

Couplage et temps de réverbération

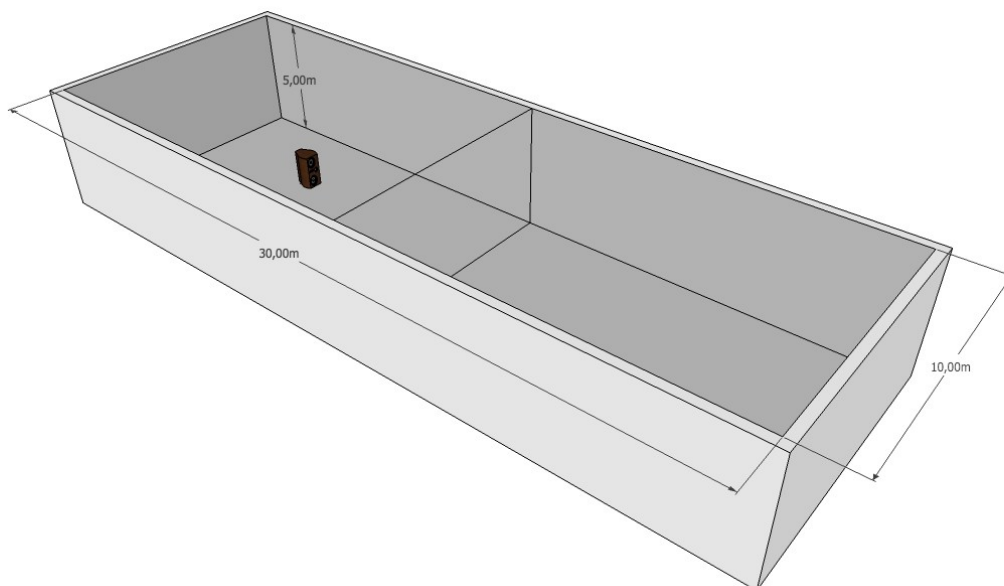
Frédéric Poirrier
Novembre 2012

Pour faire suite à l'exposé concernant les salles couplées triples disposées en série, on s'intéresse maintenant au cas trivial des salles couplées doubles. La méthode de résolution donnant l'expression des niveaux de pression réverbérée dans les locaux couplés ayant été présentée dans le précédent article, on se bornera à présent à indiquer les résultats des simulations sans formalismes mathématiques. Il n'est donc pas nécessaire au lecteur de maîtriser les techniques de résolution des systèmes d'équations différentielles ou de comprendre les mécanismes d'échanges énergétiques liés au couplage pour suivre cet exposé.

Dans un premier exemple, on observera l'influence du couplage dans une salle de grande longueur puis dans un second temps, on examinera l'incidence de la surface de couplage sur la décroissance des niveaux de pression réverbérée.

1/ Couplage dans une salle de grande longueur

Considérons la salle suivante, de dimensions 5 x 10 x 30 m de volume $V=1500 \text{ m}^3$ et de superficie totale de parois $S=1000 \text{ m}^2$.



On sépare la salle en deux cellules d'égale volume de 500 m^3 couplées par une surface virtuelle S_c de 50 m^2 . La première cellule nommée salle source, indiquée 1 dans la suite de l'exposé, contient une source sonore omnidirectionnelle de puissance 1 mW . La seconde cellule, indiquée 2, est la salle réceptrice. On se place dans les hypothèses du champ diffus de Sabine.

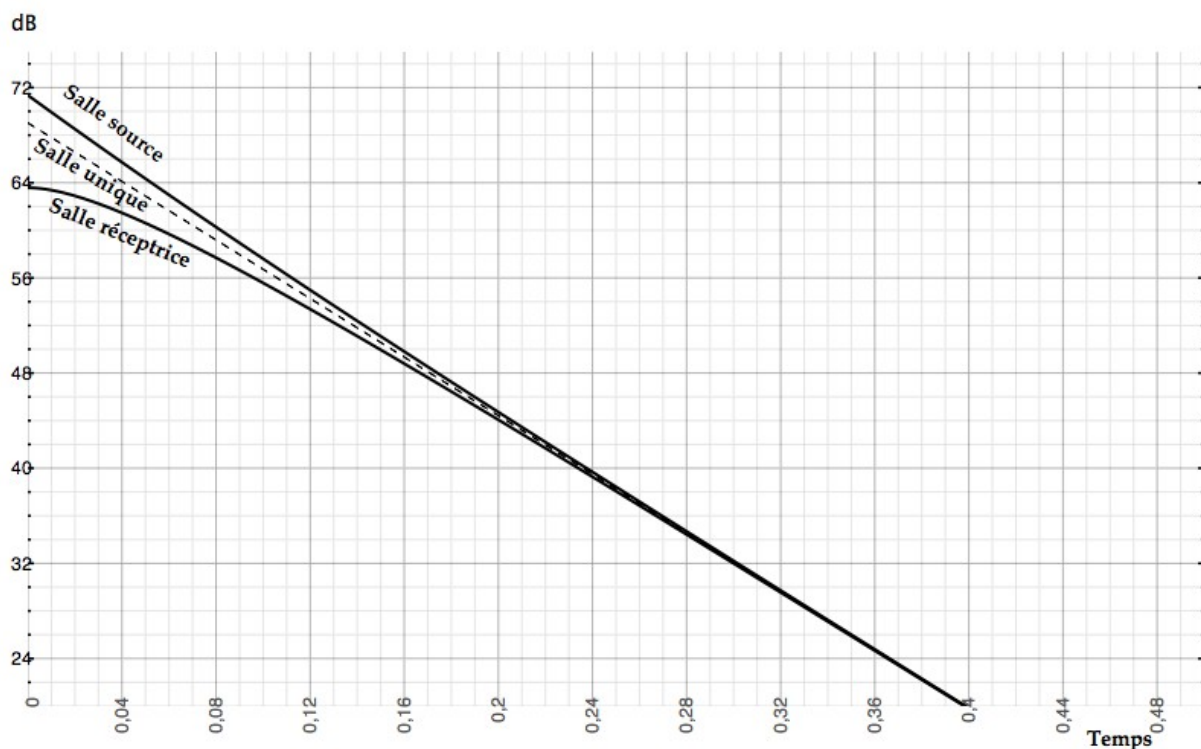
a) Cas d'une répartition homogène de l'absorption

Dans ce premier cas, on suppose une répartition parfaitement homogène dans le local de l'absorption en considérant que le coefficient d'absorption de Sabine α de toutes les parois vaut $0,50$.

Le tableau ci-dessous indique les caractéristiques géométriques et acoustiques de chaque salle.

	Salle source	Salle réceptrice	Modèle salle unique
Coefficient d'absorption	$\alpha = 0,50$	$\alpha = 0,50$	$\alpha = 0,50$
Absorption de Sabine	$A_1 = 250 \text{ m}^2$	$A_2 = 250 \text{ m}^2$	$A = 500 \text{ m}^2$
Volume	$V_1 = 750 \text{ m}^3$	$V_2 = 750 \text{ m}^3$	$V = 1500 \text{ m}^3$
Surface de couplage	$S_c = 50 \text{ m}^2$		////////////////

La décroissance temporelle, après arrêt de la source sonore, des niveaux de pression réverbérée dans chaque salle, ainsi que dans le cas du modèle salle unique ($V = V_1 + V_2$), figure sur le graphique ci-dessous :



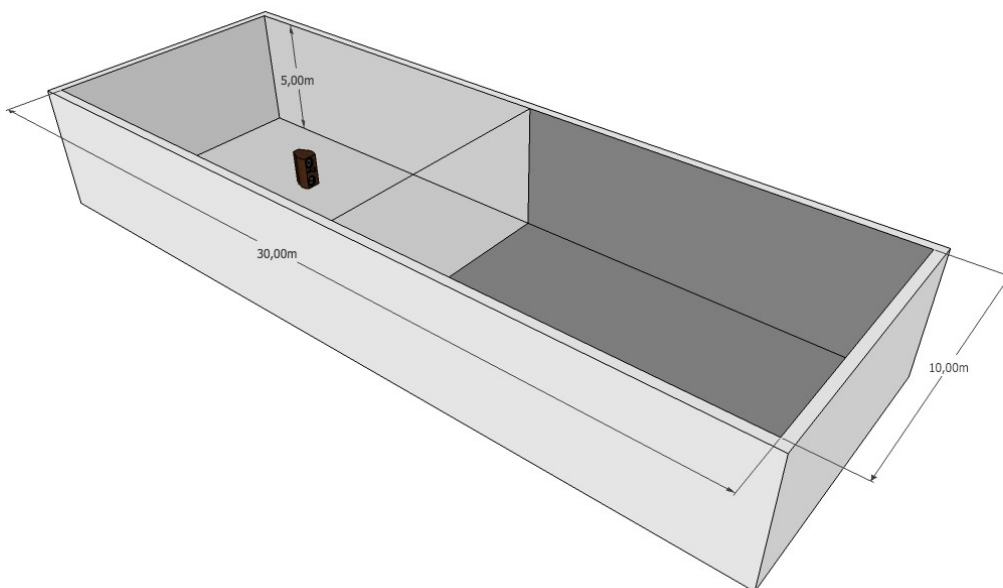
Les temps de réverbération, au strict sens mathématique (durée correspondant à une diminution du niveau de pression réverbérée de 0 à -60 dB), qui découlent des courbes sont indiqués dans le tableau suivant :

	Salle source	Salle réceptrice	Modèle salle unique
Temps de réverbération	0,47 s	0,58 s	0,48 s

On observe, malgré la symétrie du problème $V_1=V_2$ et $A_1=A_2$, que le temps de réverbération de la salle réceptrice est accru par rapport à celui de la salle source et du modèle salle unique. Il n'y a donc pas de réciprocité des régimes transitoires comme on aurait pu l'imaginer intuitivement !

b) Cas d'une répartition hétérogène : salle source réverbérante et salle réceptrice mate

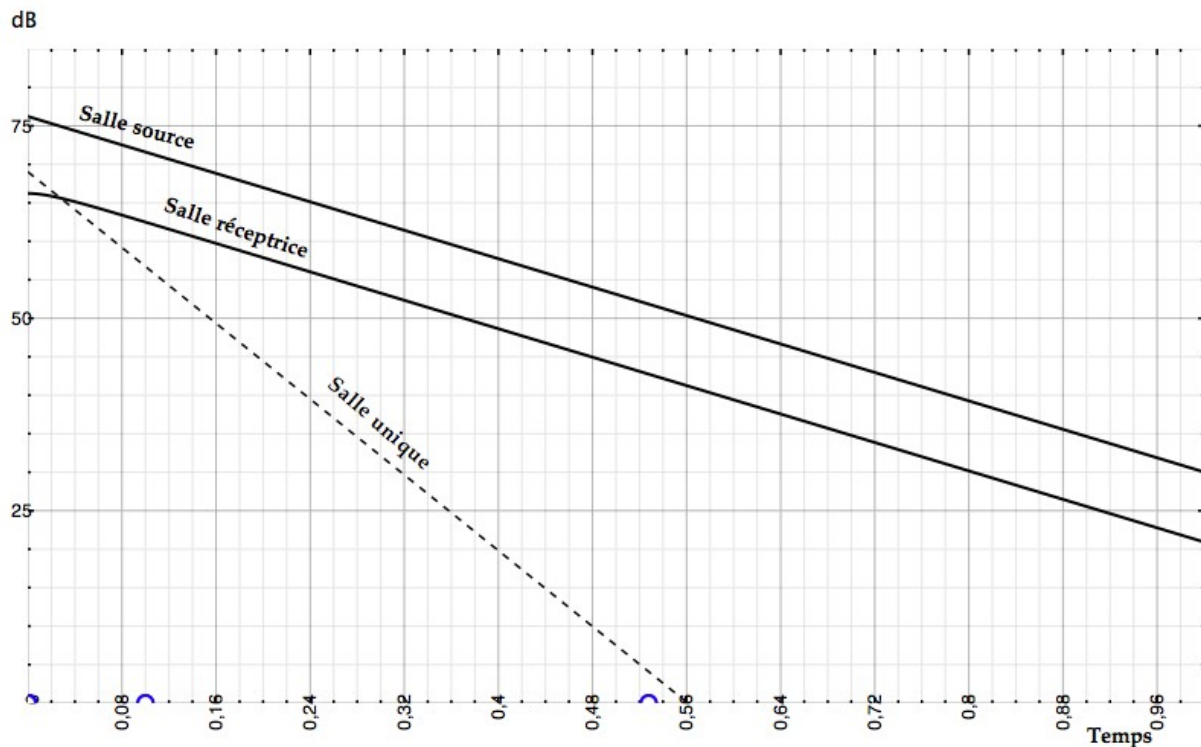
Dans ce second cas très théorique, on suppose une répartition hétérogène de l'absorption en considérant que le coefficient d'absorption de Sabine α de la salle source vaut 0,10 et celui de la salle réceptrice 0,90.



Il vient alors :

	Salle source	Salle réceptrice	Salle unique
Coefficient d'absorption	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,90$	$\alpha_{\text{moy}} = 0,50$
Absorption de Sabine	$A_1 = 50 \text{ m}^2$	$A_2 = 450 \text{ m}^2$	$A = 500 \text{ m}^2$
Volume	$V_1 = 750 \text{ m}^3$	$V_2 = 750 \text{ m}^3$	$V = 1500 \text{ m}^3$
Surface de couplage	$S_c = 50 \text{ m}^2$		////////////////

La décroissance temporelle des niveaux de pression réverbérée donne maintenant



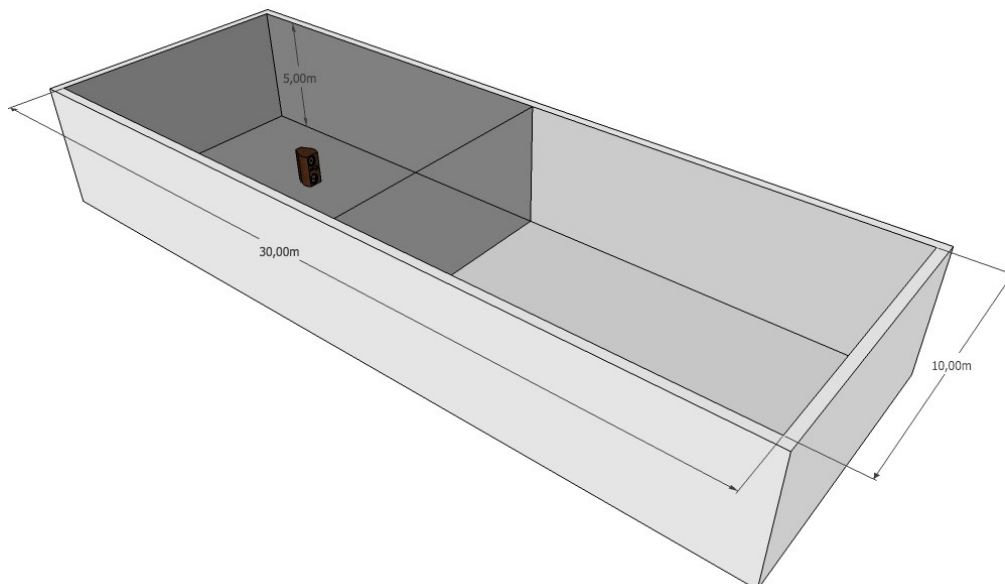
Les temps de réverbération deviennent :

	Salle source	Salle réceptrice	Modèle salle unique
Temps de réverbération	1,31 s	1,32 s	0,48 s

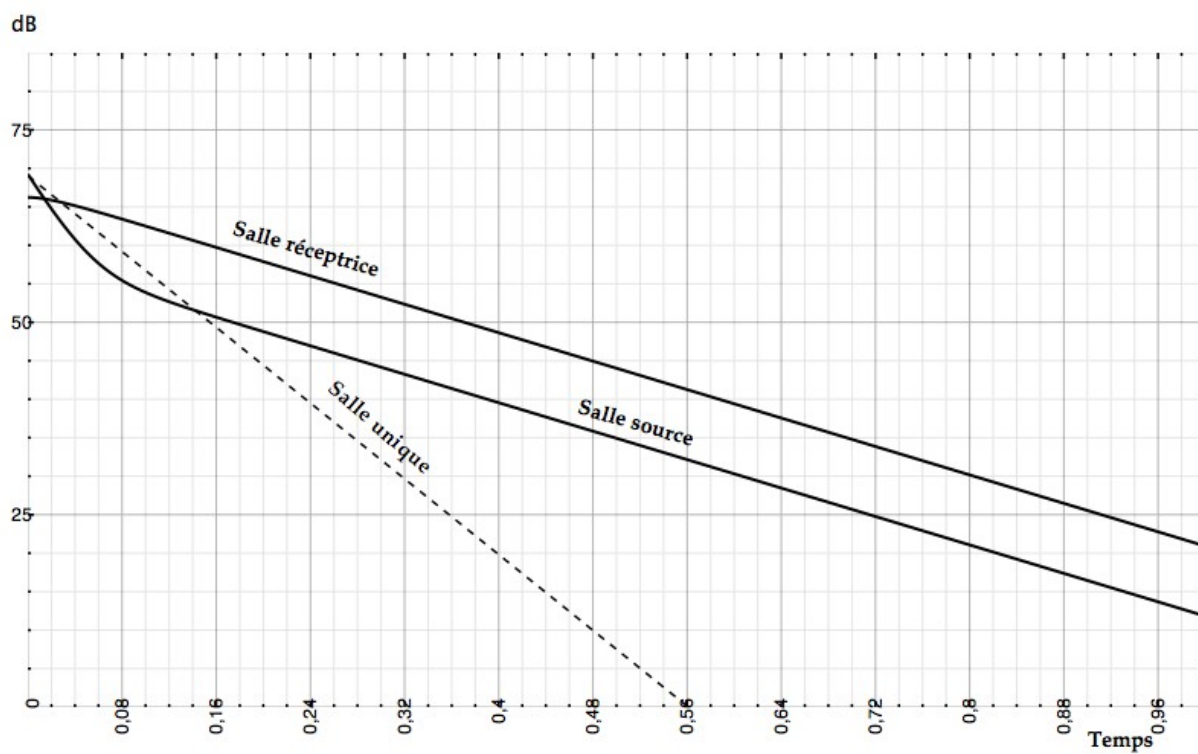
Ce qui frappe l'esprit à la vue des résultats c'est que l'estimation du temps de réverbération avec le modèle salle unique est maintenant complètement erronée ! Le temps de réverbération de la salle réceptrice est proche de celui de la salle source alors que cette salle est bien plus mate ! Les taux de décroissance des courbes semblent identiques en dépit de la dissymétrie des absorptions. Pour comprendre ces phénomènes, il faudrait étudier les échanges énergétiques entre les cellules, mais là n'est pas l'objet de ce topo. Pour l'aspect pratique, on retiendra simplement qu'une dissymétrie de la répartition des matériaux d'absorption dans un local engendre des écarts importants avec le calcul du temps de réverbération à l'aide de la formule de Sabine dans le modèle salle unique.

c) Cas d'une répartition hétérogène : salle source mate et salle réceptrice réverbérante

On inverse maintenant l'absorption des deux cellules afin d'observer une éventuelle réciprocité des régimes transitoires. Les caractéristiques deviennent :



	Salle source	Salle réceptrice	Salle unique
Coefficient d'absorption	$\alpha = 0,90$	$\alpha = 0,10$	$\alpha_{\text{moy}} = 0,50$
Absorption de Sabine	$A_1 = 450 \text{ m}^2$	$A_2 = 50 \text{ m}^2$	$A = 500 \text{ m}^2$
Volume	$V_1 = 750 \text{ m}^3$	$V_2 = 750 \text{ m}^3$	$V = 1500 \text{ m}^3$
Surface de couplage	$Sc = 50 \text{ m}^2$		////////////////



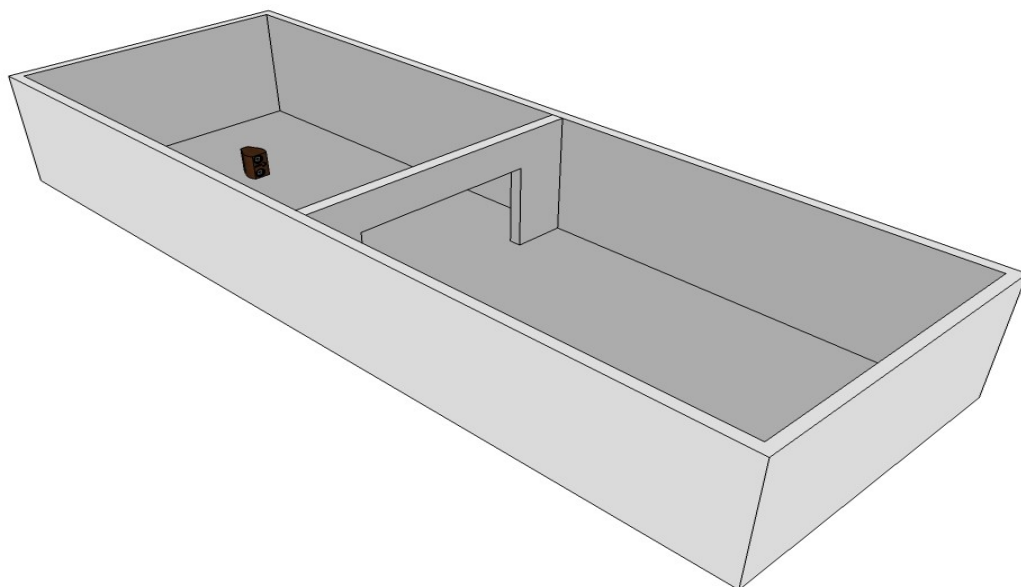
	Salle source	Salle réceptrice	Salle unique
Temps de réverbération	0,83 s	1,35 s	0,48 s

Comme pour la précédente situation, le modèle de décroissance salle unique n'a pas de sens. Le temps de réverbération de la salle réceptrice est supérieur à celui de la salle source. Par ailleurs, on observe un phénomène étrange: le niveau de pression réverbérée de la salle source décroît d'abord rapidement pour venir croiser la courbe de décroissance de la salle 2. On a une inversion des niveaux réverbérés. Puis, il apparaît une rupture de pente dans la décroissance de la salle source. Cet événement est lié à un renversement des débits entre les deux salles. Comme cette rupture de pente intervient assez tôt dans la décroissance, elle peut engendrer des situations d'écoute difficiles.

Pour conclure, et à la lecture de ces simulations, on retiendra que la non-prise en compte du couplage dans les salles de grande longueur ou plus généralement dans les salles couplées, donne lieu forcément à des difficultés prévisionnelles pour l'évaluation des temps de réverbération. J'invite les internautes intéressés par les mécanismes d'échanges énergétiques dans les salles couplées à consulter l'excellent ouvrage de Jacques Jouhaneau, « *Acoustique des salles et sonorisation* » où le thème des champs réverbérés transitoires dans les locaux doubles est largement abordé avec toute la rigueur nécessaire.

2/ Incidence de la surface de couplage S_c

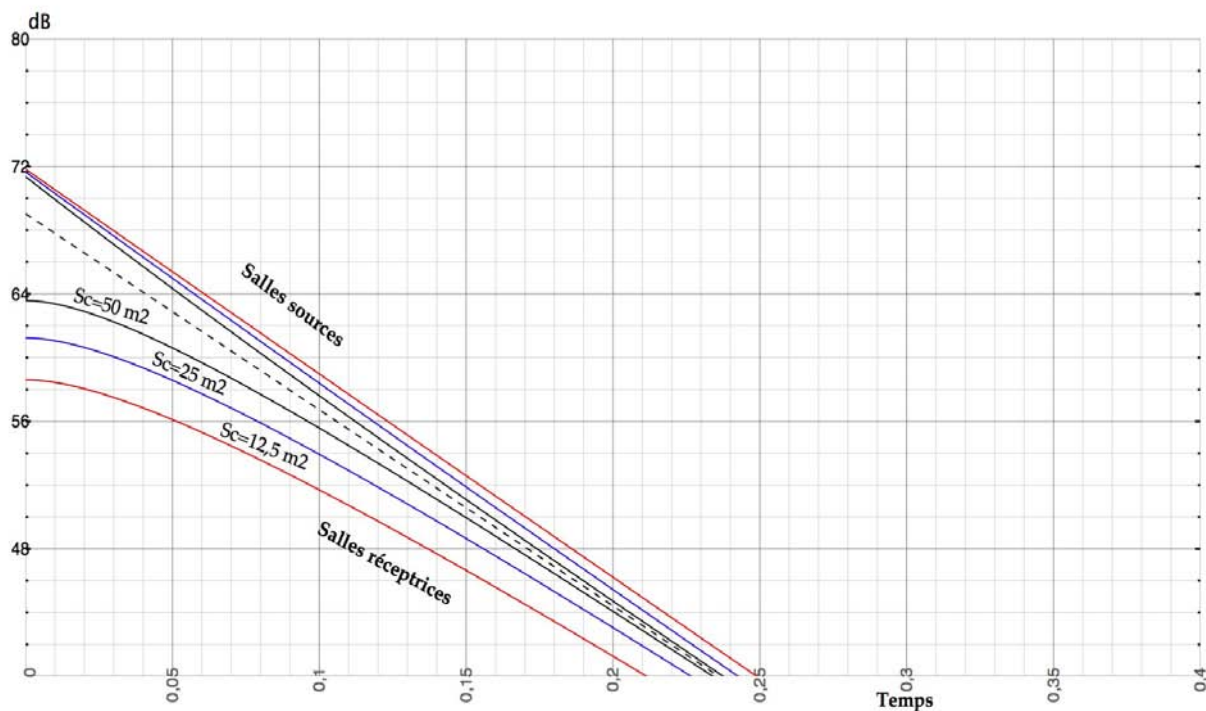
Nous reprenons maintenant la même problématique, dimensions et absorptions inchangées mais en prenant pour surface de couplage 50 m², 25 m² et 12,5 m².



a) Cas d'une répartition homogène de l'absorption

On supposera que la cloison séparatrice n'apporte pas d'absorption supplémentaire. On rappelle ci-dessous les caractéristiques géométriques et acoustiques de chaque salle.

	Salle source	Salle réceptrice	Modèles salle unique
Coefficient d'absorption	$\alpha = 0,50$	$\alpha = 0,50$	$\alpha = 0,50$
Absorption de Sabine	$A_1 = 250 \text{ m}^2$	$A_2 = 250 \text{ m}^2$	$A = 500 \text{ m}^2$
Volume	$V_1 = 750 \text{ m}^3$	$V_2 = 750 \text{ m}^3$	$V = 1500 \text{ m}^3$
Surface de couplage	$S_c = 50, 25 \text{ et } 12,5 \text{ m}^2$		////////////////

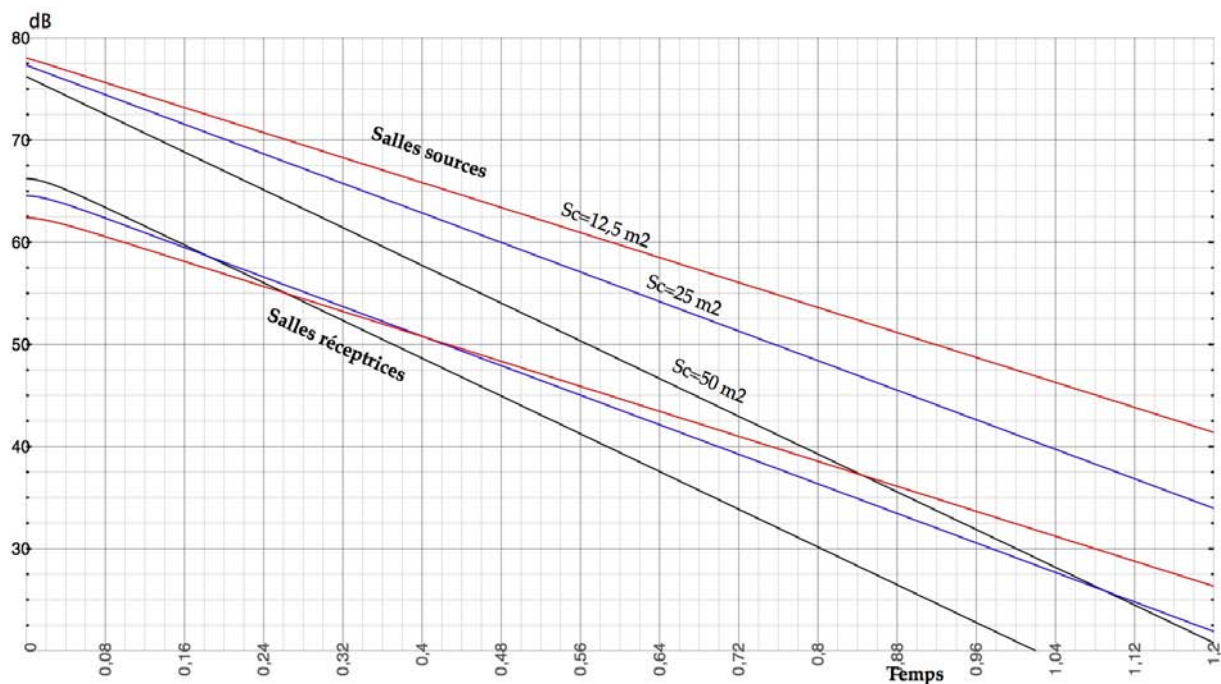


Les nouvelles courbes, en bleu pour une surface de couplage de 25 m^2 et en rouge pour une surface de couplage $12,5 \text{ m}^2$, ont globalement la même allure que les courbes noires de la situation précédente ($S_c = 50 \text{ m}^2$). Les taux de décroissances, pour les salles sources ou pour les salles réceptrices, sont relativement similaires. Seuls les écarts des niveaux de pression réverbérée stationnaires, à l'instant initial $t=0$, ont augmenté avec la diminution de la surface de couplage. Pour cette situation, les temps de réverbération sont peu affectés par la variation de la surface de couplage.

b) Cas d'une répartition hétérogène : salle source réverbérante et salle réceptrice mate

On reprend comme précédemment :

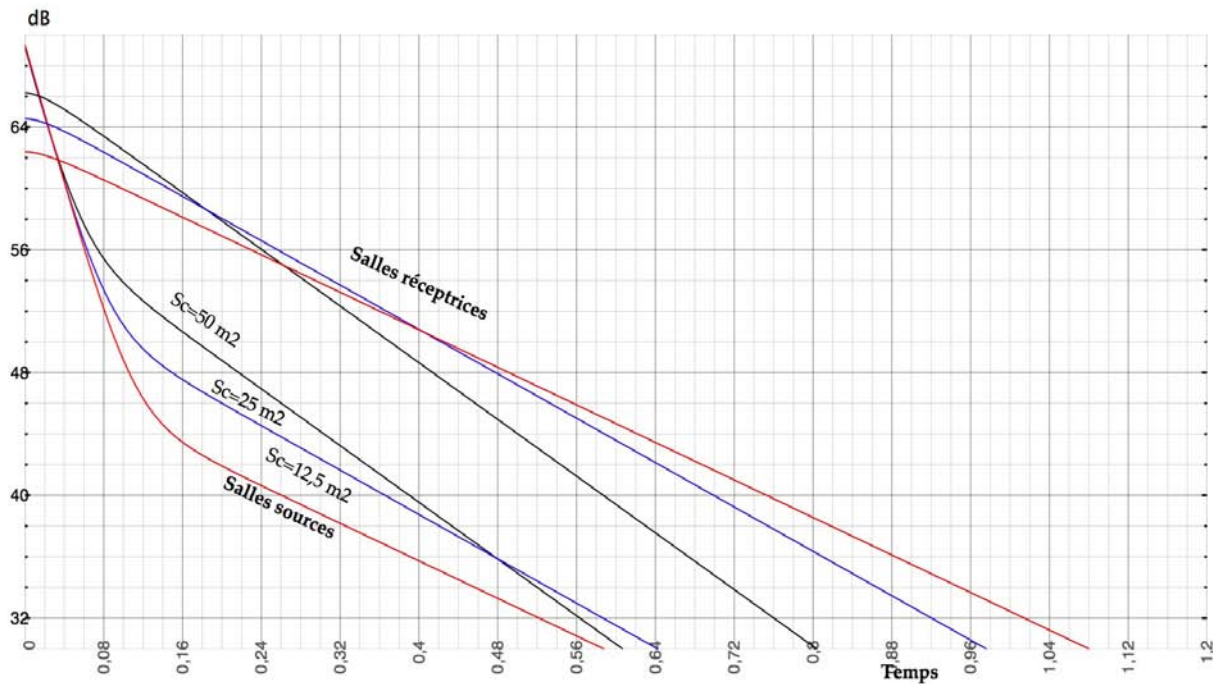
	Salle source	Salle réceptrice
Coefficient d'absorption	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,90$
Absorption de Sabine	$A_1 = 50 \text{ m}^2$	$A_2 = 450 \text{ m}^2$
Volume	$V_1 = 750 \text{ m}^3$	$V_2 = 750 \text{ m}^3$
Surface de couplage	$S_c = 50, 25 \text{ et } 12,5 \text{ m}^2$	



On observe maintenant une réduction des taux de décroissance des courbes lorsque la surface de couplage diminue. Les temps de réverbération sont donc augmentés, dans la salle source et dans la salle réceptrice, lorsque la surface de couplage est réduite.

c) Cas d'une répartition hétérogène : salle source mate et salle réceptrice réverbérante

	Salle source	Salle réceptrice
Coefficient d'absorption	$\alpha = 0,90$	$\alpha = 0,10$
Absorption de Sabine	$A_1 = 450 \text{ m}^2$	$A_2 = 50 \text{ m}^2$
Volume	$V_1 = 750 \text{ m}^3$	$V_2 = 750 \text{ m}^3$
Surface de couplage	$S_c = 50, 25 \text{ et } 12,5 \text{ m}^2$	



Une nouvelle fois, les taux de décroissance sont réduits et les temps de réverbération augmentent lorsque la surface de couplage diminue. L'inversion des niveaux de pression réverbérée et la rupture de pente observée dans la salle source, ne sont pas perturbés par la réduction de la surface de couplage. On remarque toutefois que la rupture de pente arrive plus tard lorsque la surface de couplage est petite.

J'espère que cette première approche des conséquences du couplage aura suscité votre intérêt.

Bibliographies :

Acoustique des salles et sonorisation de Jacques Jouhaneau, collection CNAM(édition TEC & DOC)

Outils mathématiques à l'usage des scientifiques et ingénieurs d'Elie Belorizky, collection Grenoble sciences (édition EDP sciences)

Salles couplées triples <http://www.conseils-acoustique.com/index.php/salles-couplees-triples>