de Reynolds croissant (de gauche à droite : Re=150 ; 300 ; 4000 ; 270000), d'après WIlliamson.

D'après l'encadrement des valeurs de Reynolds correspondant au cas de la bonnette, la forme des écoulements autour de la protection anti-vent se situe entre le troisième et le quatrième cas de la figure 23.

Fréquence du lâcher tourbillonnaire :

La figure 24 montre que la fréquence du lâcher tourbillonnaire évolue linéairement en fonction de la vitesse du flux d'air. On remarque d'autre part que d'après ces résultats expérimentaux, il faut une vitesse de vent de 20 m/s *-72 Km/h-* pour que la fréquence du lâcher tourbillonnaire soit dans le domaine audible.

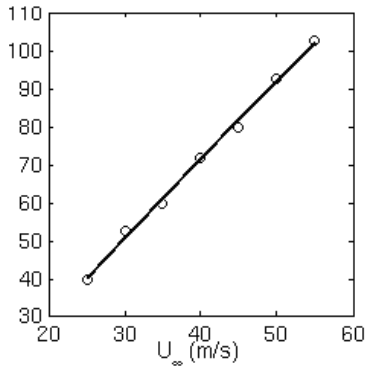


Fig. 24 : Représentation de l'évolution de la fréquence du lâcher tourbillonnaire en fonction de la vitesse de l'écoulement. Avec en abscisses la vitesse en m/s de l'écoulement de l'air U ; et en ordonnées la fréquence en Hz du lâcher tourbillonnaire. D'après Perot, 2004.

I.5.3. Bonnette anti-vent et bruit aéroacoustique :

Si on admet que l'étude des écoulements autour d'un cylindre permet d'approcher les phénomènes générateurs de bruit dans le cas de la bonnette anti-vent, alors on peut en déduire les propriétés suivantes :

- Le nombre de Reynolds caractérisant les écoulements d'air autour de la bonnette étant de l'ordre de 10^4, le régime d'écoulement s'approche donc du régime transcritique, mais conserve une large part des caractéristiques du régime critique. Nous sommes donc *a priori* en présence d'une forte turbulence (effet des forces inertielles) dans laquelle peuvent cependant subsister des formes remarquables comme les allées de Karman (effet des forces visqueuses).

- Les décrochements successifs des tourbillons de Karman ont une fréquence caractéristique *a priori* inaudible puisque située, dans des conditions de tournage raisonnables, dans le domaine des infra-basses (voir fig.24). Il faudrait en effet une vitesse du vent proche de 20 m/s *-72 km/h-* pour atteindre une fréquence de 30 Hz.

- D'autre part, plus la turbulence est forte, plus la formation des tourbillons est affaiblie par des écoulements désordonnés (voir fig.23), et plus ces écoulements sont susceptibles de générer du bruit large bande dans les basses fréquences.

- Puisque les écoulements de type tourbillons de Karman ont une fréquence caractéristique inaudible pour des vitesses de vent courantes, c'est donc *a priori* l'aspect turbulent de l'écoulement qui constitue la source aéroacoustique autour de la bonnette anti-vent.

I.6. Conclusion du préalable théorique

Nous avons cherché, dans ce préalable théorique, à traiter la problématique de la protection au vent des microphones d'une façon plus générale que de l'unique point de vue des bonnettes anti-vent : le freinage du vent où doit se situer le microphone a été intégré à la problématique de la protection.

Il a fallu tout d'abord dresser un rapide portrait des principes aérodynamiques, pour chercher à caractériser le vent. Nous avons pu alors déterminer de façon théorique que le vent subissait un freinage sous l'influence du sol, et que le profil de vitesse était de type logarithmique. Nous avons pu constater que des relevés de vitesse de vent sur le terrain corroboraient cette loi de décroissance. Nous avons aussi introduit la notion de rugosité du sol et des conséquences que celle-ci avait sur la vitesse du vent.
Nous avons pu constater également, à partir de raisonnements théoriques et de relevés expérimentaux, que le brise-vent pouvait être un moyen envisageable de protéger le microphone du preneur de son, dans certaines configurations de travail. Ses effets sur la vitesse du vent ont été décrits et quantifiés, de façon à pouvoir mettre en pratique cette possibilité de protection.

Du point de vue du microphone lui-même, nous avons tenté de décrire les phénomènes responsables de la perception de bruit de vent pour les différents types de transducteurs. Il est apparu notamment que les microphones à gradient de pression étaient, à double titre, plus sensibles au vent que les capteurs de pression. En partant de cette différentiation fondamentale des capteurs de pression et des capteurs de gradient de pression, nous avons évoqué d'un point de vue pratique la sensibilité au vent de quelques types de microphones couramment utilisés. Cette étude n'est pas exhaustive et pourrait être augmentée et précisée.

L'étude des accessoires de protection anti-vent a permis de dresser une liste des principes d'action de bonnettes utilisées en pratique par les preneurs de son. Nous avons pu constater notamment que l'effet de chambre de pression des cages et des mousses à cavité était adapté à la protection des microphones à gradient de pression. Il est également apparu que ce type d'accessoires, et les mousses pleines dans une moindre mesure, sont susceptibles de modifier la réponse du microphone, tant du point de vue de la directivité que du détimbrage. Une étude quantitative serait utile pour vérifier et mesurer ces effets.

Nous avons enfin introduit la notion de bruit aéroacoustique en traitant de façon descriptive les phénomènes aérodynamiques d'un cylindre plongé dans une veine d'air, cela dans le but d'expliciter la production de son lorsque le vent heurte la surface de la bonnette anti-vent. Un approfondissement du sujet pourrait conduire à des conclusions directement utiles l'amélioration des bonnettes anti-vent.

II. Partie expérimentale : mesures sur les accessoires de protection

Nous savons qu'une bonnette parfaite n'existe pas. En effet, les contraintes d'encombrement, de détimbrage, et de directivité vont à l'encontre d'une bonne isolation du vent et du bruit qu'il génère à l'encontre de la bonnette elle-même. Chaque solution de protection est donc le résultat d'un compromis, et les tests dont nous présentons ici les résultats vont permettre à l'opérateur du son de faire le choix qui correspondra le mieux à ses besoins.

Les tests :

- Une série de tests a été réalisée dans les conditions naturelles de vent. L'enregistrement simultané d'une batterie de couples « microphone-bonnette » soumise à des « séquences de vent », permet de constater immédiatement, et dans les conditions les plus proches du tournage en extérieur, le comportement de chacune des bonnettes vis-à-vis de la protection au vent. L'analyse des prises de son sera autant objective (spectre du bruit dû au vent) que subjective (écoute critique).

- Des tests complémentaires ont été réalisés avec du vent artificiel afin d'atteindre des vitesses suffisamment grandes pour faire apparaître la perte d'efficacité de la protection. L'intérêt en sera discuté.

- Afin d'analyser les influences purement acoustiques des protections anti-vent, l'ultime test présenté dans ce mémoire a été réalisé en chambre sourde. Cela pour observer simplement et avec précision le comportement du couple « microphone-bonnette » soumis à une source sonore.

II.1. Mesures en vent naturel

II.1.1. Conception du test

La dynamique

Nous cherchons ici à mettre en évidence les défauts de protection au vent. Nous définirons donc dans ce test le signal utile comme l'ensemble des interférences dues à la présence de vent. Le bruit de fond sera constitué des sons émergeant de l'environnement (activité humaine et animale, bruissement de la végétation…) et du souffle de la chaîne de captation.

Pour pouvoir analyser correctement le phénomène, il faut obtenir une dynamique suffisamment grande entre signal utile et bruit de fond dans chaque bande de fréquence.

Vu la nature spectrale plutôt «basse fréquence » des interférences sonores dues au vent, il apparaît donc nécessaire de chercher un environnement pauvre en graves.

D'autre part, la célérité du vent joue un grand rôle dans la pertinence du test. Ses effets sonores seront d'autant plus dégagés du bruit de fond que sa vitesse sera grande.

La variété de cas enregistrés

La variété de vitesse du vent est aussi un élément important. Cela permet de tester une gamme de bonnettes adaptées à un certain niveau de vent. On pourra aussi évaluer, en niveau et en répartition des fréquences, la progression du bruit généré autour et à l'intérieur de la bonnette en fonction de la vitesse de vent.

La correspondance avec le cas concret du tournage

Il est important que les conditions de test soient proches de celle du tournage, tant au niveau des microphones et des bonnettes choisies, de l'angle donné par rapport au sol,

que de la hauteur où ils sont placés. Cela pour que les phénomènes constatés correspondent aux problèmes effectivement rencontrés par les opérateurs du son.

La comparaison

Il est important d'obtenir un stimulus identique pour un maximum de matériel testé. Il a donc été simultanément mis en place jusqu'à six équipements, suffisamment espacés pour ne pas qu'il y ait d'interaction, et suffisamment proches pour que l'on puisse considérer qu'ils reçoivent chacun un vent *quasi* identique.

Contexte de l'expérimentation

La période de l'année pour la mise en place du test (au début du moi d'avril) a été déterminée par les disponibilités des fournisseurs de matériel. Le lieu (un pré dans le Cap Sizun en Bretagne) a été choisi pour sa météo rarement stable et son relief dégagé, ce qui est propice à la présence de vent, et pour son éloignement des sources de bruit relatives aux activités humaines. La durée de l'expérimentation a été de six jours, pour bénéficier d'une bonne variété de vent.
Malheureusement, la météo a été remarquablement stable en raison d'un anticyclone. Le beau temps fixe a seulement permis au vent de varier de 0 à 5 m/s -*18 Km/h*-.

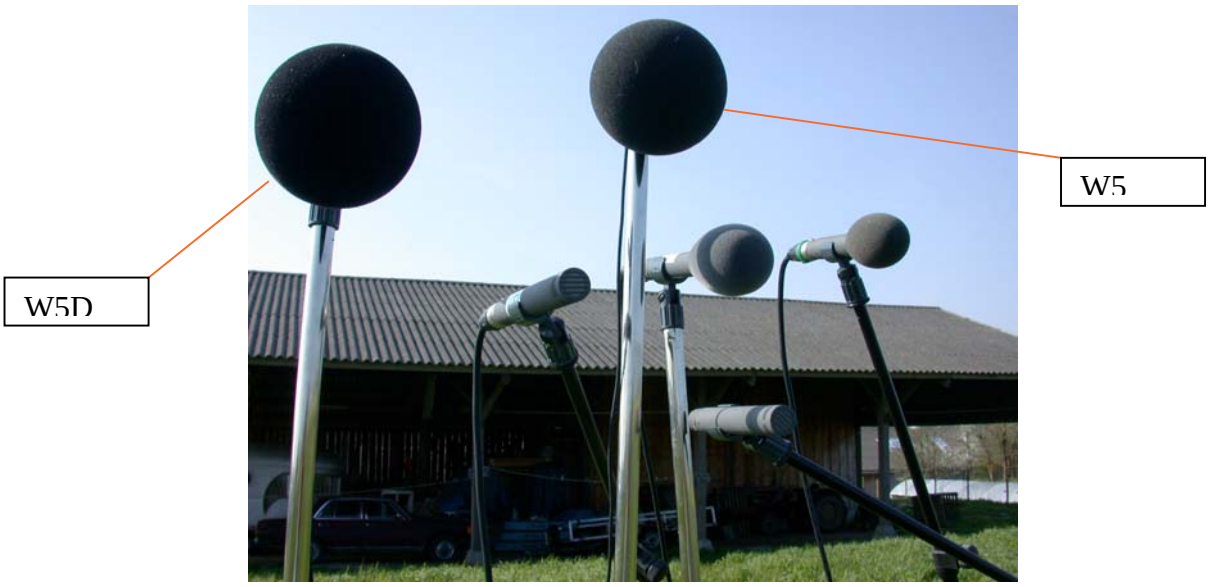
Choix et mise en place du matériel testé

<u>Les microphones :</u>

Cinq Schoeps MK41 (hypercardioïdes) et un Schoeps MK2 (omnidirectionnel). La directivité hypercardioïde est très largement utilisée en tournage, et l'omnidirectionnel a été choisi pour comparer les différences de comportement entre les capteurs de pression et les capteurs de gradient de pression.

Les protections anti-vent :

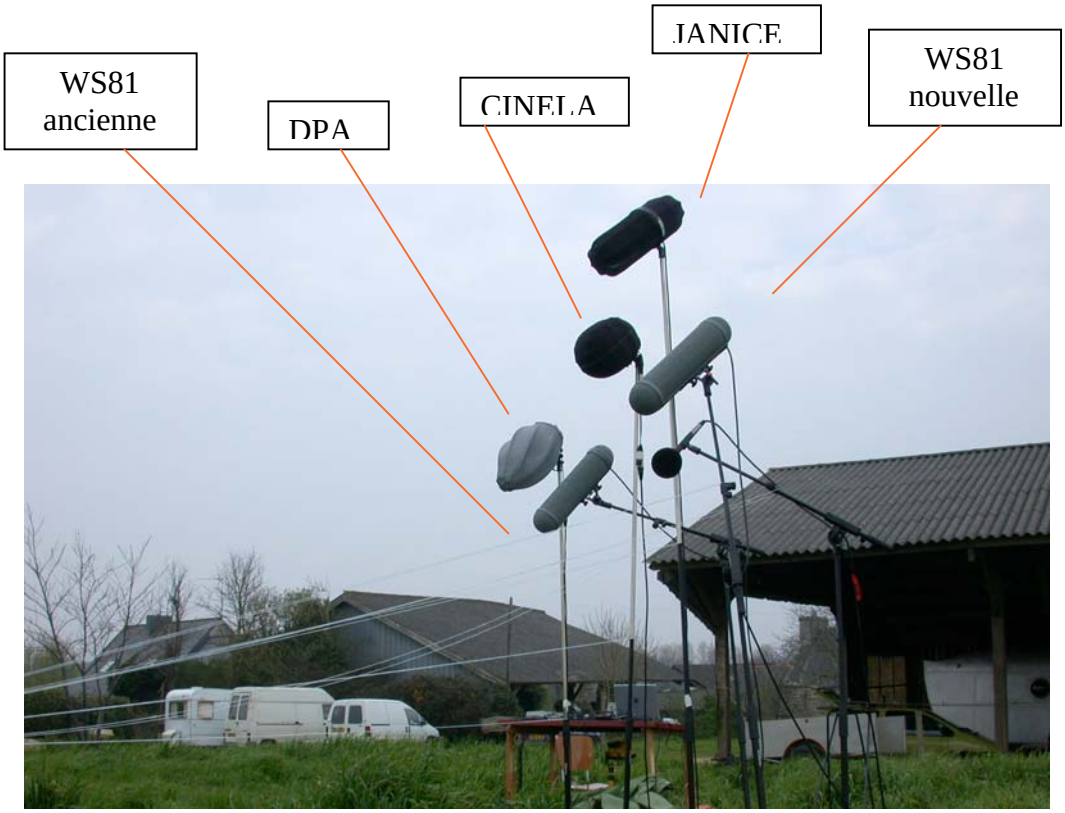
Une variété importante de bonnettes a pu être testée, selon des principes de protection différents. Cela pour comparer les performances entre les modèles, mais surtout observer les comportements entre les différents principes (voir partie théorique).



Modèle	Dimensions (mm)	Forme	Principe	Coiffe	Marque
B5	45x70	Ovoïdale	Mousse pleine	Non	Schoeps
W5	90	Sphérique	Mousse pleine	Non	Schoeps
B5D	50x70	Ovoïdale	Mousse à cavité	Non	Schoeps
W5D	90	Sphérique	Mousse à cavité	Non	Schoeps
B20	50	Sphérique	Cage	Non	Schoeps
W20	80	Sphérique	Cage	Non	Schoeps
W20 R1	Env. 90	Sphérique	Cage	Fourrure	Schoeps
BBG	Env. 100	Ovoïdale	Cage	Fourrure	Schoeps
WS81 « ancienne »	Env. 390x90	Cylindrique	Cage	Jersey et fourrure	Rycote
WS81 « nouvelle »	Env. 440x100	Cylindrique	Cage	Jersey et fourrure	Rycote
Windpac	210x390	Profil hélicoïdal	Cage	Non	DPA
CINELA	240x180	Ovoïdale	Cage	Fourrure	CINELA
JANICE	?	Cylindrique	Cage	Non	Janice

Mise en place du matériel :

Pour chaque série de tests, le matériel est fixé sur pied, à un peu plus de deux mètres du sol. La ligne ainsi formée des microphones et bonnettes montés sur pied fait face à la direction du vent. L'axe des couples « microphone-bonnette » est dirigé vers le sol afin de reproduire le cas d'une utilisation à la perche. La composante horizontale étant dominante pour un vent à deux mètres du sol pour un relief dégagé, notons que ce cas est plutôt défavorable à la plupart des bonnettes qui sont plutôt optimisées pour un vent dans leur axe.



Choix du matériel d'enregistrement :

Pour pouvoir comparer les couples « microphone-bonnette » soumis à une « séquence de vent » identique, le choix d'un multipiste s'est tout de suite imposé. Le DEVA V de ZAXCOM possède huit entrées micro, dont six ont été utilisées pour chaque série d'enregistrement. Avant chaque reprise d'expérimentation, on a pris soin d'aligner la sensibilité des entrées avec un générateur. L'enregistrement s'est fait en PRE-FADER pour assurer la fixité des niveaux d'entrée.

Mesure du vent

Il est important de connaître la direction du vent pour plusieurs raisons. Un vent à direction variable est souvent signe d'instabilité météorologique. Il faut donc éventuellement prévoir un changement de configuration à tester, ou encore stabiliser les équipements si le vent vient à forcir. Cela indique également l'orientation à donner aux instruments qui mesurent la vitesse du vent, et permet aussi de connaître l'angle d'attaque du vent. Dans notre cas, un simple fil de laine fixé en un point a suffi pour donner cette information. Cet indicateur, situé quelques mètres en amont de la circulation du vent, nous renseigne également sur la force du vent qui est à venir au niveau du matériel testé.

La vitesse du vent a été mesurée à l'aide de deux anémomètres à hélice, l'un mesurant la valeur moyenne (mesure sur une minute), et l'autre mesurant les valeurs quasi instantanément et mémorisant la valeur maximale au cours d'une séquence. Le premier a une longue inertie, ce qui convient tout à fait pour la mesure de la moyenne, et le second possède une hélice très légère qui réagit beaucoup plus vite.

L'enregistreur multipiste DEVA V et les anémomètres.

Les résultats

Au terme de la période d'expérimentation, nous avons bénéficié d'un vent de vitesse variable, mais n'excédant pas les 5 m/s. Il a fallu, du fait de la faiblesse du stimulus, utiliser des gains d'entrée importants, ce qui a permis de rendre audible les défauts de protection, au prix d'une montée du souffle électronique. Cela n'a cependant pas suffi à faire émerger des différences très significatives en ce qui concerne les bonnettes prévues pour la protection à un vent relativement fort. En revanche, pour les autres configurations, nous avons eu suffisamment de résultats exploitables pour l'écoute subjective et l'analyse objective.

Méthode d'analyse choisie

Les enregistrements ayant été réalisés dans des conditions de vent et de bruit de fond variables, les résultats que nous présentons ici ne peuvent apporter des évaluations dans l'absolu. On analysera donc indépendamment chaque configuration de matériel.

La durée des enregistrements varie de 1 min à 1 min 30, permettant ainsi une certaine précision sur d'analyse. Comme nous l'avons évoqué dans la partie théorique, la vitesse du vent est très variable, et l'analyse du signal d'une séquence de 1 min rend compte à la fois de moments calmes (peu ou pas de bruit de vent) et de moments où le vent souffle fort (bruit de vent très présent).

Le premier critère d'analyse est la différence de niveau entre la courbe de la bonnette considérée, et la courbe de référence (noire). Cette référence correspond à la fois à la bonnette la plus efficace, et à un extrait de la séquence où le vent est le plus calme possible. On a choisi arbitrairement de lire la différence de niveau à 100 Hz. Plus cette différence est faible et plus la bonnette est efficace du point de vue de la protection aux bruits de vent.

Deuxième critère d'analyse : outre la position relative des courbes de niveau de bruit, il peut être intéressant, dans un deuxième temps, de comparer les pentes des courbes.

L'atténuation du bruit à 100 Hz (premier critère) n'est effectivement pas suffisante pour juger de l'efficacité d'une bonnette, car une bonnette peut présenter une bonne performance du point de vue du premier critère, mais avoir une faible pente et devenir plus bruyante que les autres dans des fréquences plus élevées. Pour caractériser cette pente, on a choisi arbitrairement de lire l'écart de niveau de la courbe considérée entre 30 Hz et 200 Hz. Cela permet d'avoir une première approximation de la balance spectrale du bruit.

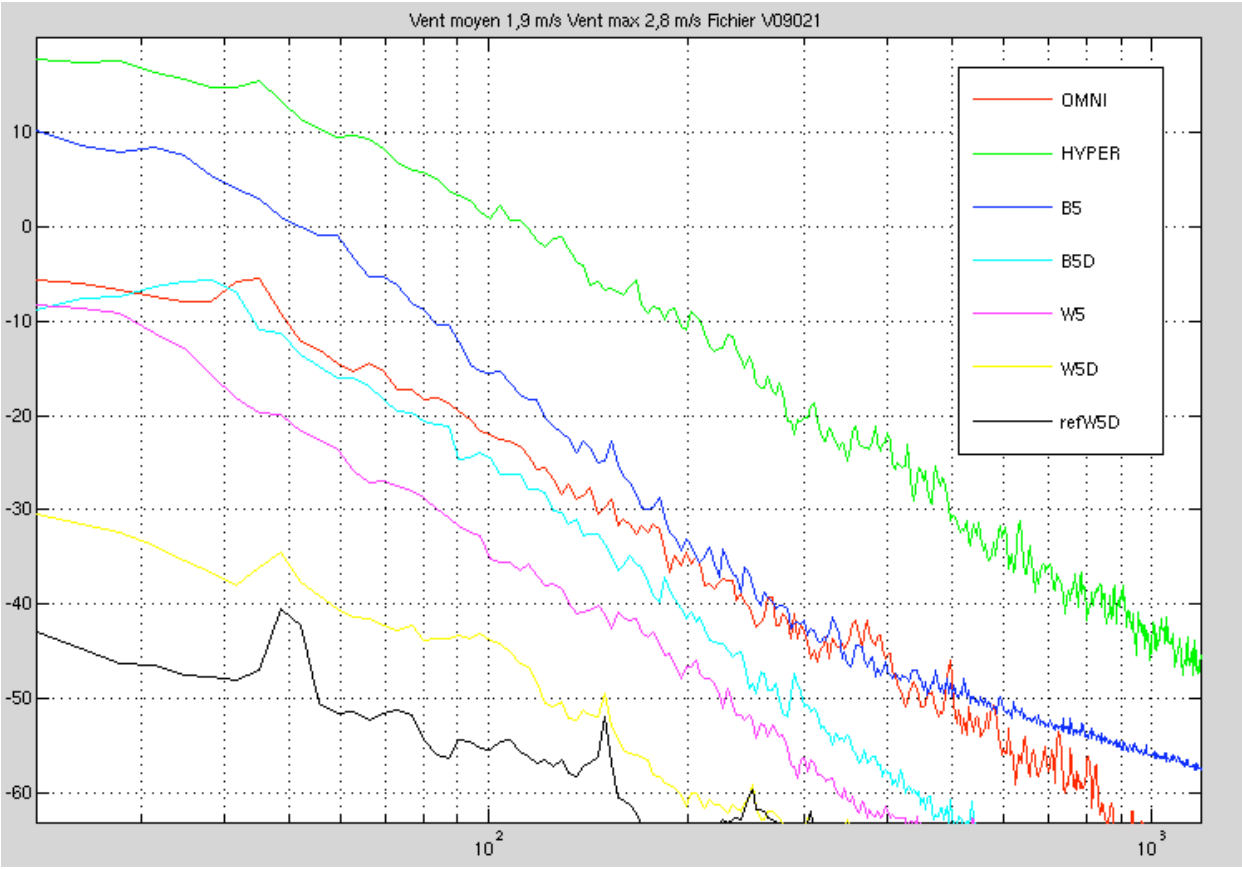
Enfin, un phénomène tel qu'une énergie marquée dans une certaine zone spectrale pourra être remarqué. Plus cette zone se situe haut en fréquences, et plus elle est susceptible de devenir gênante pour la captation d'une source sonore.
Des accidents ponctuels sur les courbes de bruit peuvent apparaître, mais ne doivent pas être pris en compte dans la lecture des résultats car ils ne correspondent pas au phénomène observé. La mesure de bruit reste malgré tout globalement valable, puisque le phénomène que l'on analyse se situe dans une zone de fréquence étendue et à peu près localisée (basses fréquences).

II.1.2. Résultats

Configuration A :

Omnidirectionnel : sans protection ; Hypercardioïde : sans protection, B5, B5D, W5, W5D.

Vent : vitesse moyenne : 1,9 m/s ; vitesse maximum : 2,8 m/s.



On remarque :

- Les courbes présentent toutes un profil similaire.

- L'omnidirectionnel sans protection est moins sensible au vent que l'hypercardioïde, et l'atténuation résultante du bruit est de 20 dB sur toute la courbe.

- Pour des dimensions similaires, les mousses à cavité ont une meilleure efficacité :

Couple microphone/bonnette	Performance à 100 Hz : Écart du niveau par rapport à la référence (dB)	Pente : Écart entre le niveau à 30 Hz et le niveau à 200 Hz (dB)
Sans protection/ Hypercardioïde	55	30
B5/ Hypercardioïde	40	45
Sans protection omnidirectionnel	35	25
B5D / Hypercardioïde	30	35
W5/ Hypercardioïde	20	35
W5D / Hypercardioïde	10	30

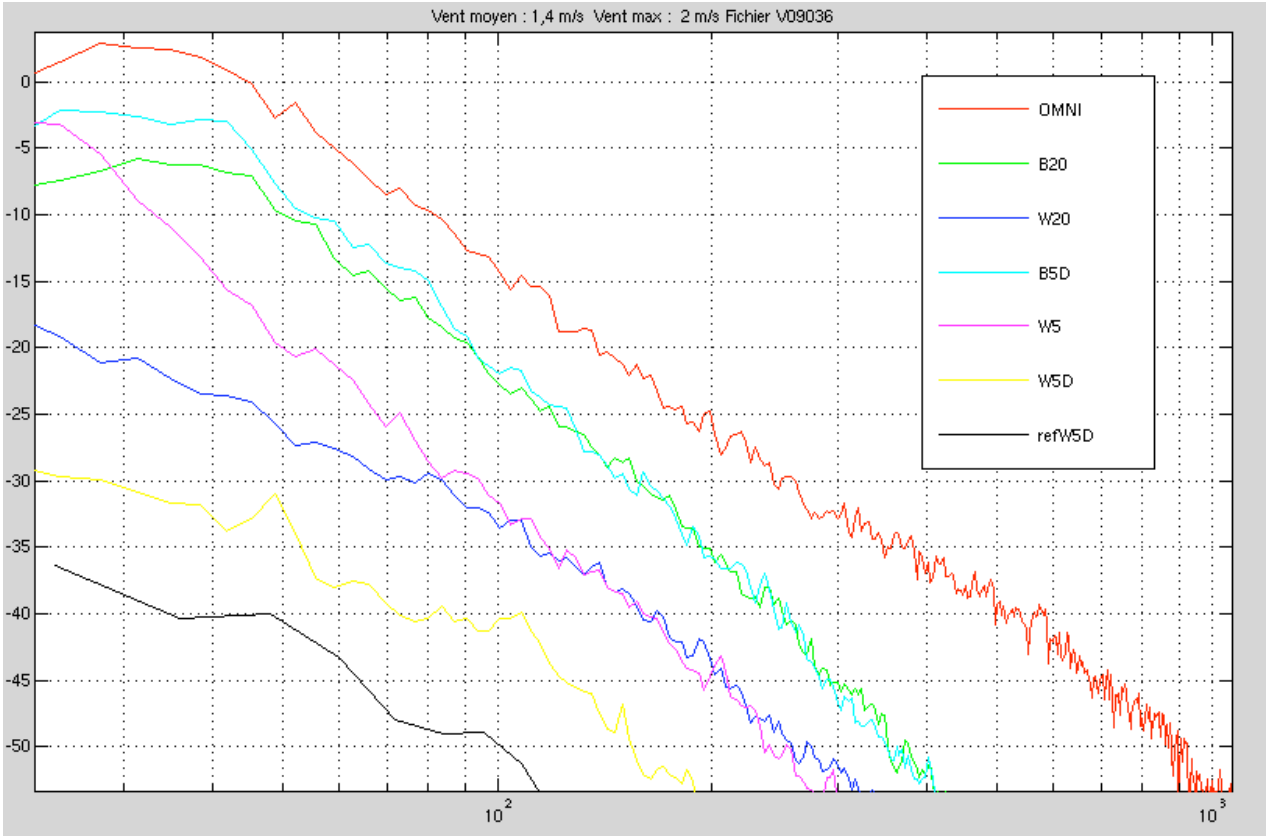
Entre la B5 et la B5D : la différence du niveau est environ de 10 dB sur toute la courbe.

Entre la W5 et la W5D : au-dessus de 100 Hz la différence du niveau est environ de 10 dB, et à 30 Hz la différence de niveau est de 20 dB.

Configuration B :

Omnidirectionnel : sans protection ; Hypercadioïde : B20, W20, B5D, W5, W5D.

Vent : vitesse moyenne : 2,4 m/s. Vitesse maximum : 3,6 m/s.



Couple microphone/bonnette	Performance à 100 Hz: Écart du niveau par rapport à la référence (dB)	Pente : Écart entre le niveau à 30 Hz et le niveau à 200 Hz (dB)
Sans protection/ Omnidirectionnel	35	30
B20/ Hypercardioïde	30	30
B5D / Hypercardioïde	30	30
W5/ Hypercardioïde	20	40
W20/ Hypercardioïde	15	25
W5D / Hypercardioïde	10	25

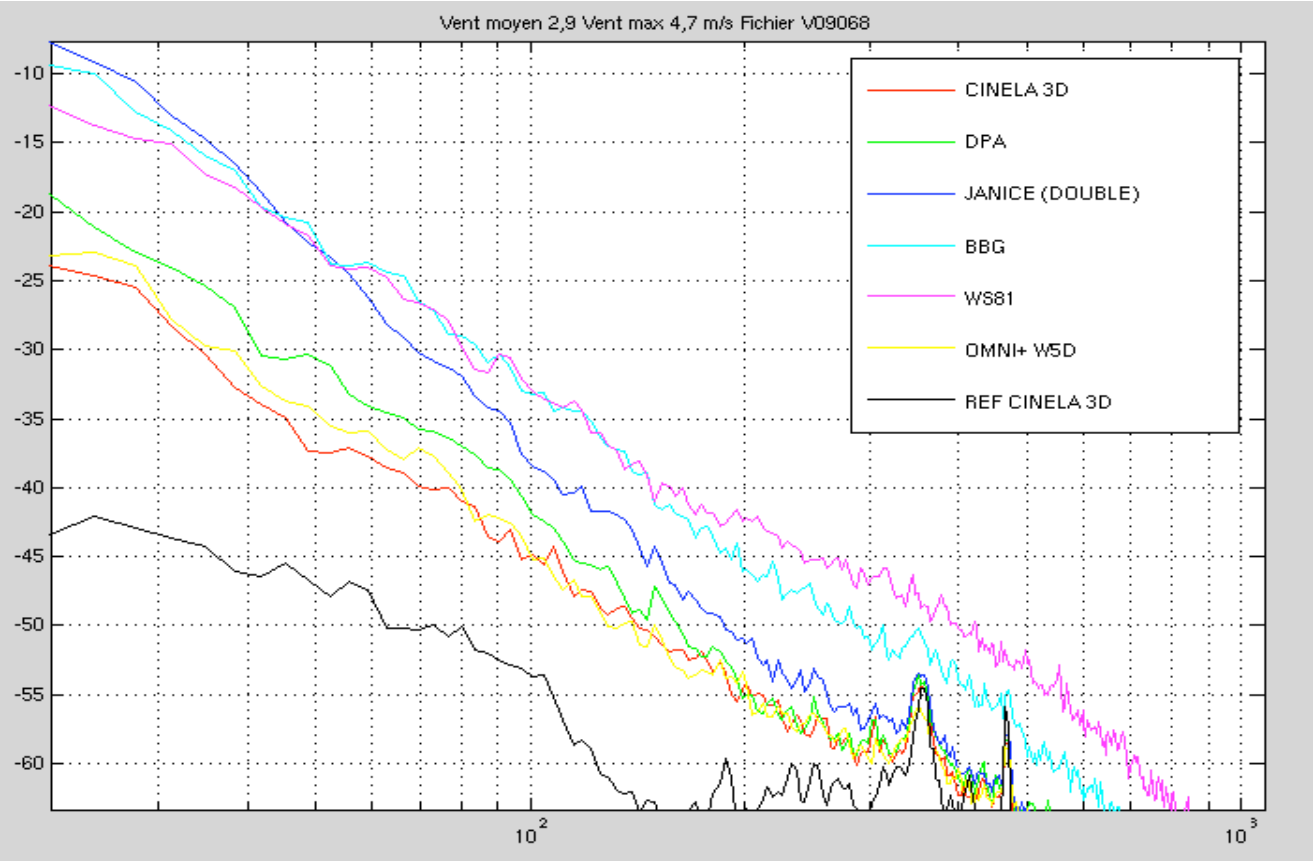
On remarque :

- Une équivalence de pouvoir de protection entre la B20 et la B5D.
- Une forte atténuation du bruit en dessous de 100 Hz pour la W20 et la W5D.
- La W5D un fort pouvoir de protection (10 dB au-dessus de la référence).

Configuration C :

Omnidirectionnel : sans protection ; Hypercardioïde : B20, W20, B5D, W5, W5D.

Vent : vitesse moyenne : 2,9 m/s. Vitesse maximum : 4,7 m/s.



Couple microphone/bonnette	Performance à 100 Hz: Écart du niveau par rapport à la référence (dB)	Pente : Écart entre le niveau à 30 Hz et le niveau à 200 Hz (dB)
WS81/ Hypercardioïde	25	25
BBG / Hypercardioïde	25	30
Janice double cage/ Hypercardioïde	15	45
DPA/ Hypercardioïde	10	30
W5D / Omnidirectionnel	10	30
CINELA / Hypercardioïde	10	30

On remarque :

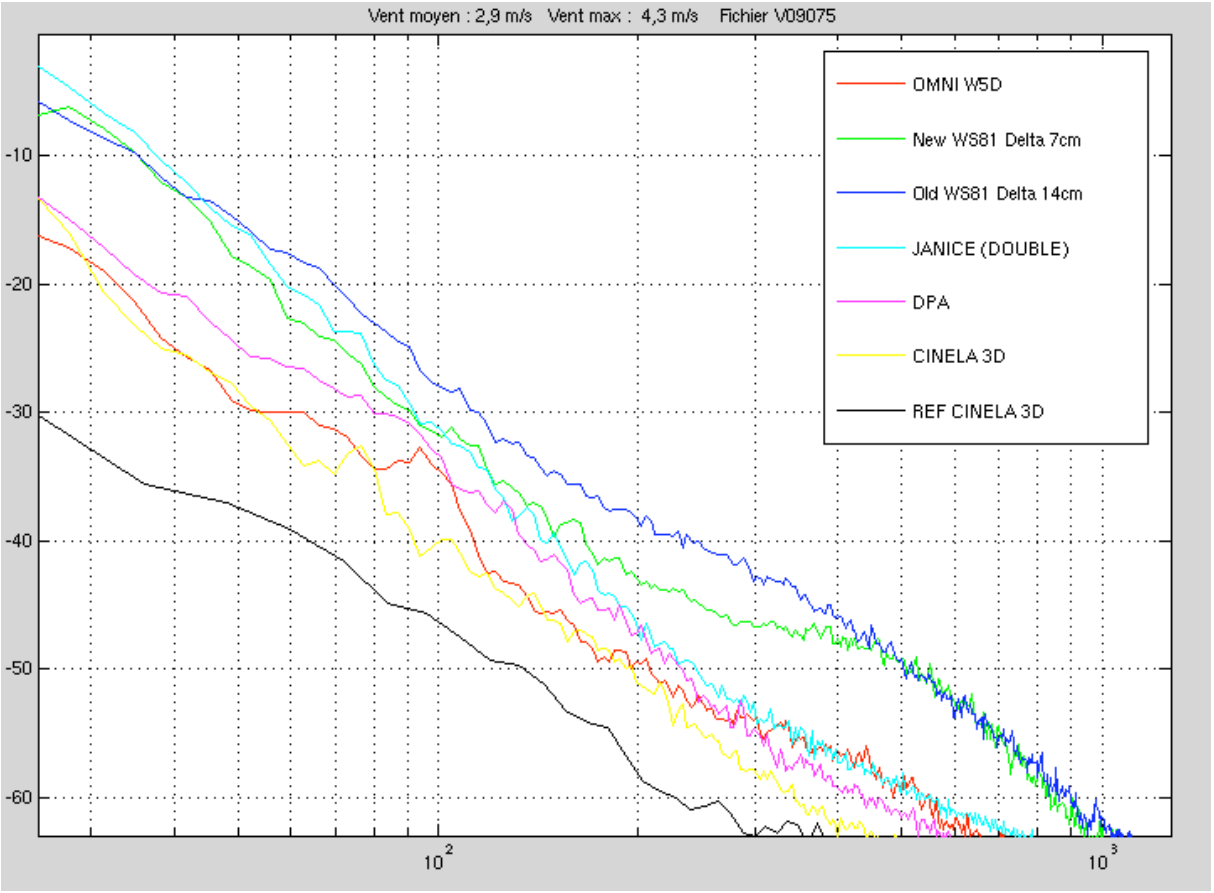
- Les différences de niveau de protection sont moins nettes.
- L'omnidirectionnel dans la W5D montre de très bonnes performances par rapport aux hypercardioïdes dans des bonnettes beaucoup plus grosses.
- On observe une remontée significative du bruit entre 200 Hz et 700 Hz pour la BBG et la WS 81 par rapport aux autres profils de bruit.

Configuration E :

Omnidirectionnel : W5D.

Hypercardioïde : WS81 nouvelle (distance capsule enveloppe 7 cm), WS81 ancienne (distance capsule enveloppe 14, 5 cm), Janice double cage, DPA, CINELA.

Vent : vitesse moyenne : 2,9 m/s. Vitesse maximum : 4,3 m/s.



Couple microphone/bonnette	Performance à 100 Hz : Écart du niveau par rapport à la référence (dB)	Pente : Écart entre le niveau à 30 Hz et le niveau à 200 Hz (dB)
WS81 ancienne/ Hypercardioïde Distance capsule enveloppe = 14 cm	17	30
WS81 nouvelle / Hypercardioïde Distance capsule enveloppe = 7 cm	15	35
Janice double cage/ Hypercardioïde	10	45
DPA / Hypercardioïde	10	35
W5D/ Omnidirectionnel	10	30
CINELA / Hypercardioïde	5	30

On remarque :

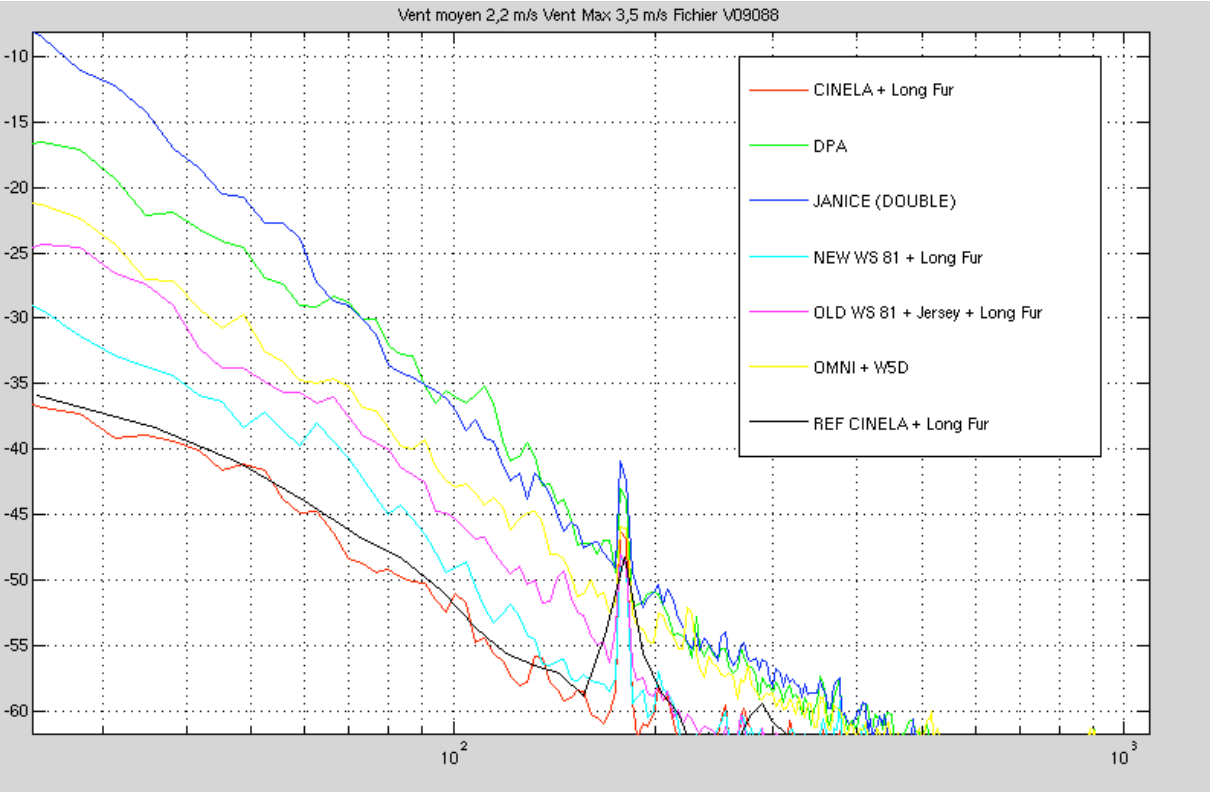
- On observe à nouveau une remontée significative du bruit entre 200 Hz et 700 Hz pour les deux WS81, par rapport aux autres profils de bruit.
- La nouvelle WS81 est globalement plus performante que l'ancienne, malgré le placement de la capsule du microphone deux fois plus proche de l'enveloppe de la bonnette.

Configuration G :

Omnidirectionnel : W5D.

Hypercardioïde : WS81 nouvelle + Fourrure, WS81 ancienne +Fourrure, Janice double cage, DPA, CINELA + Fourrure.

Vent : vitesse moyenne : 2,2 m/s. Vitesse maximum : 3,5 m/s.



Couple microphone/bonnette	Performance à 100 Hz : Écart du niveau par rapport à la référence (dB)	Pente : Écart entre le niveau à 30 Hz et le niveau à 200 Hz (dB)
DPA/ Hypercardioïde	17	30
Janice double cage / Hypercardioïde	17	40
W5D/ Omnidirectionnel	10	40
WS81 ancienne+Jersey+fourrure/ Hypercardioïde	7	35
WS81 nouvelle+Jersey+fourrure / Hypercardioïde	4	25
CINELA+-fourrure / Hypercardioïde	0	20

On remarque :

- La remontée du bruit des WS81 entre 200 Hz et 700 Hz a disparu. Toutes les courbes de bruit sont linéaires.

Synthèse des tests de bonnettes en vent naturel

Ces tests nous ont permis de confirmer quelques principes développés dans la partie théorique, mais ils ont fait aussi émerger des propriétés supplémentaires :

-Toutes les courbes de bruit de vent que nous avons obtenues à l'issue de nos enregistrements présentent, dans le cadre d'une première approche, un même type de profil spectral. En effet, le bruit est très important dans les basses fréquences et décroît de façon relativement régulière du grave à l'aigu. Son niveau rejoint le bruit de fond aux alentours de 1000 Hz. Nous sommes bien en présence d'un bruit caractérisé dans les basses fréquences, ce qui est conforme aux sources de bruit évoquées dans la partie théorique de ce mémoire.

-La sensibilité au vent est effectivement bien plus importante pour les capteurs de gradient de pression que pour les capteurs de pression. Nous pouvons à présent quantifier la différence entre une capsule MK41 et une capsule MK2 sans protection : elle est de 20 dB sur l'ensemble du bruit.

-Nous avons également confirmation que pour des dimensions similaires, les mousses à cavité offrent une bien meilleure protection pour les capteurs de gradient de pression que les mousses pleines : l'atténuation du bruit est de 10 dB au-dessus de 100 Hz, et atteint 20 dB à 30 Hz pour l'exemple de la W5D.

-Il est confirmé également à l'issue de nos tests que la taille joue un rôle fondamental dans le pouvoir de protection de la bonnette. Par exemple, le pouvoir de protection de la W20 est supérieur de 10dB à 100 Hz et de 20 dB à 30 HZ par rapport à celui de la B20.

-Que ce soit pour les mousses à cavité ou pour les cages, l'effet chambre de pression se traduit par un fléchissement du bruit dans les extrêmes graves. Le contre-exemple est

le cas de la Janice, dont les parois sont particulièrement fines et poreuses, et qui présente remontée du bruit particulièrement importante dans les extrêmes graves.

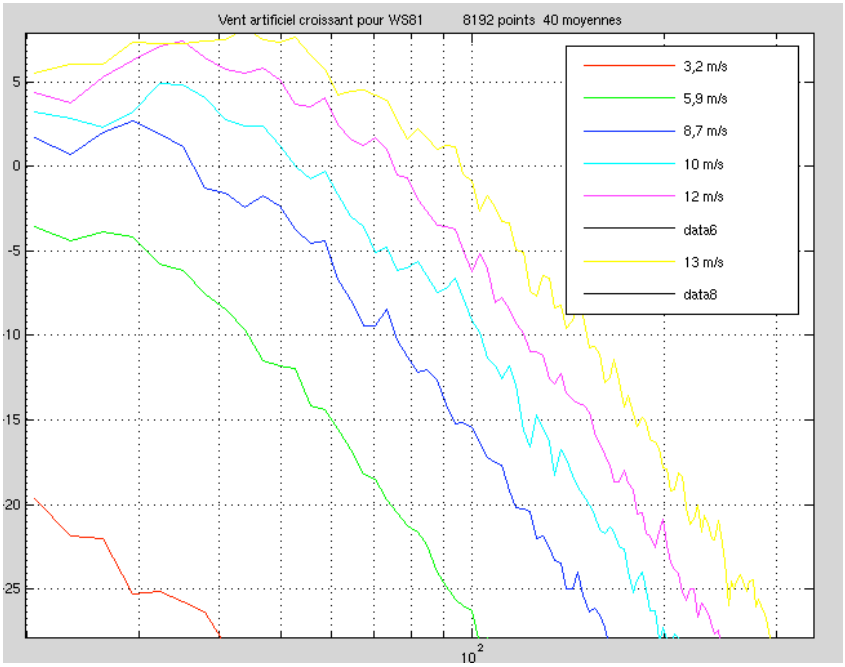
Propriétés supplémentaires :

-À dimension à peu près égale, une mousse à cavité offre un plus grand pouvoir de protection qu'une cage. On peut citer la comparaison entre la W5D et la W20 (différence de 5 à 10 dB selon les fréquences).

-La structure est susceptible de générer un bruit localisé dans des fréquences gênantes : les trois bonnettes dont le maillage de la structure est à l'extérieur de l'enveloppe (typique de la marque Rycote) génèrent un bruit localisé entre 200 et 700 Hz. Cela se traduit, à l'écoute, par un sifflement. Dès que l'on applique une coiffe en fourrure, ce sifflement disparaît.

Essais de mesures de protection des bonnettes avec un vent artificiel :

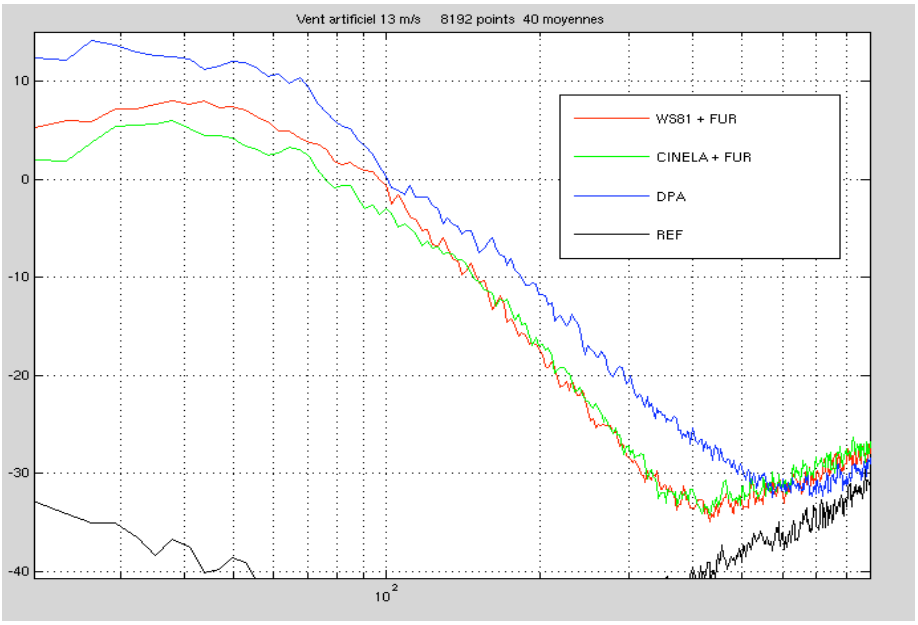
Par manque de vent très fort, nous n'avons pas pu mettre suffisamment à défaut les bonnettes les plus efficaces lors de nos tests en extérieur. Afin de pouvoir départager de façon plus nette les performances des bonnettes équipées de fourrure, nous avons donc cherché à mettre en place un test avec du vent soufflé artificiellement. Pour cela, nous avons utilisé le jet d'air d'un compresseur. L'appareil ayant une réserve d'air suffisante, la seule source de bruit a été le sifflement du jet d'air à la sortie du tuyau. La dynamique entre ce bruit et le bruit du vent sur la bonnette est cependant suffisante jusqu'à une fréquence de 600 Hz, fréquence à partir de laquelle le bruit du jet prédomine.



La figure ci-dessus représente le bruit d'un vent artificiel soufflé sur une WS81. On remarque que les profils de bruit ressemblent à ceux qui sont générés par un vent naturel, et qu'ils ne changent pas en fonction de la vitesse du vent.

On peut donc *a priori* exploiter cette méthode, car elle permet d'approcher les profils de bruit obtenus dans les conditions naturelles.

Nous ne présentons ici que la comparaison de la CINELA et de la WS81 équipées de leurs fourrures, et de la DPA, et soumis à un vent artificiel fort de 13 m/s *–46 Km/h-*.



Il est assez surprenant de trouver des écarts si réduits entre les niveaux de bruit. Nous n'obtenons finalement pas de résultats plus signifiants qu'avec des vents naturels plus faibles. Une explication possible serait que le vent s'engouffre de façon importante dans les bonnettes (nous sommes tout de même en présence d'un vent de 46 Km/h). Et le bruit dominant serait alors celui qui est issu du flux d'air percutant la membrane. On pourrait alors remarquer que la DPA est plus fragile devant ce phénomène car elle présente un bruit plus prononcé.

Tests perceptifs

Afin de compléter le classement des performances des bonnettes anti-vent, nous avons donné à entendre, à un petit panel de preneurs de son (cinq personnes), les séquences de bruit de vent enregistrées.

Il a été demandé de juger, en écoutant chacune des pistes de plusieurs séquences, du niveau de gêne provoqué par le bruit de vent dans chacune des bonnettes.

Résultats :

Séquence 23	
Bonnette	Gêne
B5	20
B5D	13
W5	9
W5D	4

Séquence 31	
Bonnette	Gêne
B20	17
W20	18
B5D	12
W5	6
W5D	10

Séquence 68	
Bonnette	Gêne
BBG	13
WS81 ancienne	6
JANICE	10
DPA	15
CINELA	13

Séquence 75	
Bonnette	Gêne
WS81nouvelle 7 cm	13
WS81 ancienne 14,5 cm	13
JANICE	16
DPA	9
CINELA	14

Séquence 88	
Bonnette	Gêne
WS81 nouvelle 14,5 cm + FOURRURE	13
WS81 ancienne 14,5 cm + JERSEY + FOURRURE	15
JANICE	12
DPA	9
CINELA + FOURRURE	5

Commentaire :

Les résultats listés en blanc concordent tout à fait avec les analyses objectives de bruit. En revanche, les résultats apparaissant en couleur sont contraires à nos attentes. Il est possible que le protocole de test ne soit pas suffisamment précis pour que ces résultats soient validés. En effet, le simple critère de gêne n'est pas suffisamment précis, car on peut juger un son comme gênant s'il est inhabituel. À l'inverse, un bruit de vent fort peut paraître non gênant s'il correspond au bruit du matériel que l'auditeur a l'habitude d'utiliser.

Par conséquent, il ne nous est pas permis d'intégrer ces résultats dans un éventuel classement de performances des bonnettes anti-vent.

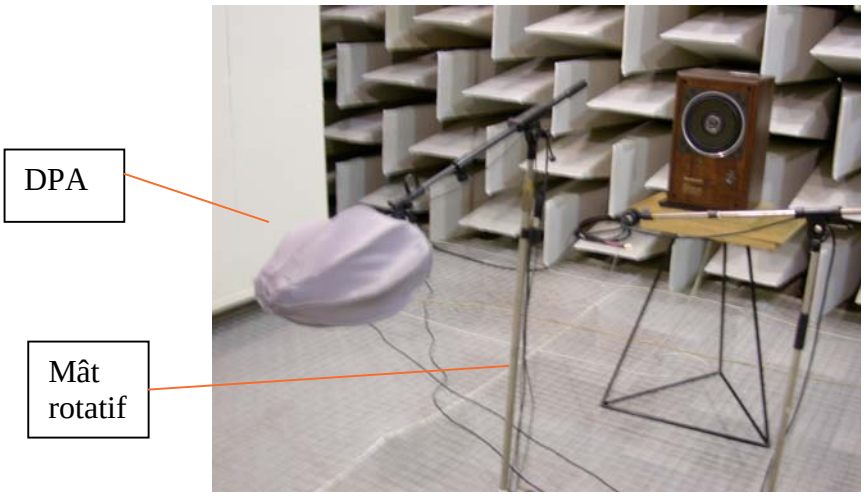
II.2. Mesures acoustiques (filtrage, directivité)

Les mesures acoustiques :

À l'occasion de notre développement théorique, nous avons pu notamment poser la question de l'influence des protections anti-vent sur la réponse du microphone. Nous présentons donc ici les résultats de mesures acoustiques réalisées en chambre sourde.

La chambre sourde :

Un des enjeux des mesures acoustiques sur les protections anti-vent est de mettre en évidence leur comportement dans les basses fréquences. Il a donc fallu réaliser les enregistrements dans une chambre sourde de très grande dimension pour que les résultats ne soient pas influencés par la réponse acoustique du local. La chambre sourde du LNE à Trappes (500 m^3), dans laquelle nos mesures ont été faites, présente une fréquence de coupure de 70 Hz. Le niveau de bruit dans la chambre sourde est inférieur à 20 dB SPL.



La chaîne de diffusion :

Un Protools diffuse une séquence de bruit rose amplifié par un amplificateur de puissance Crown (de type sonorisation). Le signal est diffusé dans la chambre sourde par une enceinte Technics coaxiale plane. Le niveau constaté était supérieur à 70 dB SPL.

Contrôle du niveau acoustique :

Pour des raisons de sécurité, un sonomètre est placé dans la chambre sourde, et dont l'affichage est accessible dans le local technique.

La chaîne de captation :

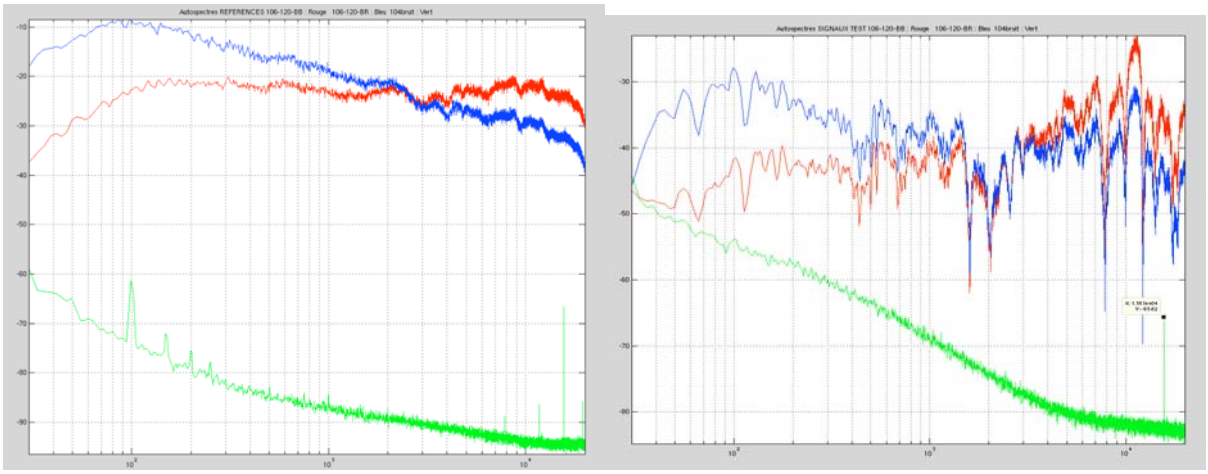
Le microphone de test, situé à l'intérieur des bonnettes, est un CCM 41 Schoeps (directivité hypercardioÏde). Ce microphone, utilisé en prise de son, a été choisi pour pouvoir étudier l'effet des bonnettes sur un microphone directif et couramment utilisé en tournage. Un mât rotatif télécommandé permet de faire pivoter l'équipement testé par rapport à l'enceinte de diffusion. La distance de l'enceinte à la capsule est d'environ 2 m. L'enregistrement du signal est assuré par le même Protools que la chaîne de diffusion.

Un microphone CMC 6 MK2 (omnidirectionnel) a été placé comme référence acoustique.

La dynamique :

Pour connaître la précision de nos mesures, une mesure de bruit de fond est nécessaire. Plus la dynamique est importante et plus la courbe de réponse du matériel testé sera fiable et lisible.

Les figures ci-dessous présentent la dynamique entre le signal et le bruit de fond (pièce et chaîne de captation). Le graphique de gauche présente la dynamique pour le microphone de référence (CMC6 MK2) et le graphique de droite présente la dynamique pour le microphone de test (CCM 41). Ce deuxième graphique décrit le cas le plus défavorable puisqu'il correspond à un angle de 120° par rapport à l'axe du microphone (atténuation maximum du signal).



Mesures de la dynamique pour les mesures acoustiques. À gauche : microphone de référence. À droite : microphone de test à 120°. En bleu le bruit rose et en rouge le bruit blanc.

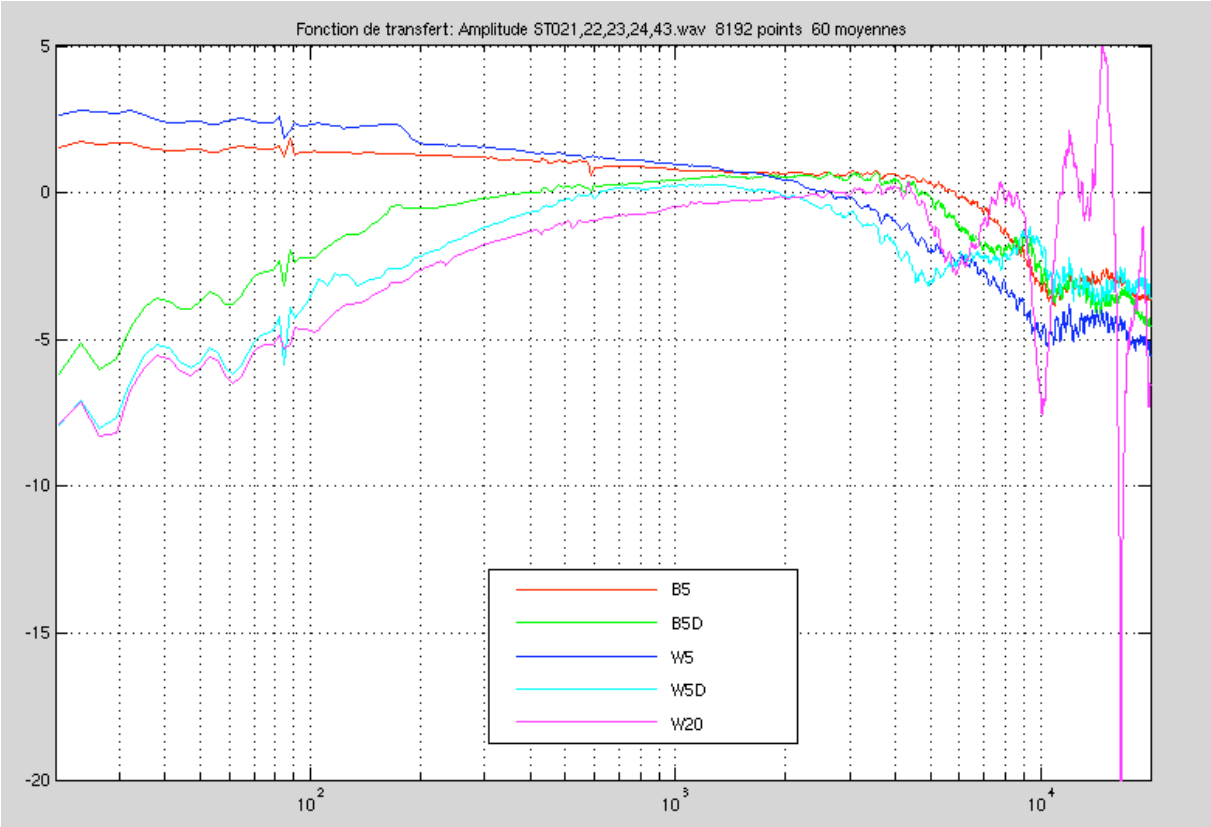
On constate premièrement qu'il est préférable d'utiliser la diffusion du bruit rose car elle offre plus de dynamique dans les basses fréquences que le bruit blanc.

Le signal de référence en bruit rose (courbe bleue du graphique de gauche) offre une dynamique de 40 dB à 30 Hz et beaucoup plus ailleurs, ce qui présage d'un certain confort dans l'analyse.

En revanche, les mesures du signal test à 120° avec du bruit rose (courbe bleue du graphique de droite) qui correspondent au cas le pus défavorable, seront plus difficiles à analyser. La dynamique est en effet à peine suffisante à partir de 50 Hz (environ 20 dB), et elle devient complètement inexploitable en dessous de 40 Hz.

Mesures dans l'axe:

Comparaison B5, B5D, W5, W5D et W20 :



Courbes de réponse dans l'axe du microphone équipé de la B5, B5D, W5, W5D , et W20.

Bonnette	Type	Dimensions (mm)	Atténuation basses fréquences	A partir de…	Atténuation hautes fréquences	A partir de…
B5	Ovoïdale Mousse pleine	45x70	-	-	Régulière 4 dB	7 KHz
W5	Sphérique Mousse pleine	90	-	-	Régulière 5 dB	3 KHz
B5D	Ovoïdale Mousse cavité	50x70	Régulière 5 dB	200 Hz	Régulière 5 dB	5 KHz
W5D	Sphérique Mousse cavité	90	Régulière et forte 5 dB	500 Hz	Régulière 5 dB	2 KHz
W20	Sphérique Cage	80	Régulière et forte 8 dB	1000 Hz	Très irrégulière 7 dB	5 KHz

Interprétation :

Ces courbes permettent dès à présent de distinguer, pour ce qui concerne les basses fréquences, l'effet de chambre de pression autour du microphone. On peut observer en effet une chute dans les basses fréquences pour les mousses à cavité ainsi que pour la W20 (cage). Cette atténuation des basses fréquences est *a priori* le signe d'un effet chambre de pression (voir partie théorique) car une homogénéisation de la pression dans le domaine des basses fréquences conduit à une perte du niveau dans l'axe.

Nous pouvons également remarquer, pour ce qui concerne les hautes fréquences, que les protections de type mousse (pleines et à cavité) occasionnent une chute légère et progressive dans les hautes fréquences. Pour les mousses à cavité, on voit légèrement apparaître un phénomène de résonance dans les hautes fréquences (ondulation de la courbe de réponse). La comparaison entre la B5D et la W5D permet de mettre en

évidence que la dimension de la cavité détermine la zone de fréquence à partir de laquelle la courbe de réponse commence à être perturbée.

La protection W20, de type cage, entraîne dans le haut du spectre une ondulation du niveau beaucoup plus forte que les protections à cavité en mousse citées ci-dessus. C'est *a priori* le signe que les parois de la W20 sont beaucoup plus propices aux réflexions acoustiques (forte impédance acoustique).).

Comparaison W20, WSR100 :

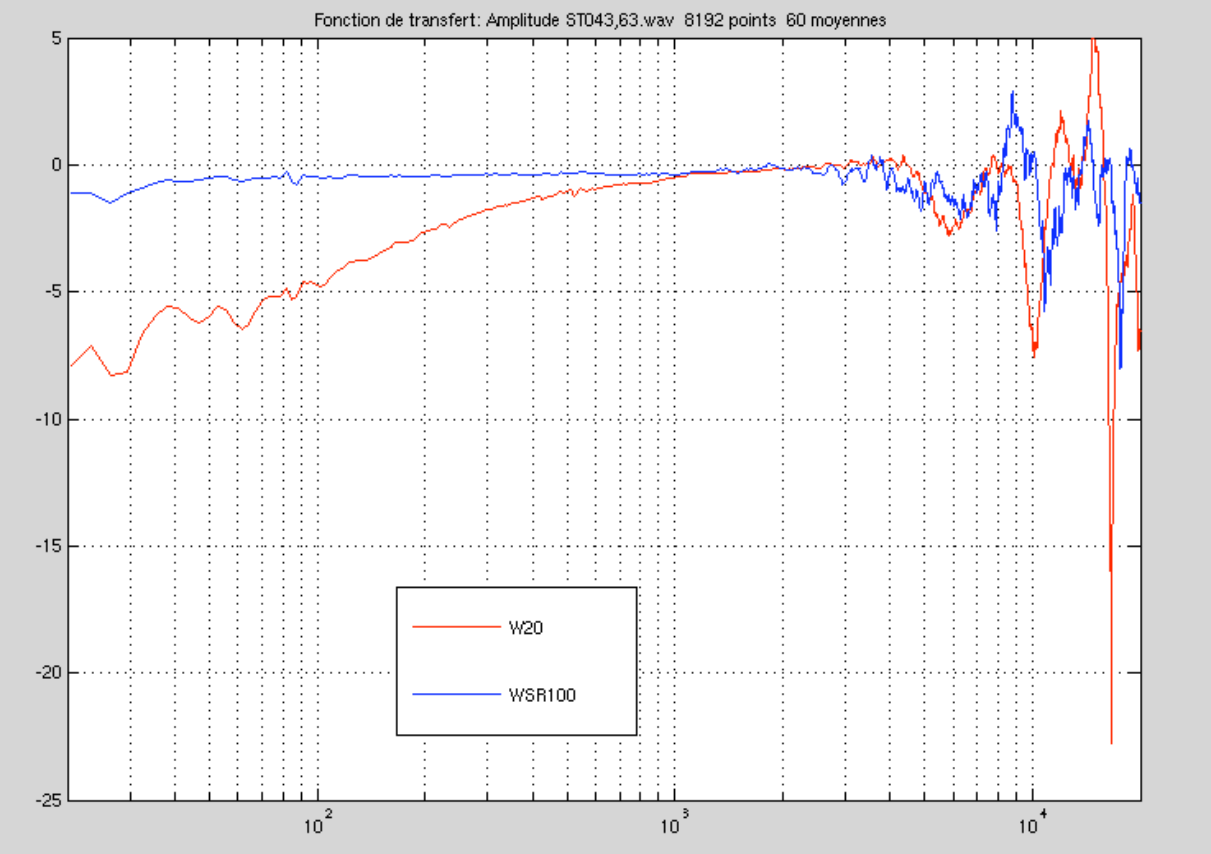


Fig. : Courbes de réponse dans l'axe du microphone équipé de la W20 et WSR100.

Bonnette	Type	Dimensions (mm)	Atténuation basses fréquences	A partir de…	Atténuation hautes fréquences	A partir de…
WSR100	Cylindrique Cage	100x200	Très faible	-	Irrégulière Env. 3 dB	5 KHz
W20	Sphérique Cage	80	Régulière et forte 8 dB	1000 Hz	Très irrégulière 7 dB	5 KHz

Interprétation :

L'effet coupe bas est beaucoup moins présent dans le cas de la WSR100 que dans le cas de la W20. De même, l'ondulation du niveau dans les hautes fréquences est moins importante et conduit à une atténuation globale plus faible dans les aigus.

On peut sans doute attribuer ces différences, entre les deux protections, dans les différences de volume et de matière. La WSR100 a en effet un volume plus important que la W20, et ses parois semblent correspondre à une impédance acoustique moins élevée. Les deux effets, de chambre de pression et de résonance, sont ainsi amoindris et perturbent donc la réponse du microphone de façon moins prononcée.

Comparaison WS81 avec différentes enveloppes:

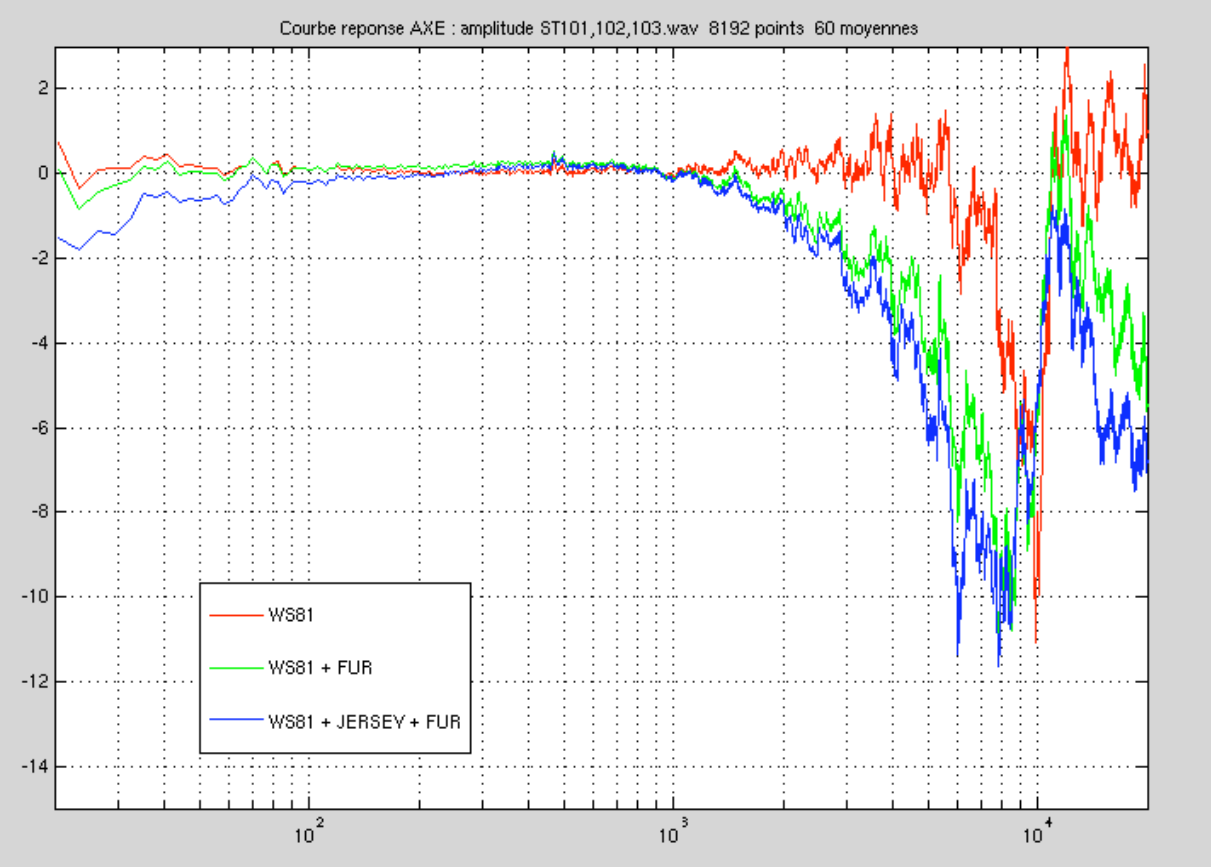


Fig. : Courbes de réponse dans l'axe du microphone équipé de la WS81 avec et sans Jersey et fourrure synthétique.

Bonnette	Type	Dimensions (mm)	Atténuation basses fréquences	A partir de…	Atténuation hautes fréquences	A partir de…
WS81	Cylindrique Cage	Env. 100x440	-	-	Très irrégulière 10 dB	6 KHz
WS81 et FOURRURE	Cylindrique Cage	Env. 100x440	-	-	Très irrégulière 10 dB	1 KHz
WS81, JERSEY et FOURRURE	Cylindrique Cage	Env. 100x440	Très faible	60 Hz	Très irrégulière 10 dB	1 KHz

Interprétation :

Les trois courbes montrent l'influence d'une même bonnette équipée de trois enveloppes différentes. Elles présentent à peu près le même profil, dans lequel on peut reconnaître à la fois l'effet coupe bas de la chambre de pression (ici peu significatif), et l'ondulation du niveau dans les hautes fréquences (apportées par les résonances et anti-résonances).

Nous pouvons donc d'ors et déjà affirmer que ce qui prédomine dans l'influence de la protection anti-vent sur la réponse du microphone est son principe d'action. En effet, dès lors que la capsule est située dans une cavité (mousse ou cage), il apparaît ce profil caractéristique de chute dans les basses fréquences et d'ondulation dans les hautes fréquences.

Les trois courbes montrent ensuite qu'une enveloppe plus épaisse (ici la fourrure) va modifier le profil en accentuant l'effet chambre de pression, et en faisant intervenir l'ondulation plus bas en fréquence. Il est possible que cela soit dû à la variation des dimensions de la bonnette. L'ajout d'une fourrure rend plus floue la notion de paroi, et peut être considéré comme une augmentation du volume (en première approximation) et fait donc intervenir les phénomènes de résonance plus bas dans le spectre.

À cela nous pouvons ajouter que l'épaisseur de l'enveloppe occasionne un filtrage plus important dans les aigus.

L'exemple présenté ci-dessous, qui correspond à une W20 avec et sans fourrure, confirme chacun des points de l'interprétation ci-dessus, et montre par ailleurs qu'un maillage plus dense et un volume plus faible sont plus propices à l'effet coupe-bas de la bonnette :

Bonnette	Type	Dimensions (mm)	Atténuation basses fréquences	A partir de…	Atténuation hautes fréquences	A partir de…
W20	Sphérique Cage	80	Régulière et forte 8 dB	1000 Hz	Très irrégulière 7 dB	5 KHz
W20 et FOURRURE	Sphérique Cage	Env. 90	Même profil mais avec des atténuations hautes et basses fréquences qui se rejoignent autour de 1500 Hz			

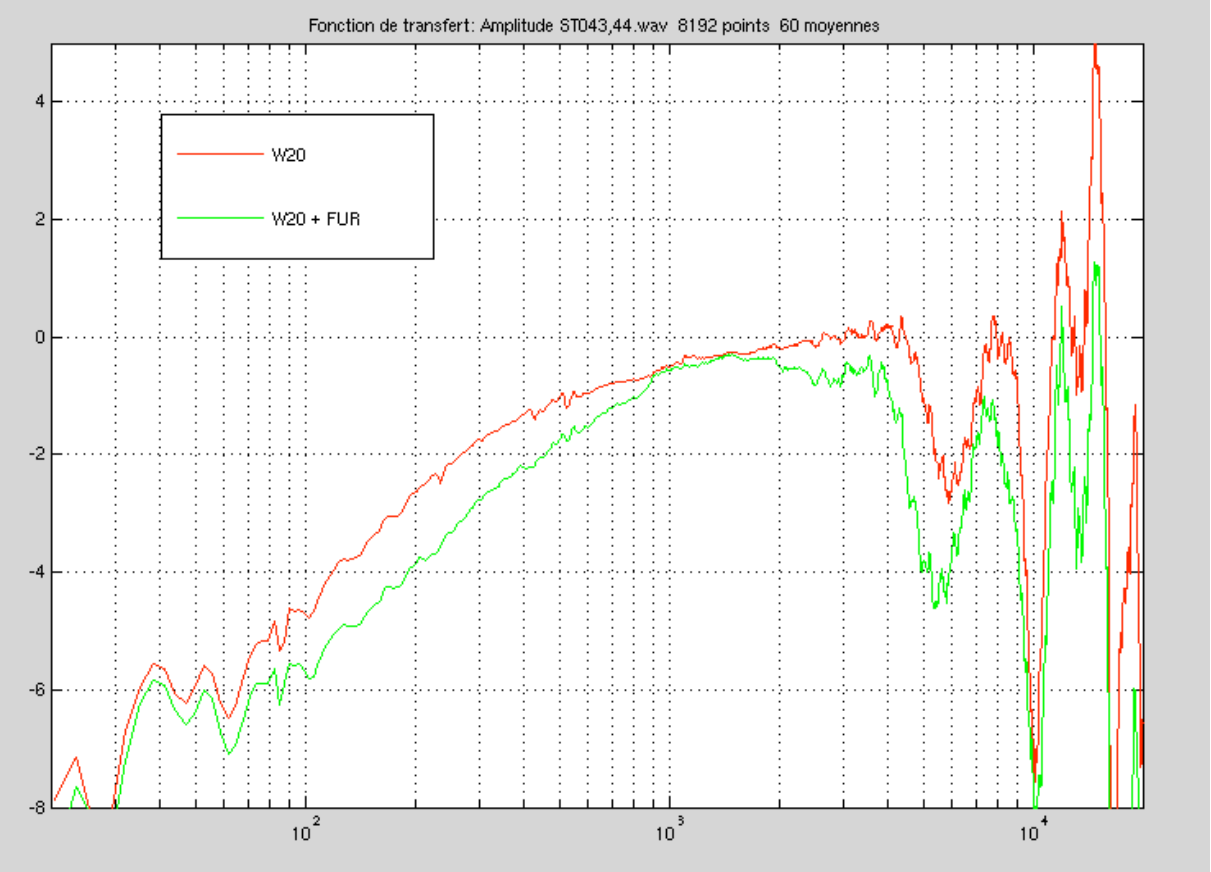


Fig. : Courbes de réponse dans l'axe du microphone équipé de la W20, avec et sans fourrure.

Comparaison WS81, DPA, et CINELA :

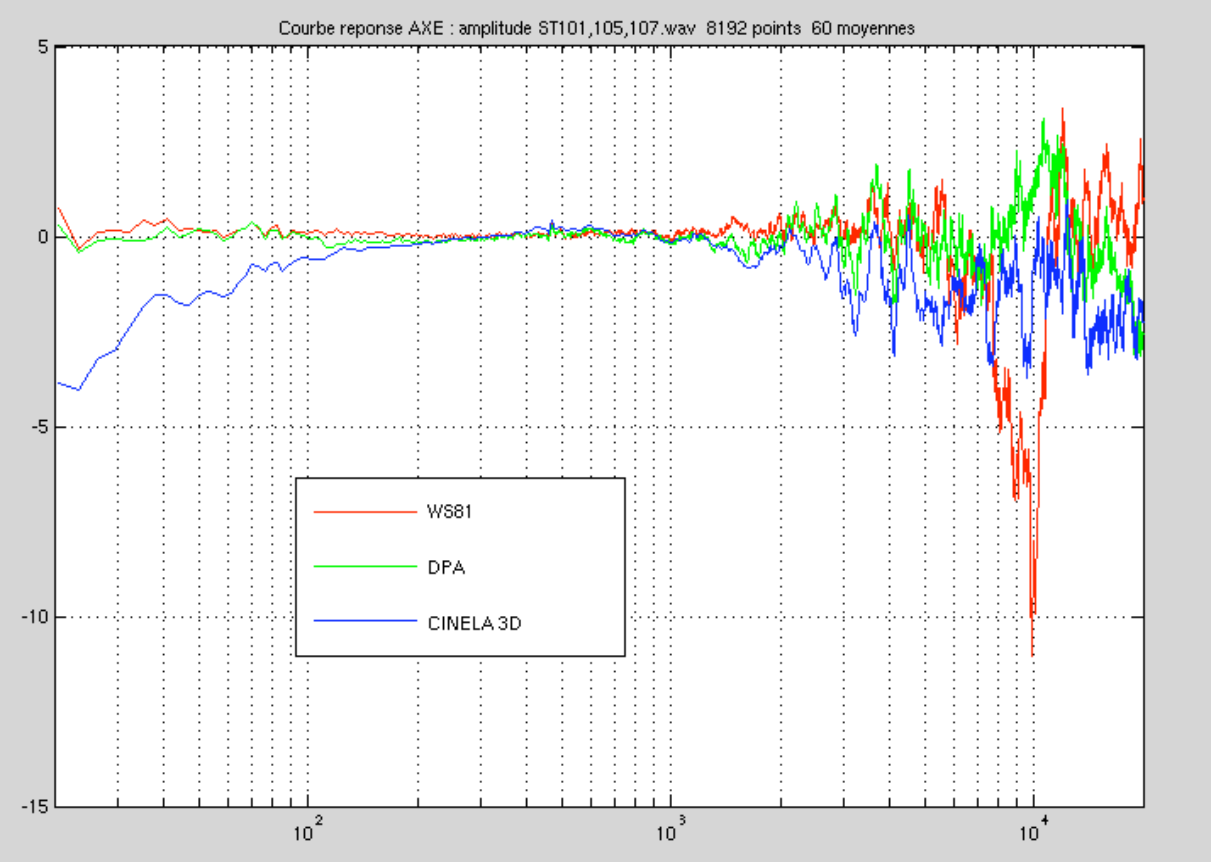


Fig. : Courbes de réponse dans l'axe du microphone équipé de la WS81, DPA, et CINELA 3D.

Bonnette	Type	Dimensions (mm)	Atténuation basses fréquences	A partir de…	Atténuation hautes fréquences	A partir de…
WS81	Cylindrique Cage	Env. 100x440	-	-	Très irrégulière 10 dB	6 KHz
DPA	Profil aérodynamique	210x390	-	-	Irrégulière 2 dB	8 KHz
CINELA	Ovoïdale Cage	240x180	Très faible	60 Hz	Irrégulière 3 dB	3 KHz

Interprétation :

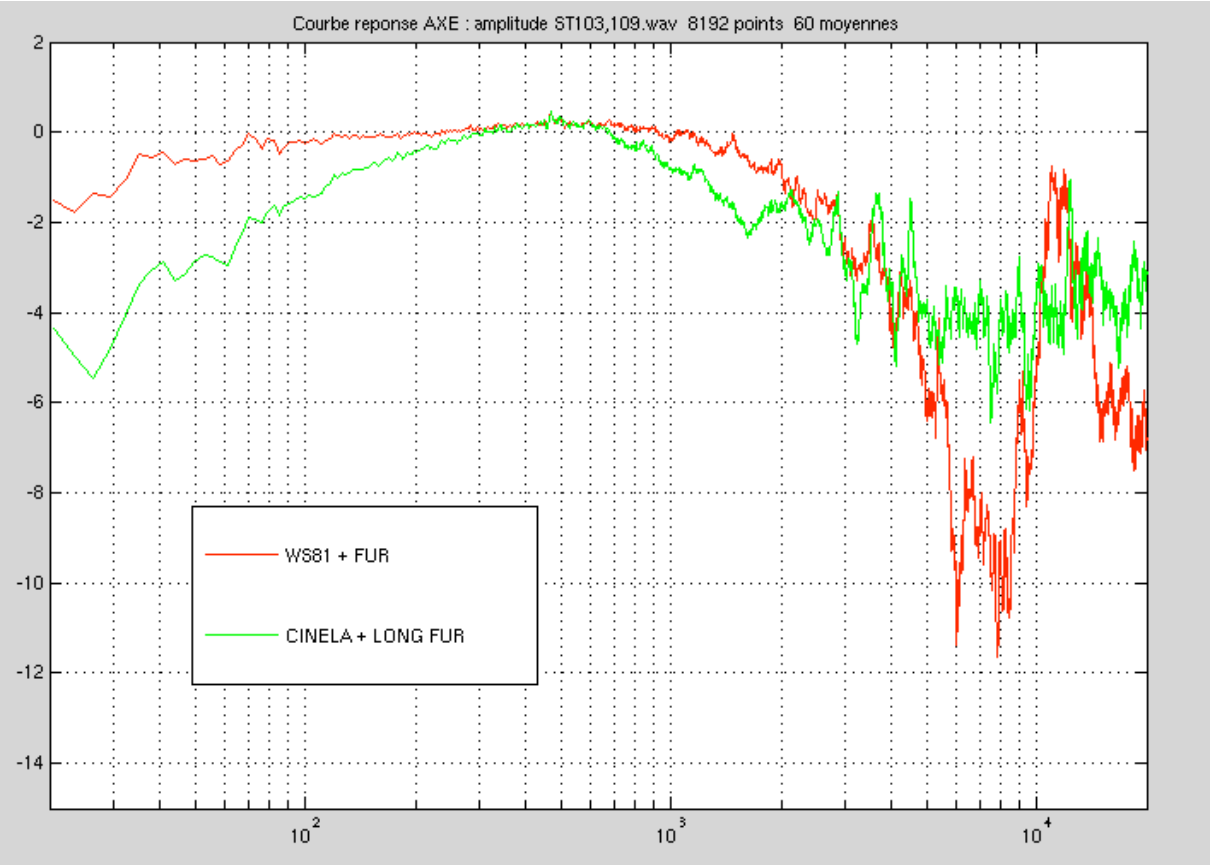
Cette comparaison laisse apparaître une différence de comportement dans les basses fréquences entre la CINELA et la WS81. L'effet coupe-bas est plus présent dans la première. Leurs volumes étant approximativement du même ordre de grandeur, ceci laisserait à penser que la forme ovoïdale de la CINELA, qui est à « mi-chemin » entre le cylindre et la sphère, est plus favorable à l'effet chambre de pression que le tube. De plus, l'exemple de la W20 (sphère parfaite) nous montre une atténuation des basses fréquences encore plus prononcée. Ceci semblerait donc dessiner une tendance selon laquelle l'effet chambre de pression est plus présent dans une forme sphérique que cylindrique. Pourtant, si l'on considère les dimensions de la cavité que représente la bonnette, nous pouvons considérer que nous sommes dans le cas d'une « approximation basses fréquence », et donc que la géométrie de la cavité importe peu dans cet effet coupe-bas. Il nous reste une hypothèse pour expliquer cette différence de comportement dans les basses fréquences : l'impédance de la paroi, qui détermine l'efficacité de la chambre de pression, peut favoriser une perte de niveau dans l'axe. Le tissu de la CINELA est effectivement constitué, en première approximation, d'un maillage plus « structuré» que celui de la WS81. Il est donc caractérisé par une impédance plus importante.

Par ailleurs, nous pouvons remarquer que cette hypothèse semble se vérifier dans le cas de la W20. Le maillage de sa gaze est très dense et l'on observe effectivement une chute importante de la courbe de réponse dans les basses fréquences.

On remarque que la CINELA a un profil spectral type d'une protection à cavité, mais que l'ondulation dans les hautes fréquences est atténuée par rapport au cas de la bonnette cylindrique (WS81). Ceci peut être dû soit à la géométrie (ovoïdale), soit à la matière de l'enveloppe.

Ces trois bonnettes diffèrent avant tout par leurs formes et leurs types de parois. La DPA a une enveloppe très fine en comparaison des deux autres et a une géométrie particulière (profil hélicoïdal allongé). Sa structure et son enveloppe n'occasionnent apparemment qu'un léger détimbrage.

Comparaison de la WS81 et de la CINELA avec leur fourrure :



Courbes de réponse dans l'axe du microphone équipé de la WS81 avec fourrure, et CINELA avec fourrure.

Bonnette	Type	Dimensions (mm)	Atténuation basses fréquences	A partir de…	Atténuation hautes fréquences	A partir de…
WS81 et FOURRURE	Cylindrique Cage	Env. 100x440	Faible	70 Hz	Très irrégulière 10 dB	1 KHz
CINELA et FOURRURE	Ovoïdale	Env. 270x200	Régulière	200 Hz	Irrégulière 4 dB	800 Hz

Synthèse des mesures dans l'axe :

Ces mesures dans l'axe de l'influence des bonnettes sur la réponse du microphone confirment et précisent les principes que nous avons pu aborder en théorie dans la première partie de ce mémoire :

Le filtrage progressif des mousses pleines dans les hautes fréquences :

Les bonnettes en mousse pleines occasionnent un filtrage progressif dans les aigus. L'épaisseur de la mousse accentue cet effet de filtrage : à 10 KHz, il est de -3 dB pour la B5, et de -5 dB pour la W5.

L'effet coupe-bas d'une cavité, fonction de l'impédance de la paroi et du volume :

Les bonnettes à cavité (mousses évidées et cages) introduisent un effet coupe-bas dans l'axe du microphone. On l'explique *a priori* par l'effet chambre de pression qui répartit l'énergie des basses fréquences de manière homogène dans la protection. Nous vérifierons cette hypothèse lors des mesures de directivité.

C'est effet coupe-bas est particulièrement prononcé pour les petits volumes et les parois à maillage dense : à 30 Hz, il est de -5 dB pour la B5D, et de -8 dB pour la W5D et la W20 ; il est moins prononcé dans le cas d'un volume plus grand : l'atténuation à 30 Hz de la CINELA est de -3 dB ; et il est quasiment imperceptible pour les enveloppes à maillage déstructuré : l'atténuation est négligeable dans le cas de la WSR100 et de la WS81.

Résonances dans une cavité, fonction du volume et de la matière de l'enveloppe :

En hautes fréquences, la courbe de réponse présente des ondulations plus ou moins importantes selon la matière de l'enveloppe : des ondes stationnaires semblent apparaître dans le volume. Cette hypothèse devrait être confirmée lors de l'étude de directivité.

Les mesures nous montrent que plus l'enveloppe est dense, et plus l'ondulation est précise et prononcée : la W20 occasionne un trou d'environ 20 dB à 18 KHz dans la courbe de réponse alors que la W5D présente une ondulation beaucoup plus douce et moins localisable.

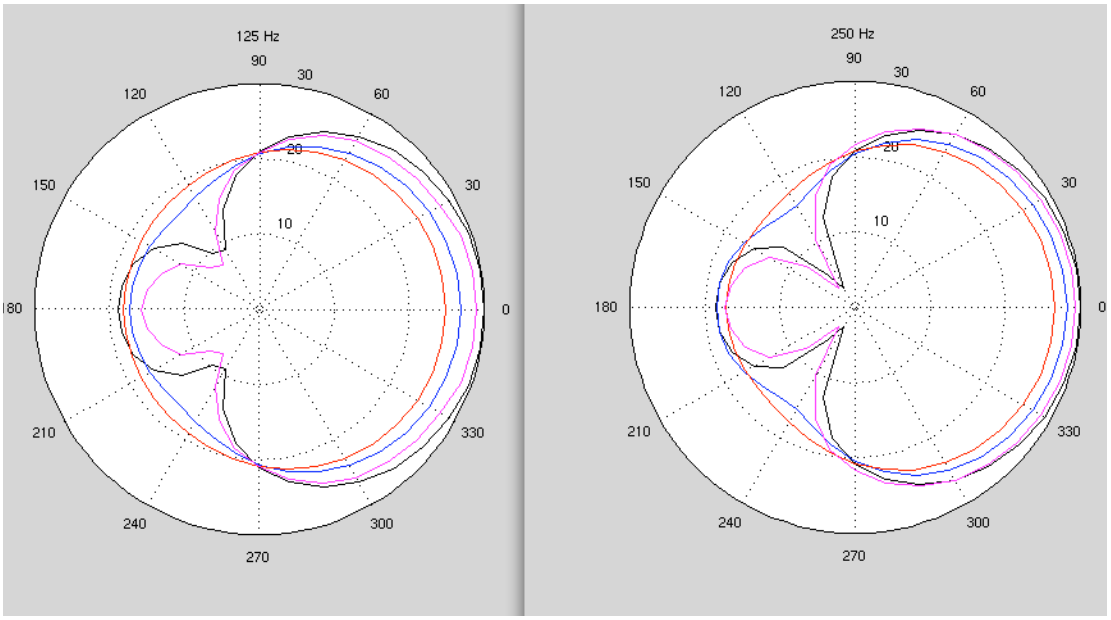
Mesures de directivité :

Outre l'intérêt direct qu'ils présentent pour le choix du matériel, ces résultats vont nous permettre de confirmer les phénomènes de chambre de pression, d'effet de cage (ondes stationnaires), et absorption d'aiguës évoqués dans la partie théorique, et déjà identifiés dans la partie expérimentale des mesures de réponse dans l'axe.

Directivité d'un microphone hypercardioïde associé à : W5D, W20 + FOURRURE, WSR100 + FOURRURE

En noir : le microphone hypercardioïde sans bonnette (référence).
En rouge : la W20 avec fourrure.
En magenta : la WSR100 avec fourrure.
En bleu : la W5D.

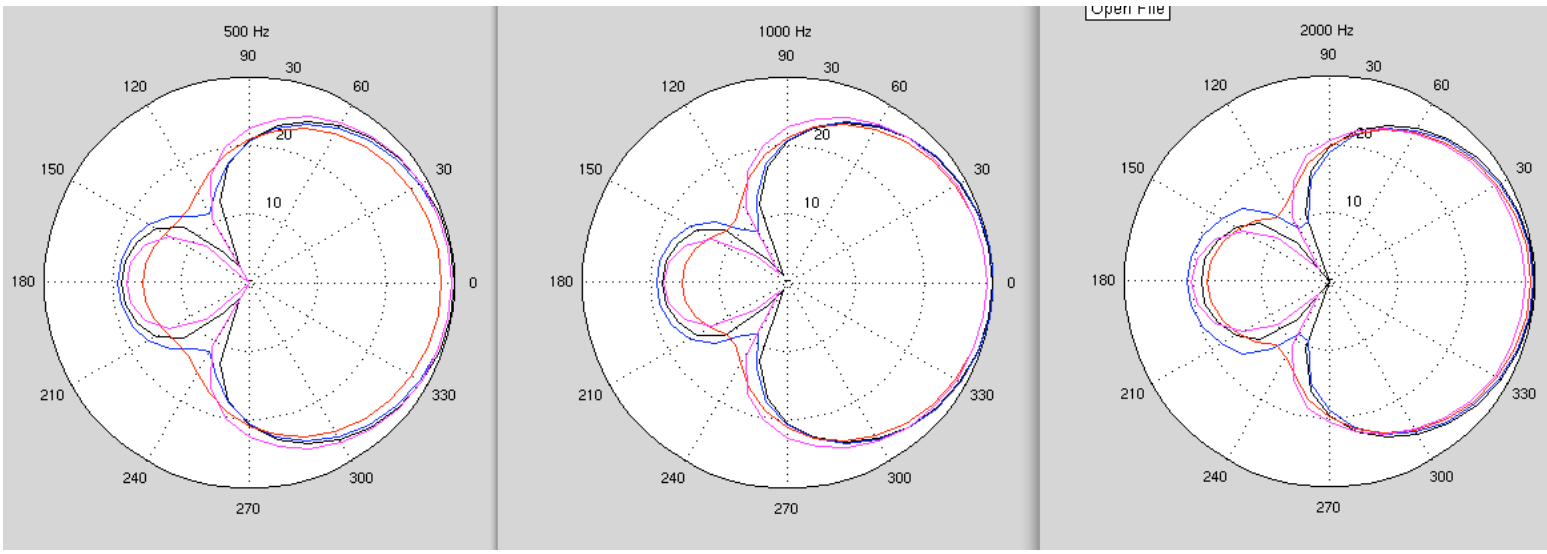
À 125 Hz et à 250 Hz :



Avec la W5D et la W20, la perte de niveau dans l'axe du microphone s'accompagne d'une perte totale de directivité (*quasi* omnidirectionnelle). L'effet de chambre de pression est ici très prononcé.

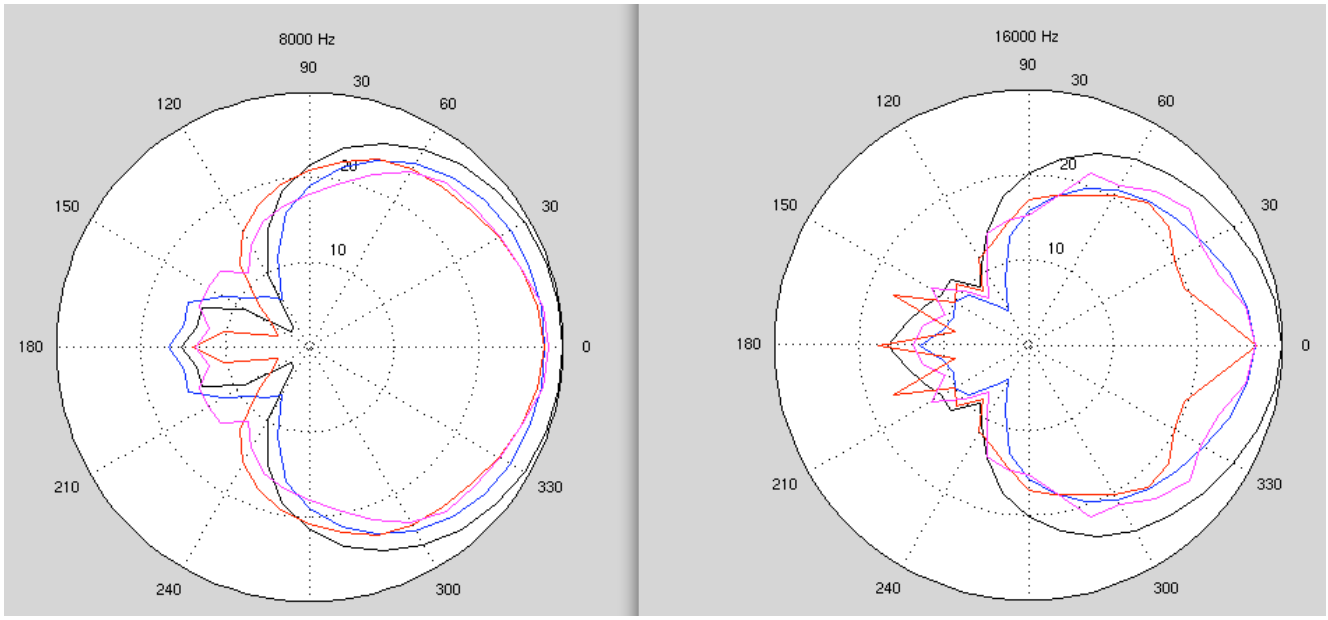
Avec la WSR100, on conserve une certaine directivité. L'effet chambre de pression est moins important.

À 500 Hz, 1000 Hz, et 2000 Hz :



Plus on monte en fréquence et moins l'effet de chambre de pression se fait sentir dans la réponse du microphone.

Et à 8000 Hz et 16000 Hz :



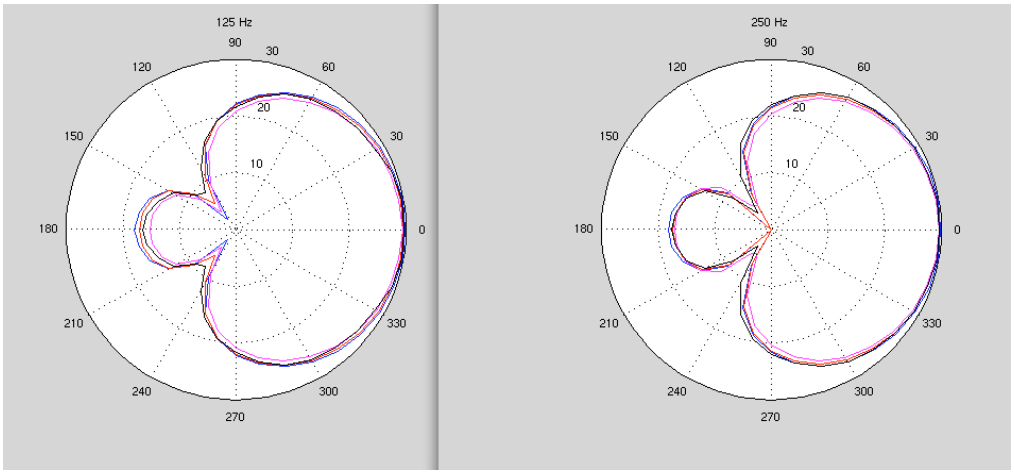
En montant encore en fréquence, la perte de niveau s'accentue, et des irrégularités de plus en plus fortes apparaissent : les aiguës sont absorbées par la paroi et les ondes stationnaires perturbent la directivité.

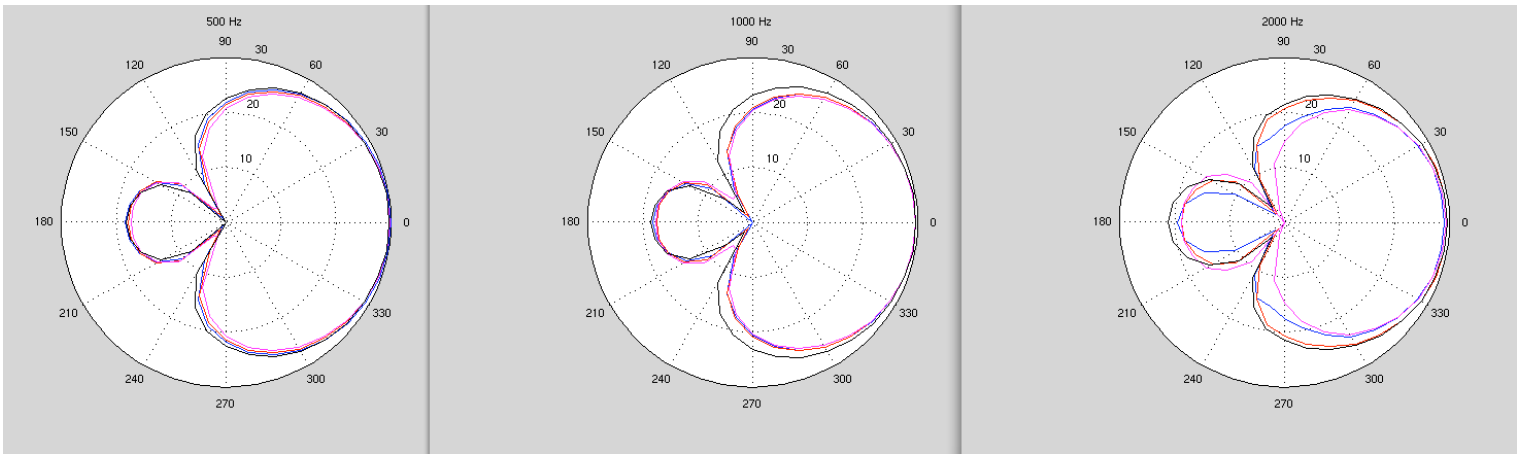
Directivité d'un microphone hypercardioïde associé à : WS81 + FOURRURE, CINELA, et DPA

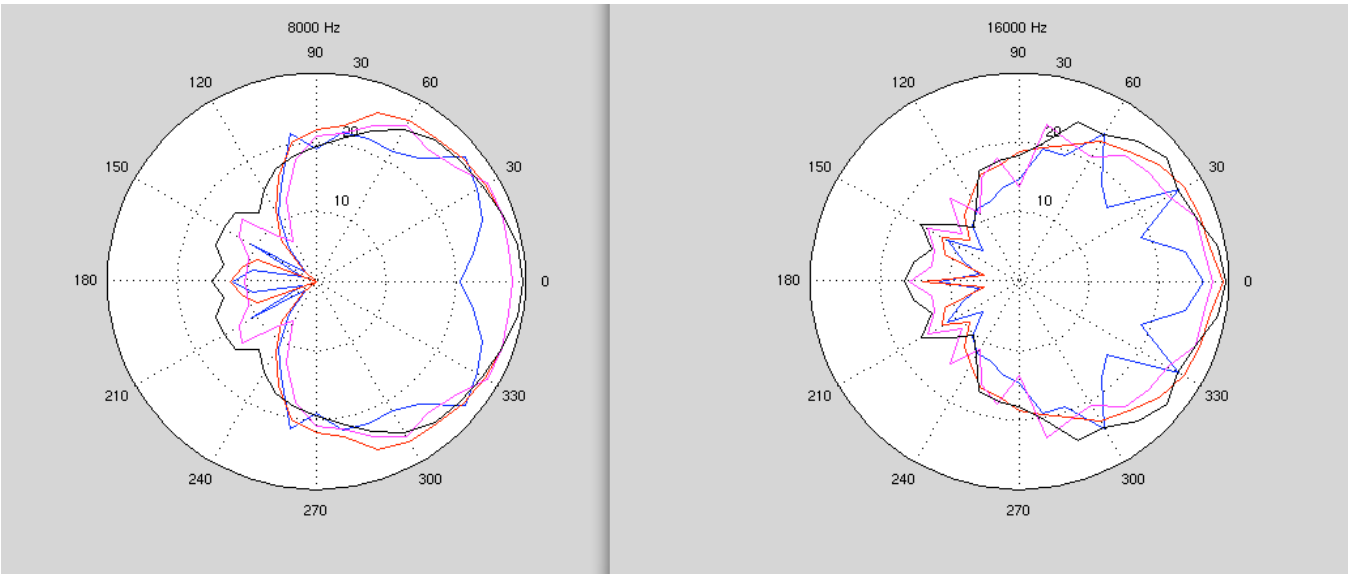
En bleu : WS81 + FOURRURE.

En rouge : DPA.

En magenta : CINELA.







On remarque que pour ces bonnettes, l'effet chambre de pression est moins important (perte de directivité inexistante).

En revanche, la WS81 est très favorable à l'atténuation des hautes fréquences et à la création d'ondes stationnaires.

Synthèse des mesures de directivité

En basses fréquences :

Ces mesures de directivité nous ont permis de compléter la mise en évidence de l'effet de chambre de pression dans les protections anti-vent à cavité. Celui-ci se traduit par une perte de niveau dans l'axe, liée à une perte de directivité.

Les parois des bonnettes de grande dimension étant moins denses, elles n'occasionnent pratiquement pas d'effet de chambre de pression et ne perturbent donc pas la directivité dans le bas du spectre.

En hautes fréquences :

Nous avons pu constater également du point de vue de la directivité les effets des ondes stationnaires dans l'enveloppe de la protection. Celle-ci devient complètement accidentelle.

D'autre part, on a pu remarquer une absorption globale des aiguës dans toutes les directions.

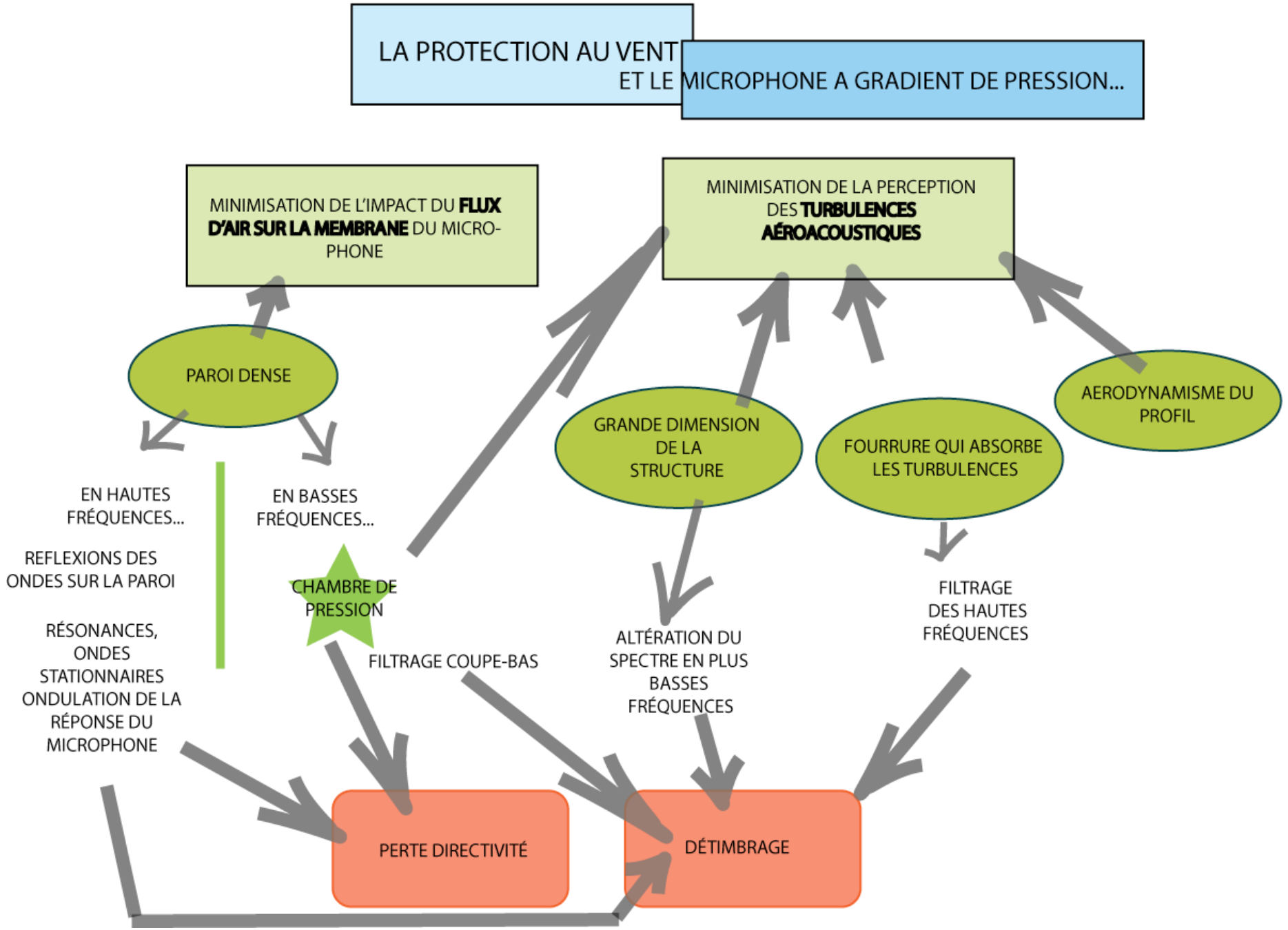
Synthèse des expérimentations

Nos deux campagnes de mesures nous ont permis d'étudier comparativement, à la fois les phénomènes acoustiques (mesures en chambre sourde), et les phénomènes de bruit de vent sur les bonnettes.

Outre la quantification de la différence de sensibilité au vent entre un microphone omnidirectionnel et un microphone à gradient de pression, nous avons pu constater l'efficacité du principe de cavité (mousses et cages) par rapport aux mousses pleines, surtout dans le cas d'un microphone à gradient de pression. Nous avons aussi mesuré le gain de protection lorsque les dimensions de la bonnette augmentent, et que l'on applique une coiffe en fourrure pour réduire le bruit des turbulences.

De cet unique point de vue, la problématique de la protection au vent d'un microphone peut paraître simple à résoudre. Mais il est nécessaire de mesurer l'influence de cet accessoire de protection sur la réponse en timbre et le comportement en directivité du microphone.

On a ainsi montré, à l'occasion de nos mesures, l'existence de phénomènes acoustiques que l'on a pu identifier et quantifier. En comparant les protections en mousse pleine et les protections à cavité (mousses et cages), nous avons fait apparaître l'effet de chambre de pression qui se traduit par une atténuation dans l'axe et une perte importante de la directivité dans les basses fréquences. En hautes fréquences, des résonances perturbent plus ou moins en fonction de l'impédance de la paroi et des dimensions de la bonnette la courbe de réponse et la directivité. L'atténuation des aiguës a pu également être quantifiée selon les modèles.


LA PROTECTION AU VENT
ET LE MICROPHONE A GRADIENT DE PRESSION...
MINIMISATION DE L'IMPACT DU **FLUX D'AIR SUR LA MEMBRANE** DU MICRO-PHONE
MINIMISATION DE LA PERCEPTION DES **TURBULENCES AÉROACOUSTIQUES**
PAROI DENSE
GRANDE DIMENSION DE LA STRUCTURE
FOURRURE QUI ABSORBE LES TURBULENCES
AERODYNAMISME DU PROFIL
EN HAUTES FRÉQUENCES...
REFLEXIONS DES ONDES SUR LA PAROI
RÉSONANCES, ONDES STATIONNAIRES ONDULATION DE LA RÉPONSE DU MICROPHONE
EN BASSES FRÉQUENCES...
CHAMBRE DE PRESSION
FILTRAGE COUPE-BAS
ALTÉRATION DU SPECTRE EN PLUS BASSES FRÉQUENCES
FILTRAGE DES HAUTES FRÉQUENCES
PERTE DIRECTIVITÉ
DÉTIMBRAGE

Considérations pratiques pour l'opérateur du son

- L'efficacité d'une protection anti-vent va à l'encontre du respect du timbre et de la directivité.

- Les protections de type cage et de type mousse à cavité sont adaptées à l'utilisation de microphones à gradient de pression. Il est possible de s'affranchir de problèmes liés à un vent relativement fort en appliquant une coiffe en fourrure. Il ne faut cependant pas négliger l'influence de ce type de bonnette sur le microphone en termes de réponse et de directivité.

- Pour un vent très gênant, considérons également qu'il n'est pas forcément nécessaire de chercher à conserver une courbe de réponse la plus plate possible. L'accumulation de plusieurs cages peut être une solution valable d'un point de vue subjectif.

- Dans certains cas, pour se protéger d'un vent fort, il pourrait être bénéfique d'utiliser un microphone omnidirectionnel. Même si cela va à l'encontre des habitudes du preneur de son sur le plateau de cinéma, un tel microphone permettrait, en allégeant la protection anti-vent, d'amoindrir le détimbrage occasionné par une lourde protection, tout en bénéficiant d'une sensibilité au vent très diminuée. Rappelons que dans les basses fréquences, la directivité d'un gradient de pression est déjà très diminuée.

- Associée à la faible sensibilité au vent d'une capsule omnidirectionnelle, la protection en mousse offre une protection avantageuse du fait de sa faible (et corrigible) influence sur la courbe de réponse du microphone.

- La perte de directivité est certes problématique, mais l'extérieur peut s'apparenter souvent à un champ *quasi* libre. Il n'y a donc pas de réverbération contre laquelle on cherche à lutter d'habitude avec un microphone directif. Les milieux urbains, forestiers ou marins, risquent cependant d'être difficiles à pratiquer avec un omnidirectionnel, car le hors-champ est souvent source de pollution sonore pour le preneur de son.

- Enfin, la perte de directivité n'est pas seulement dommageable du point de vue du « cadrage » d'une source convoitée parmi d'autres. Cette conséquence doit être mesurée également pour les systèmes de prise de son stéréophoniques et multicanaux. En effet, tout système basé sur une différence d'intensité équipé de bonnettes à cavité subira une modification de son angle de prise de son.

Conclusion

Ce mémoire a été l'occasion d'introduire quelques bases de réflexion à propos de la protection au vent du microphone.

Nous avons tout d'abord cherché à généraliser la problématique de la protection en intégrant la connaissance de phénomènes aérodynamiques du vent. Dans certains cas, il nous a semblé être utile au preneur de son de connaître ces notions pour améliorer les conditions de son enregistrement (phénomènes de freinage du vent sous l'effet du sol ou d'un obstacle plan).

Il a été ensuite plus précisément question du matériel de prise de son. Des informations quantitatives et comparatives ont été présentées et analysées. Ces données ont été exploitées, dans ce mémoire, pour identifier et connaître l'origine de certains phénomènes de génération de bruit et d'influence sur les caractéristiques du microphone, mais il est envisageable qu'elles puissent servir en tant qu'indications de performances des accessoires pour l'opérateur du son. L'existence de ces données comparatives ne nous sont en tout cas pas connues.

Il n'a cependant pas été possible dans ce mémoire de traiter le sujet de façon très approfondie. Il serait pertinent de poursuivre les recherches dans des domaines que nous n'avons qu'effleuré. L'approche subjective (gêne du bruit de vent selon les modèles de bonnette, et gêne apportée par la protection du point de vue du détimbrage) devrait être approfondie afin de compléter notre problématique d'un point de vue perceptif.

Il serait également édifiant de procéder à une exploration de la sensibilité au vent des microphones à directivités intermédiaires ; d'étudier la question des angles de prise de son pour les systèmes stéréophoniques protégés du vent ; d'étudier certains autres types de capteurs comme les électrets.

Un autre champ de recherche possible serait de distinguer la part du bruit dû aux écoulements, de celui dû au flux d'air résiduel sur la membrane.

Remerciements

Prêt de matériel : DCA, AREITEC (Michel Pierre et Micheline Martin) et TAPAGES (Olivier Binet), Université d'Orsay.

Chambre sourde : Michel Pollack (LAM), Jacques Perdereau, Jean-Noël Durocher, Cedric De Waubert (LNE).

Location matériel : Meduson.

Outils d'analyse du signal : Philippe Chenevez.

Informations et données expérimentales sur le vent : Nicolas Delpierre (Lab. Ecophysiologie végétale [UPS, orsay])

Photographie couverture : Audrey Cerdan.

Conseils et informations : M. Vincent (Météo France).

Opérateurs du son : Pierre Gamet, François Walledisch, Pierre Excoffier, Dominique Vieillar, Philippe Barbeau.

Aide Louis Lumière : André Kabidi, Aymeric Dupas, Promotion Son 2007.

Ressources bibliographiques

-*Climatologie de l'environnement - Cours et exercices corrigés*, Gérard Guyot, DUNOD, 1999.

-*Etude de l'écoulement de l'air au voisinage d'un obstacle poreux en couche limite turbulente (Aérodynamique des brise-vent),* Gérard Guyot, Thèse Paris VI, 1972.

-*Calcul du rayonnement acoustique d'écoulements turbulents basé sur des analogies acoustiques couplées aux simulations aérodynamiques instationnaires*, Frank Perot, Thèse Ecole Centrale de Lyon, 2004.

-*Microphones and wind*, Jorg Wutke, J. AES, 1992.

-*Microphones, High Wind and Rain*, Eddy B.Brixen (DPA Microphone University).