

Journées de printemps de la SSA
15 mai 2014, Lausanne

Optimisation des conditions d'intelligibilité dans les nouvelles stations du métro à Paris

Victor Desarnaulds, Thomas Juguin

EcoAcoustique SA, 24. av. Université, 1005 Lausanne, desarnaulds@ecoacoustique.ch

Plan de la présentation

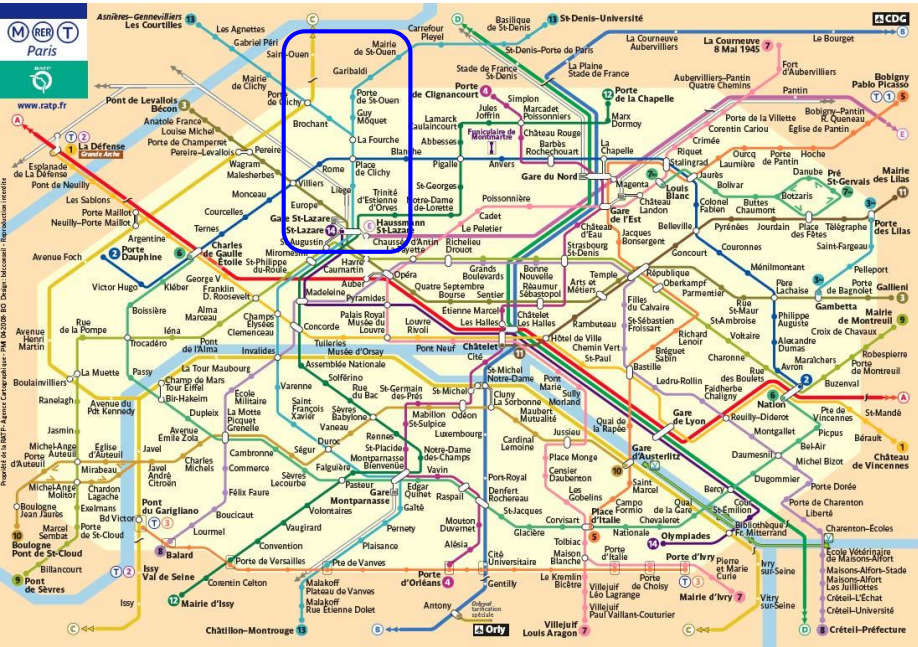
- 1) Introduction
- 2) Exigences
- 3) Concepts et principes
- 4) Résultats des simulations
- 5) Discussion et conclusion

1) Introduction

- ◆ Exigences sécurité locaux publics
- ◆ Spécificités grands volumes (Tr, sonorisation, limite modèles analytiques)
- ◆ Spécificités tunnels (circulations et quais; propagation)
- ◆ Nouvelles stations Ligne 14 de Paris (Architectes AZC + Architram)

Introduction

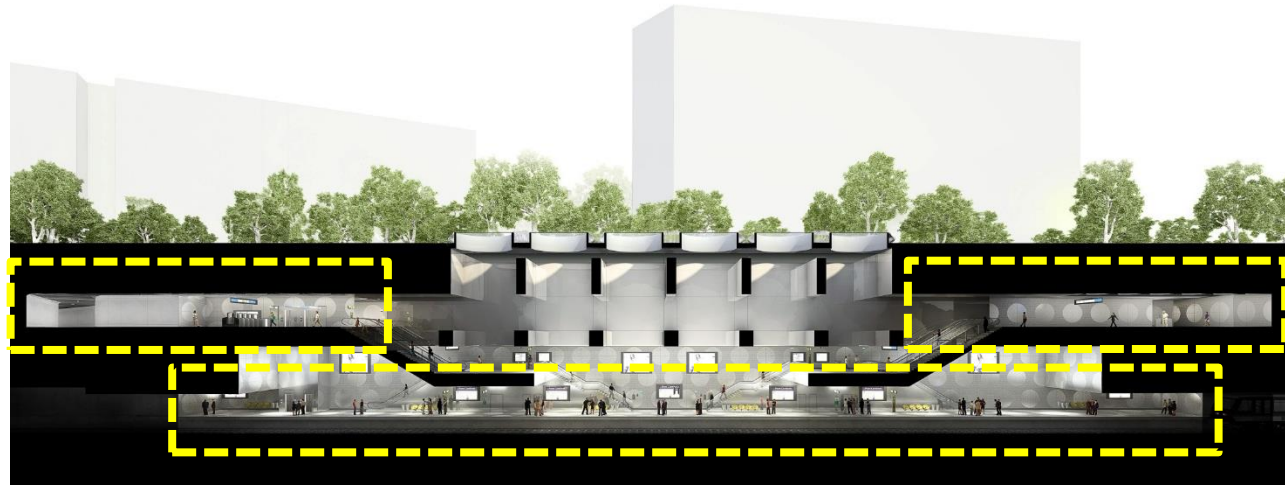
4 stations profondes L14 pour désaturer la L13



Introduction

Pont Cardinet

- ◆ Hall
- ◆ Circulations
- ◆ Quais



2) Exigences

- ◆ Normes françaises relatives aux systèmes de sécurité incendie (NF S 61-930 à 940) et au matériel (EN 54-3; EN 54-16; EN 54-24, etc.)
- ◆ SN EN IEC 60849 : Systèmes électroacoustiques pour service de secours (§5.1 CIS ≥ 0.7)
- ◆ Norme d'intelligibilité NF S 61-932 : Règles d'installation du Système de Mise en Sécurité Incendie (SMSI)

Exigences EN 60849

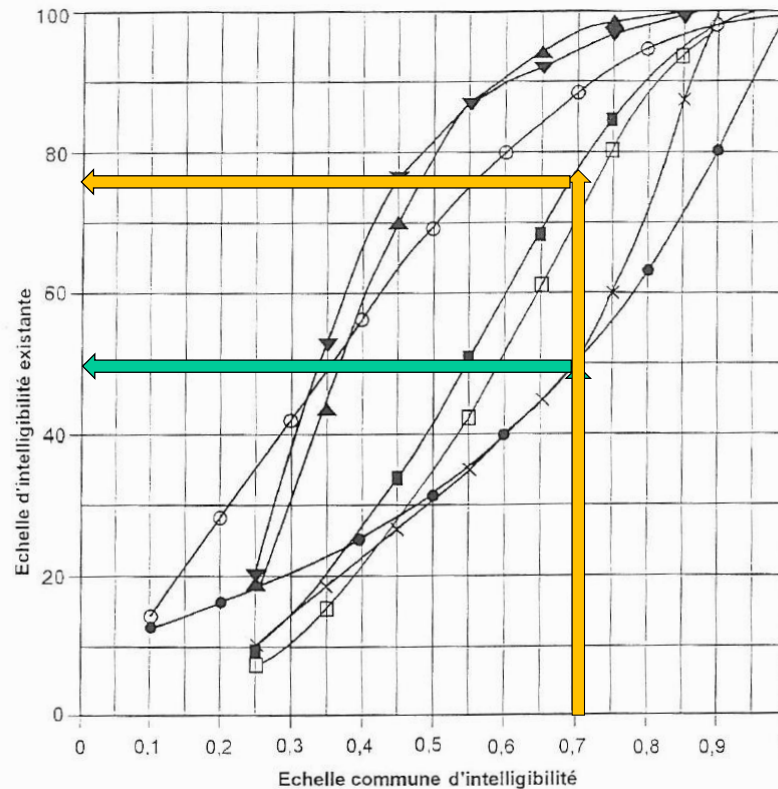
- 36 -

60849 © CEI:1998

§5.1 CIS ≥ 0.7

Imot(1000) $\geq 77\%$

STI ≥ 0.5



IEC 403/98

- ▼ Décompte des mots phonétiquement équilibrés (256 mots)
- ▲ Phrases courtes
- Articulation des consonnes en pour-cent (100-(% d'Alcons))
- Décompte des mots phonétiquement équilibrés (1 000 mots)
- 1 000 syllabes
- × Indice d'articulation (AI)
- Indice de transmission de la parole (STI x 100)

Exigences NF S61-932 (annexe B)

B.2 Objectif d'intelligibilité de la parole

Les exigences suivantes doivent être satisfaites dans chaque A.D.A :

- a) l'intelligibilité de la parole mesurée, doit être supérieure ou égale aux valeurs minimales données dans le Tableau B.1, dans au minimum 90 % de la surface de l'A.D.A ;

Tableau B.1 — Valeurs d'intelligibilité requises en fonction de la méthode de mesure retenue

Méthode de mesure	Valeurs requises	
	Intelligibilité moyenne	Intelligibilité la plus faible
STIr ou STIPA	0,50	0,45
Mots phonétiquement équilibrés (256 mots)	94 %	91 %
Mots phonétiquement équilibrés (1 000 mots)	77 %	68 %
Rime modifiée	94 %	90 %

- b) chaque aire individuelle au sein de chaque A.D.A. dans laquelle les valeurs requises précédentes ne sont pas atteintes ne doit pas être supérieure à 10 m².

Exigences Ratp (halls et quais)

Critère acoustique objectif / subjectif	Objectifs / recommandations
Recouvrement sonore	variation de 2dB(A) des niveaux sur toute la zone voyageur et subdivision des plans d'écoute
D_{50}	supérieure à 60% sur toute la zone « voyageurs » et subdivision des plans d'écoute
Imots (%)	scores d'intelligibilité en pourcentage de mots de 77% (valeur moyen) sans être inférieure à 68% sur toute la zone d'écoute
Imots (%)	> 81% sur les subdivisions des plans d'écoute dès lors qu'une activité de service est présente (relation clientèle ou front de vente automatique sonore si non présence de boucle d'induction magnétique sur les équipements)
H%	> 75% sur les subdivisions des plans d'écoute dès lors qu'une activité de service est présente (relation clientèle ou front de vente automatique sonore si non présence de boucle d'induction magnétique sur les équipements)
Niveau de bruit provenant des équipements techniques	40 à 45dB(A) et NR40 sur toute la zone d'écoute
T_{60} et réverbérance finale	respect de la figure 9 – courbe n°6 et figure 10 – salle de concert
EDT15	A définir à partir des modélisations et test de préférence en fonction de diverses variantes
G	+/- 3 dB par rapport à la moyenne calculée sur les plans d'écoute subdivisés
C50	comprise entre - 3 et 0dB sur les plans d'écoute subdivisés
LF et 1-IACC	A définir à partir des modélisations et test de préférence en fonction de diverses variantes
Fondu enchaîné, attraction, decrescendo, émergence, filtrage, réverbération	Travail sur les effets sonores sur la zone globale ou sur les zones subdivisées

3) Concepts et principes

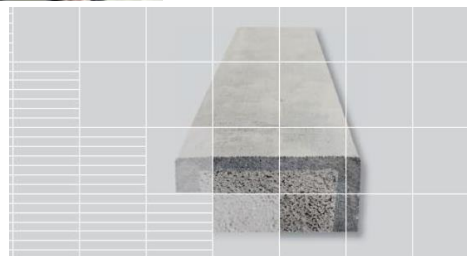
- ◆ Traitement acoustique (types, positions)
- ◆ Sonorisation (types, positions)
- ◆ Vérification (modélisations, simulations)

Principe de traitement acoustique



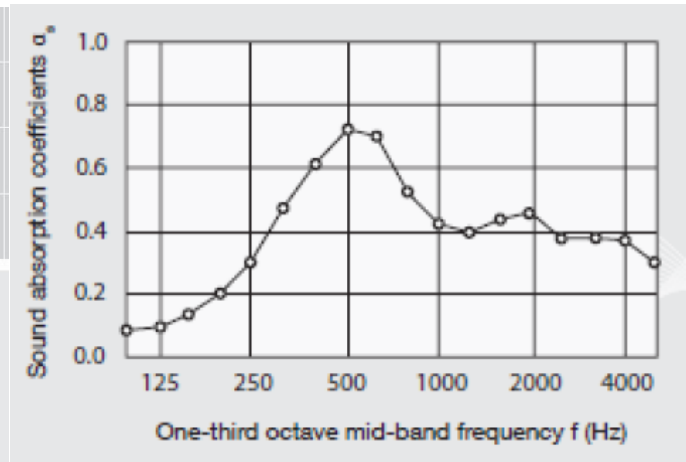
Tôle perforée
+ absorption

Béton poreux



Sorp 10[®]

Sound Absorber for thermally active structural elements



Principes de traitement acoustique

Surface	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Dure (béton, carrelage, sol)	1	1	2	2	3	3
Verre (porte d'accès aux rames)	8	5	4	3	3	3
Plafond absorbant*	30	65	80	80	85	80
Absorbant au droit des rails**	40	70	85	85	90	85
Ouverture***	80	80	80	80	80	80
Absorbant en plafond de la partie centrale du quai (béton poreux, type SOPR10 57 mm)****	10	30	70	45	45	40

Fréquence	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Coefficient de diffusion	16 %	23 %	33 %	47 %	66 %	90 %

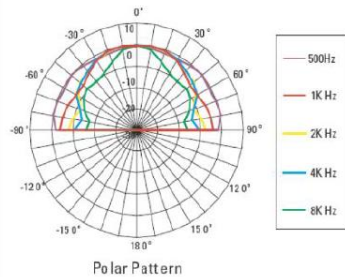
Principes de sonorisation

Enceinte plafonnier :

Un seul modèle disponible : SENTRY6ST/EN de chez Ateis.

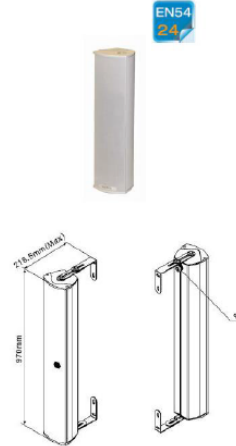
SENTRY6ST/EN

ENCEINTE ANTI-VENDALE EN METAL

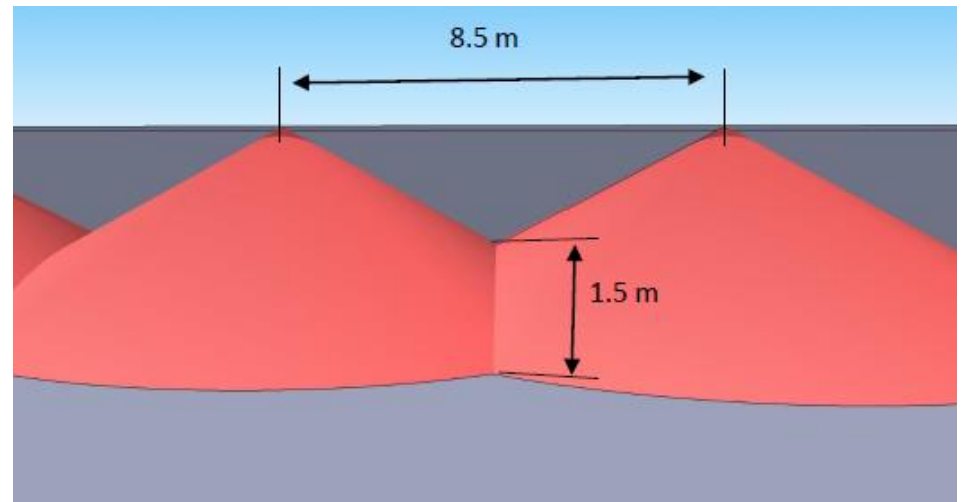
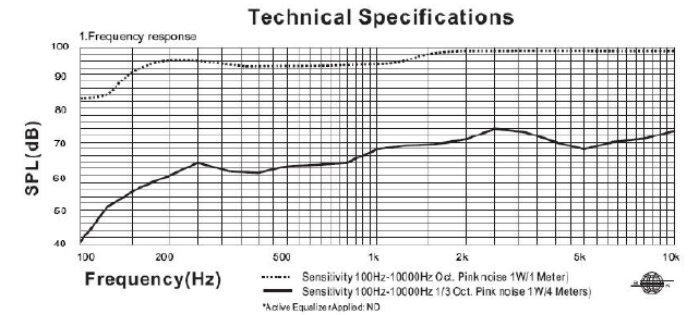


Enceinte colonne :

Modèle MCS 80T/EN de chez Ateis, correspondant au modèle le plus performant des colonnes disponibles.



EN54
24



Principes de vérification

- ◆ Modélisation Sketchup (modèle, sources, récepteur)
- ◆ Importation dans CattAcoustic v9; assignation matériaux (absorption/diffusion) et paramètres (diffraction, durée)
- ◆ Prédimensionnement (lancé rapide), optimisation (configurations)
- ◆ Simulations complètes (Catt+Tuct) sur positions d'écoute
- ◆ Cartographie (LAeq, D50, STI, Tr)
- ◆ Auralisation (4 jours de calculs pour un récepteur quai)

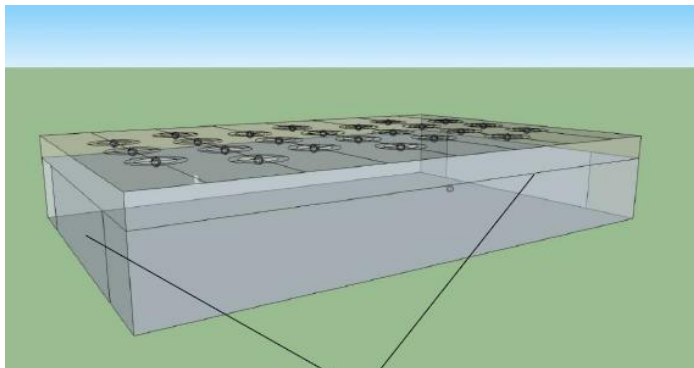
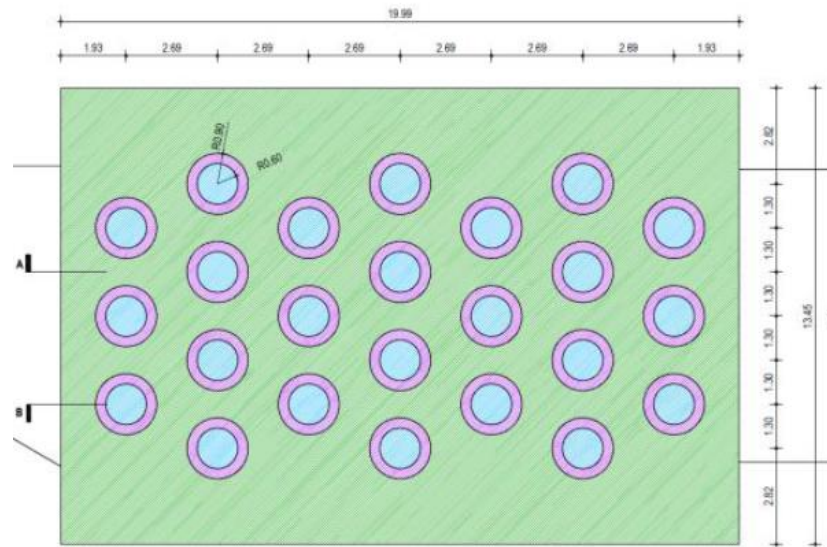
4) Résultats de simulations

Exemples pour la station Pont Cardinet

- 4.1 Hall (billet)
- 4.2 Circulations (couloirs)
- 4.3 Quais (et mezzanines)

4.1 Hall

- ◆ HP plafonniers
- ◆ Variante 1 (absorbant):
seulement **cercles**
- ◆ Variante 2:
Cercles + **faux plafond**
absorbant



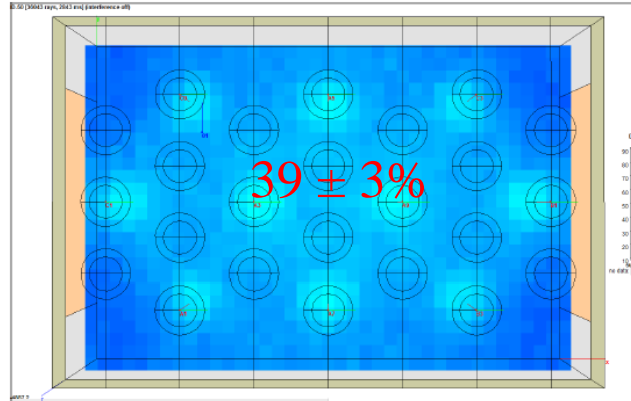
Hall (D50 et STI)

D50 (exigence >60%)

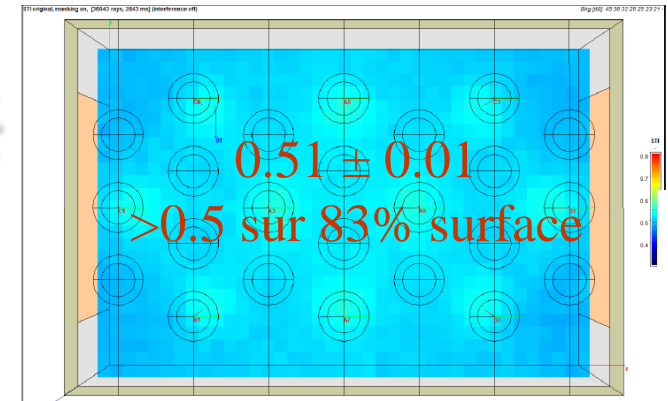
STI (exigence >0.50)

Variante 1:
Cercle

Variante 1 (4887_2_2), centre des cercles absorbants.

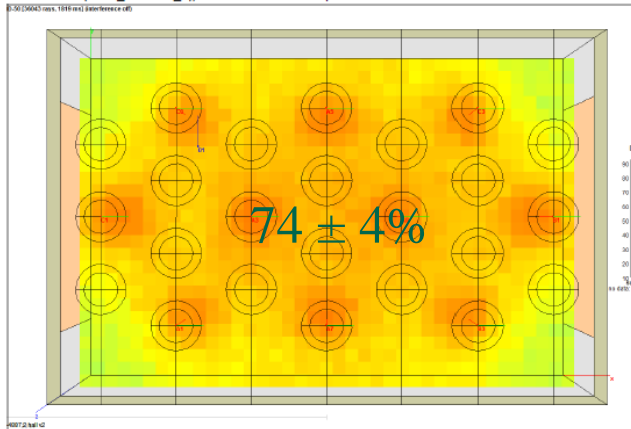


Variante 1 (4887_2_2), centre des cercles absorbant.

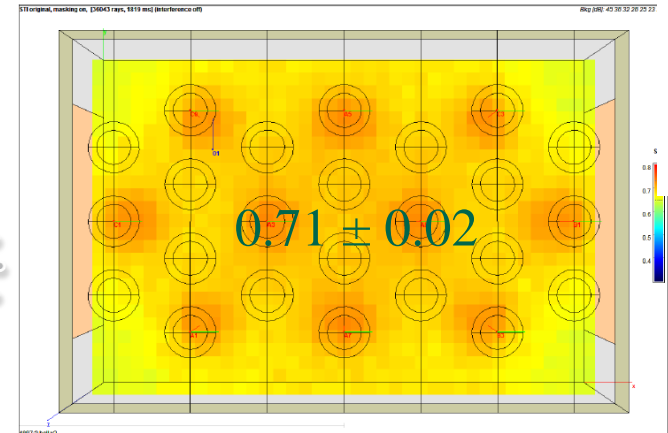


Variante 2:
Cercle + plafond

Variante 2 - (4887_2 hall v2_2), centre des cercles et plafond absorbant.

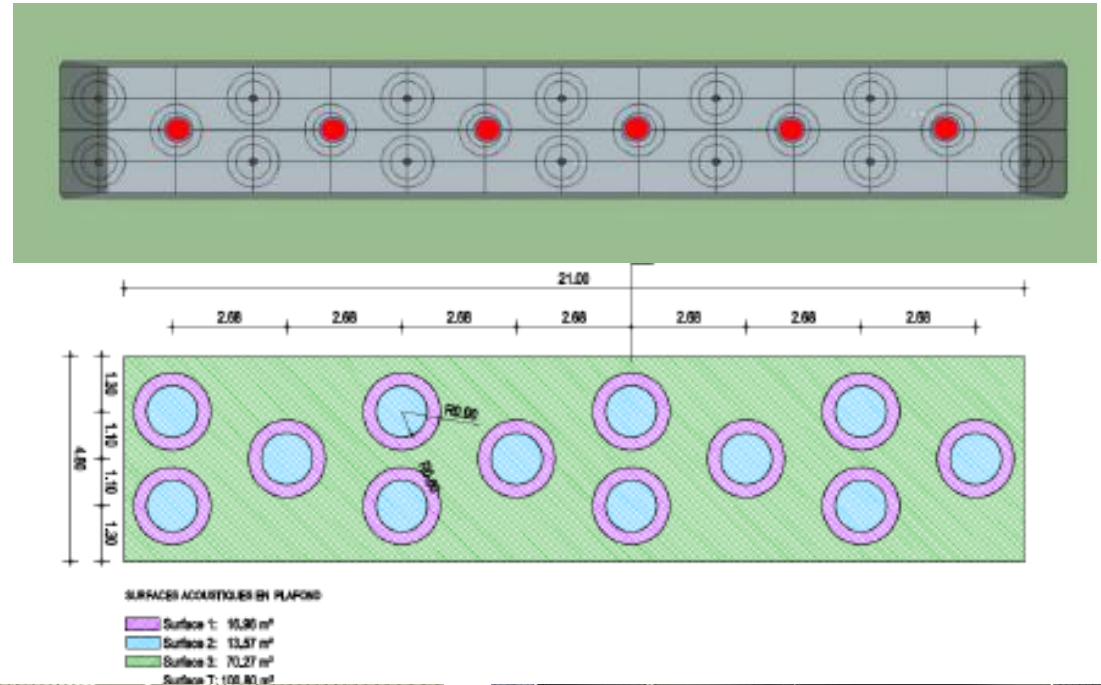


Variante 2 (4887_2 hall v2_2), centre des cercles et plafond absorbant.



4.2 Circulations

- ◆ HP plafonniers
- ◆ Variante 1:
Cercles absorbants
- ◆ Variante 2:
Cercles
+ faux plafond
- ◆ Variante 3 :
bandeau

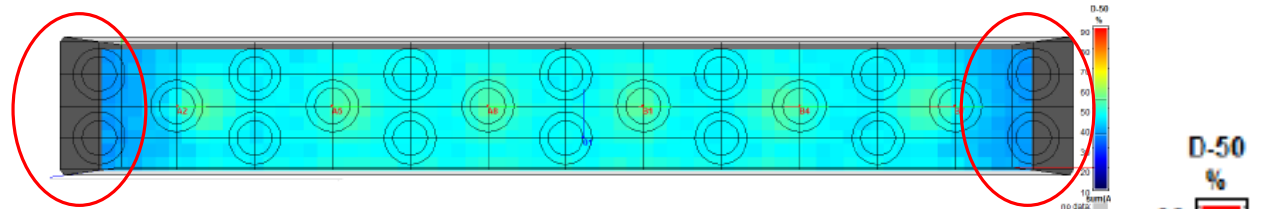


Circulations (D50)

5.1.5 Circulation, définition D50

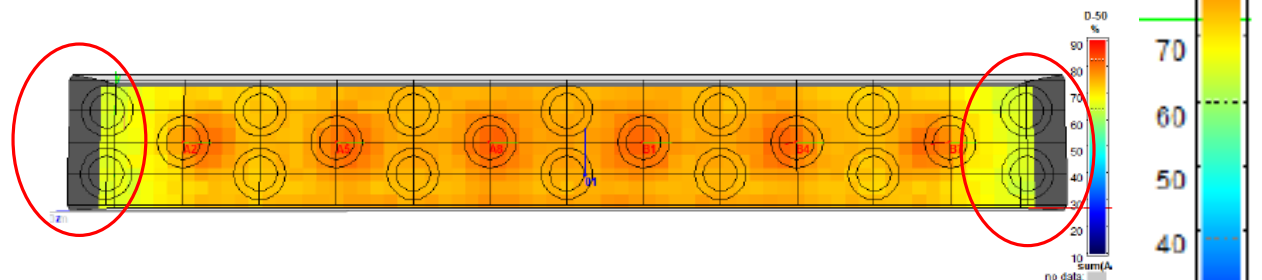
Variante 1 (4887_2_couloir_3), centre des cercles absorbant

Variante 1:
cercles



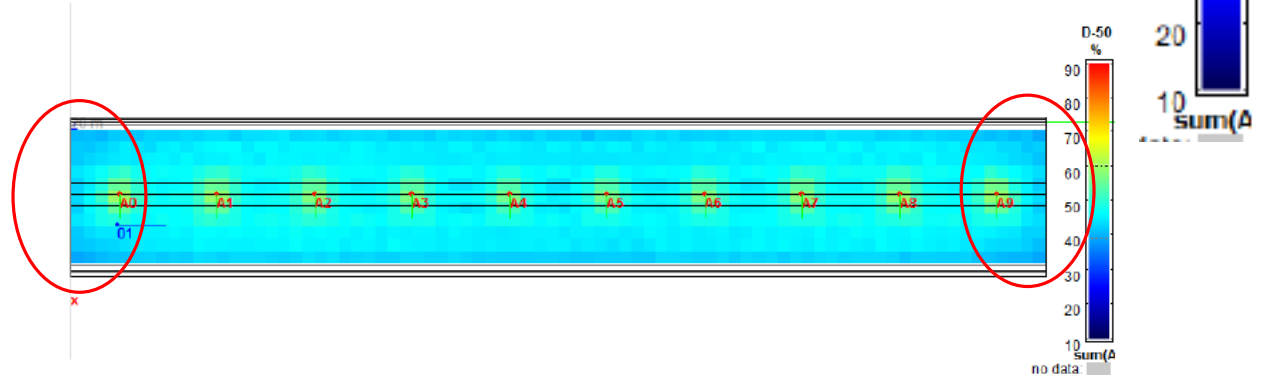
Variante 2 (4887_2_circul abs plaf_4), centre des cercles et plafond absorbants

Variante 2:
cercles+plafond



Variante 3 bandeau absorbant

Variante 3:
bandeaux



Synthèse circulations et hall

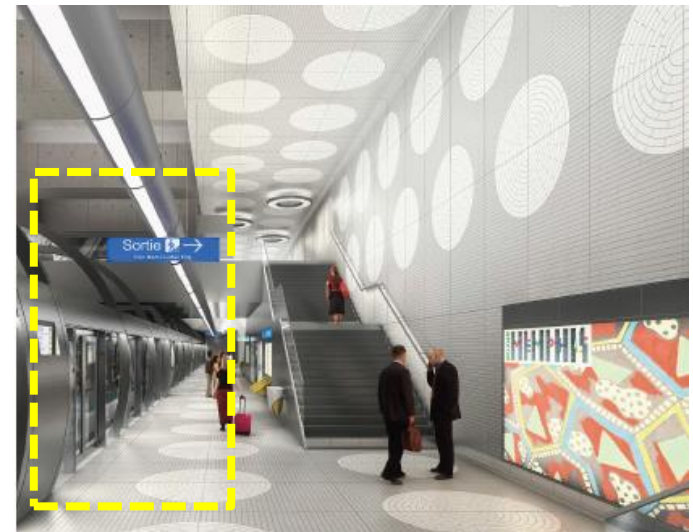
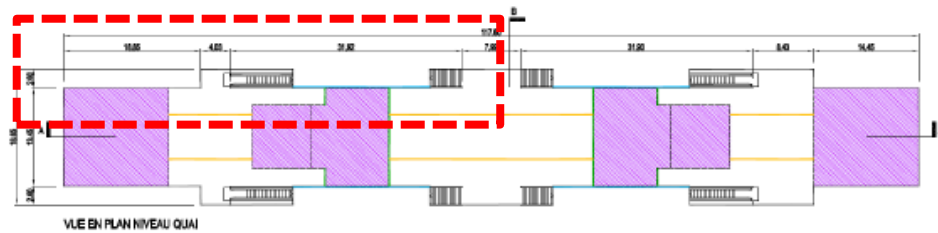
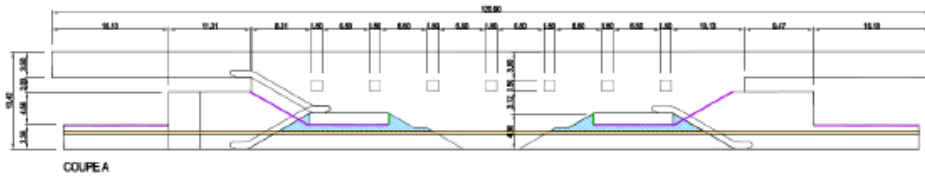
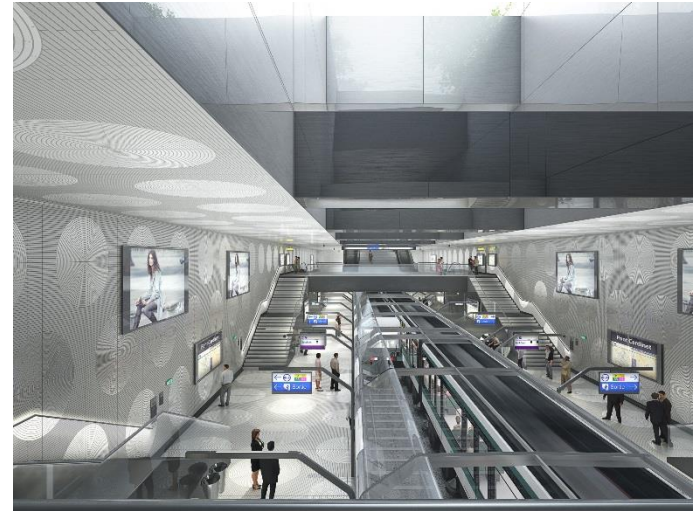
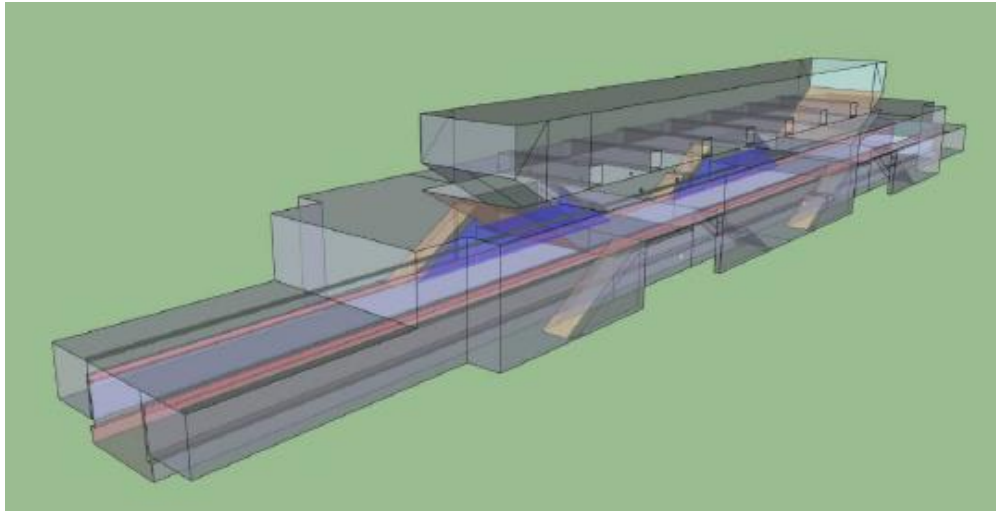
5.3 Tableau de synthèse des résultats obtenus pour les circulations

Circulation (largeur)	Répartition du niveau sonore			Définition D50			Intelligibilité STI			Temps de réverbération T30			Synthèse
	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	Commentaire
PCA (Pont Cardinet, l=4.8 m), variante 1(cercles absorbants)	≤ 4 dB(A)	1 dB(A)	Objectif atteint	50 %	45 à 56 %	Objectif presque atteint	0.45	0.52 à 0.59	Objectif atteint	-	1.2 s	Elevé	Juste suffisant
PCA (Pont Cardinet, l=4.8 m), variante 2(cercles + plafond absorbants)		2 dB(A)	Objectif atteint		70 à 84 %	Objectif atteint		> 0.6	Objectif atteint		0.5 s	Confortable	Satisfaisant
PCA (Pont Cardinet, l=6.4 m), variante 3 (bandeau absorbant)		2 dB(A)	Objectif atteint		45 à 57 %	Objectif presque atteint		0.54 à 0.62	Objectif atteint		1.2 s	Elevé	Juste suffisant

4.7 Hall d'accueil, tableau de synthèse des résultats

	Recouvrement sonore			Définition D50			Intelligibilité STI			Temps de réverbération T30			Synthèse
	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	Commentaire
Variante 1 (centre des cercles absorbant)	≤ 2 dB(A)	1.4 dB(A)	Objectif atteint	60 %	39 ± 3%	Objectif non atteint	0.50	0.51 ± 0.01 >0.50 sur 83% surf.	Objectif presque atteint	0.8 s (à 1000 Hz)	1.8 s	Objectif non atteint	Non satisfaisant
Variante 2 (centre des cercles et plafond absorbants)		2.6 dB(A)	Objectif presque atteint		72 ± 4%,	Objectif atteint		0.71 ± 0.02	Objectif atteint		0.7 s	Objectif atteint	Satisfaisant

4.3 Quais



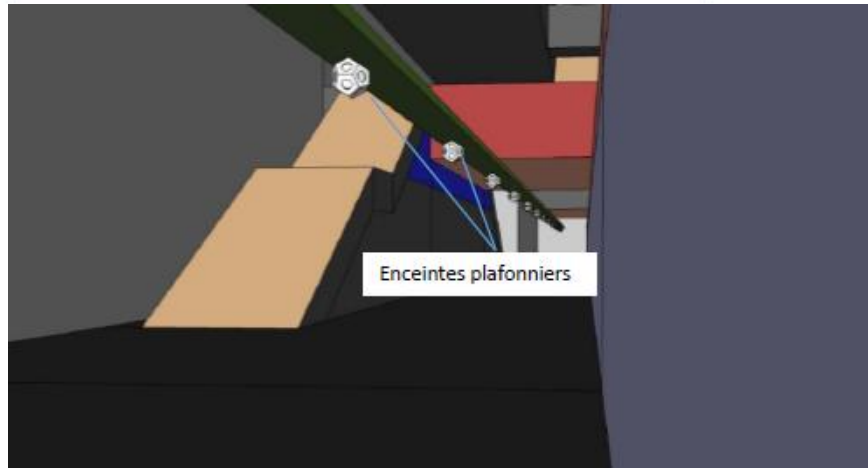
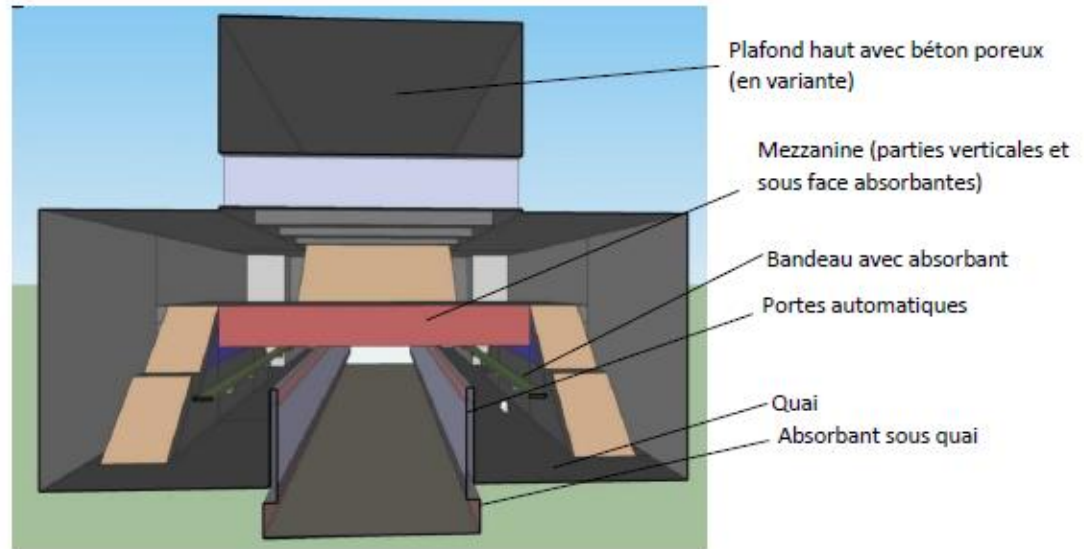
4.3 Quais

Paramètres:

- ◆ HP plafonniers (bandeau) / colonnes (arceaux)
- ◆ Sans/avec plafond haut absorbant

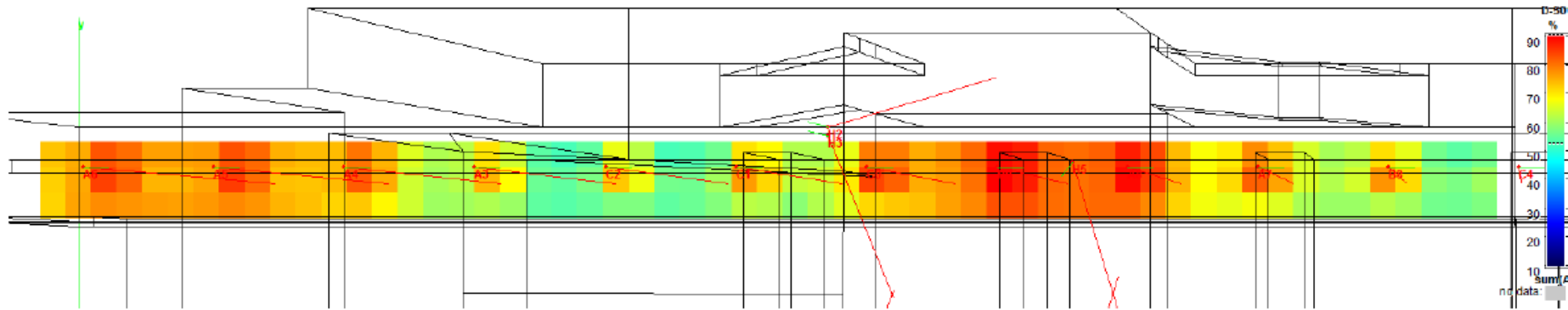
Variantes (HP/absorb plafond)

- ◆ V1 Plafonniers Sans
- ◆ V2 Plafonnier Avec
- ◆ V3 Colonnes Sans
- ◆ V4 Colonnes Avec

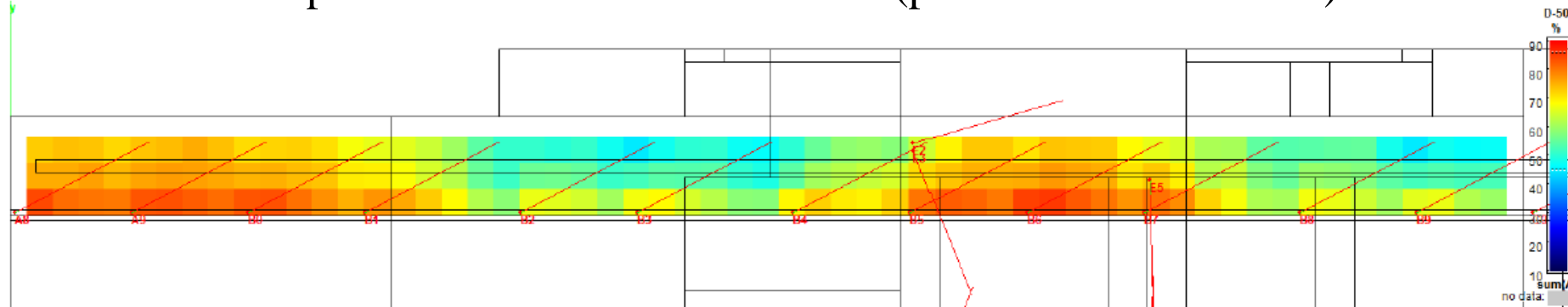


Effet sur le D50 du type de sonorisation

Variante 2 : haut-parleurs plafonniers sous bandeau (plafond haut absorbant)

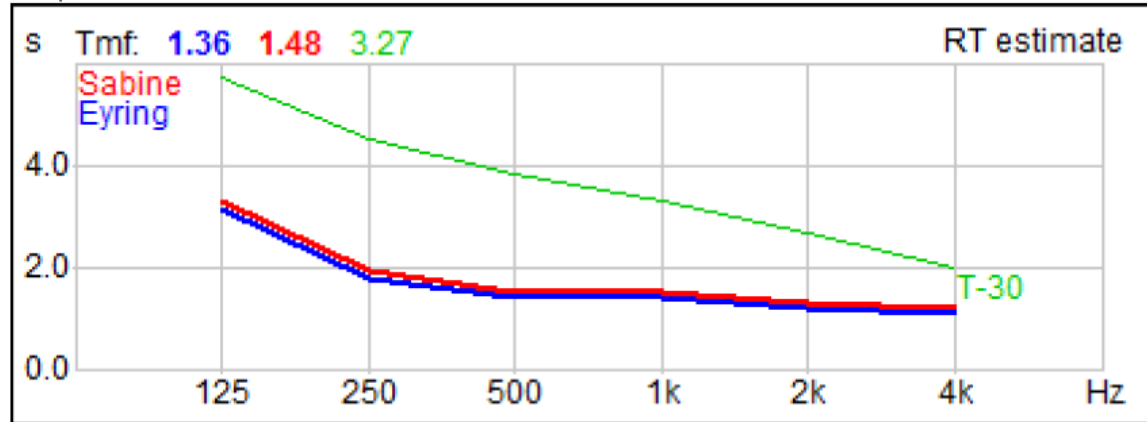


Variante 4 : haut-parleurs colonne contre arceaux (plafond haut absorbant)

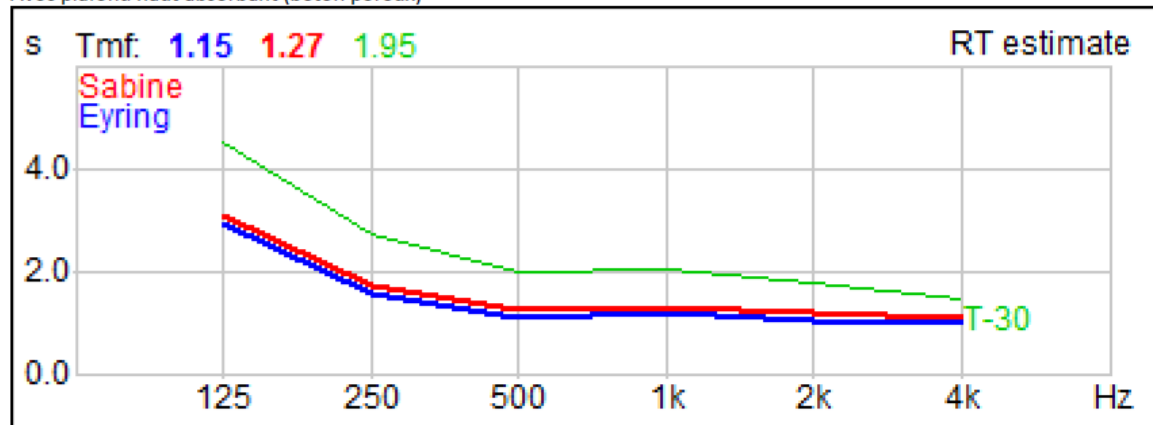


Effet de l'absorption en plafond

Sans plafond haut absorbant dans la station

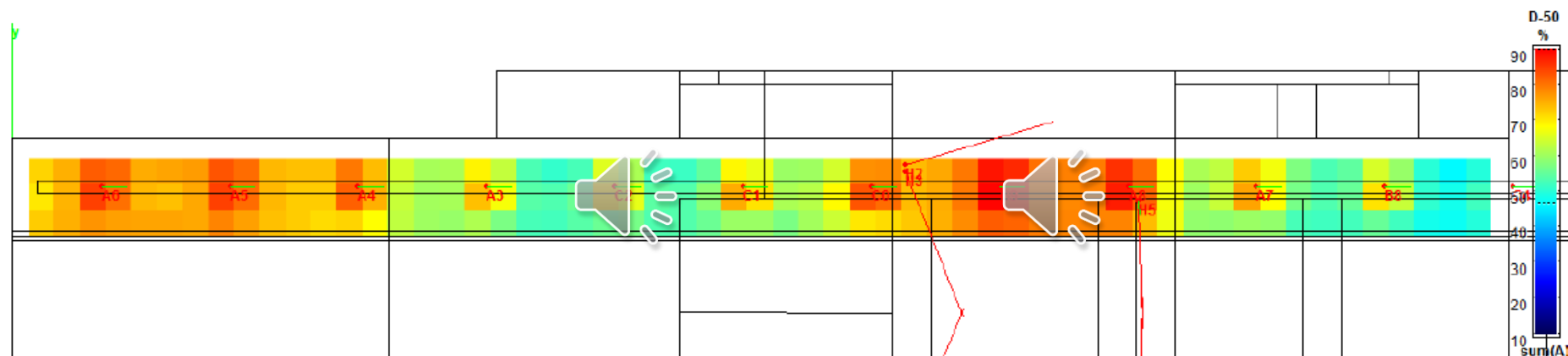


Avec plafond haut absorbant (béton poreux)

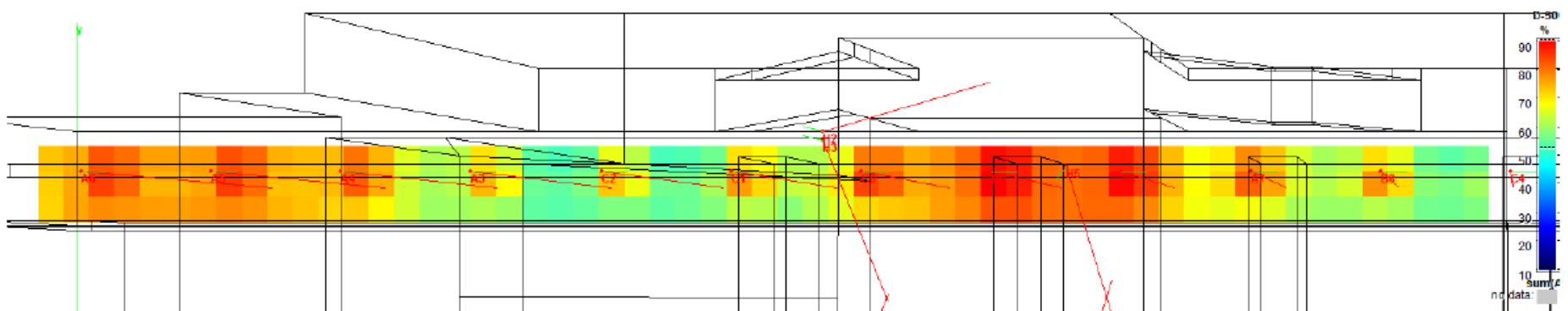


Effet de l'absorption en plafond (D50)

Variante 1 : Plafond haut réfléchissant (haut-parleurs plafonniers sous bandeau)



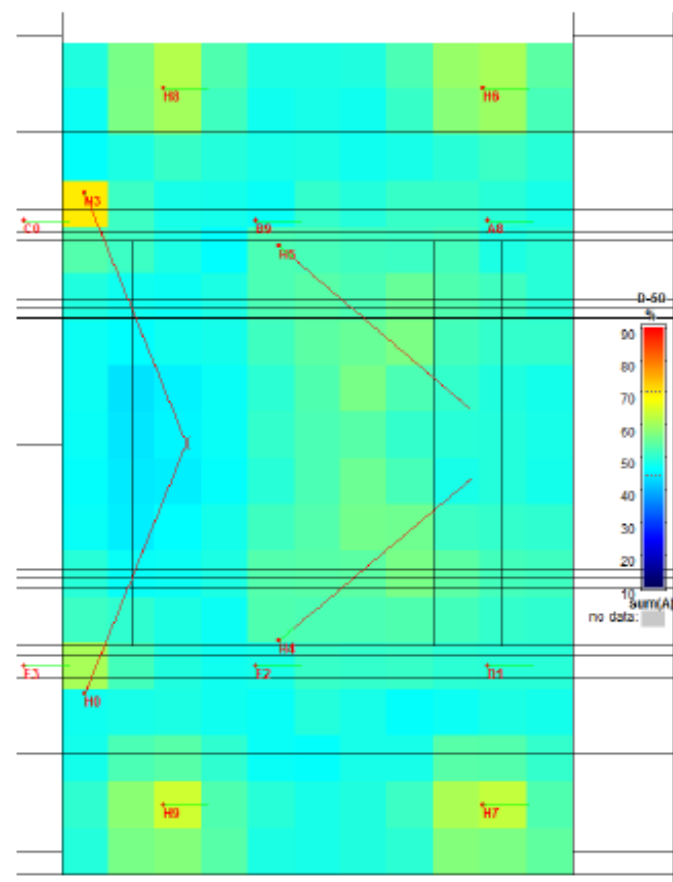
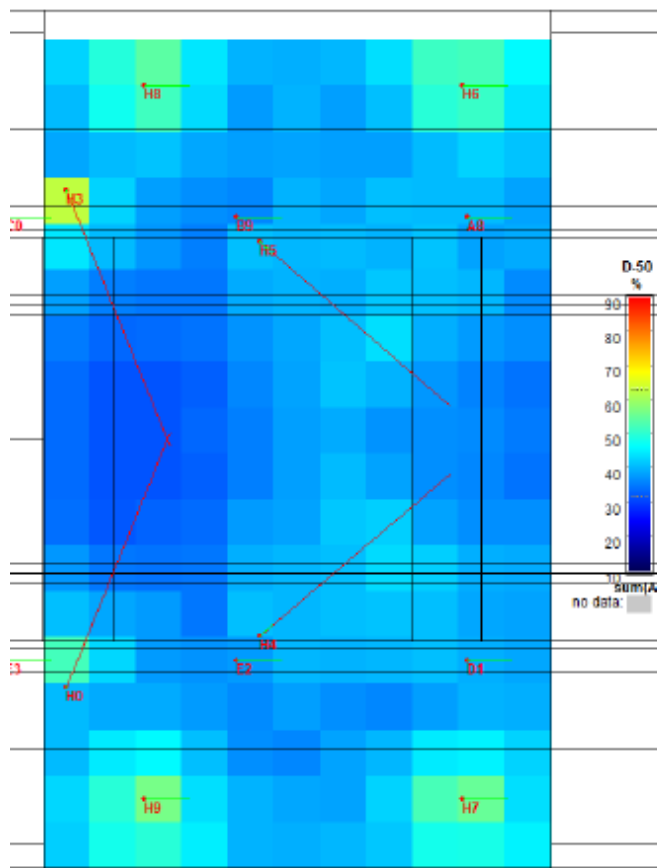
Variante 2 : Plafond haut absorbant (haut-parleurs plafonniers sous bandeau)



Effet de l'absorption en plafond Mezzanines (D50)

Variante 1 : plafond haut réfléchissant

Variante 2 : plafond haut absorbant



Synthèse quais

6.8 Quai, tableau de synthèse des résultats pour les quais

	Recouvrement		Définition D50			Temps de réverbération T30			Synthèse
	Exigé	Calculé	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	Commentaire
Variante 1 enceintes plafonniers sur bandeaux	≤ 2 dB(A)	2 dB(A)	60 %	67 ± 9% >60% sur 72% de la surface	Objectif partiellement atteint	1.2 s	3.2 s	Trop élevé	Peu satisfaisant
Variante 2 enceintes plafonniers et plafond haut absorbant		2 dB(A)					2 s	Satisfaisant	Satisfaisant
Variante 3 enceintes colonnes sur arceaux		2 dB(A)					3.2 s	Trop élevé	Peu satisfaisant
Variante 4, enceintes colonnes sur arceaux et plafond haut absorbant		2 dB(A)					2 s	Satisfaisant	Satisfaisant
								70 ± 10% >60% sur 85% de la surface	Objectif partiellement atteint
				63 ± 12%. >60% sur 60% de la surface	Objectif partiellement atteint				
				66 ± 11% >60% sur 70% de la surface	Objectif partiellement atteint				

4) Discussion et conclusion

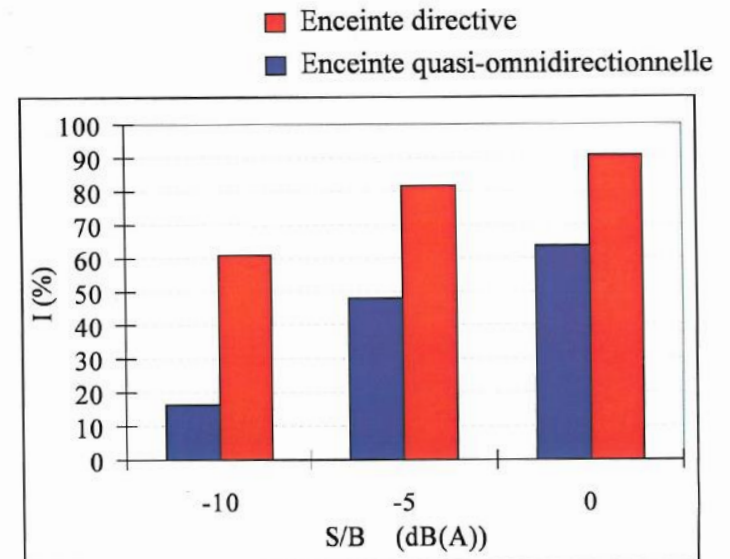
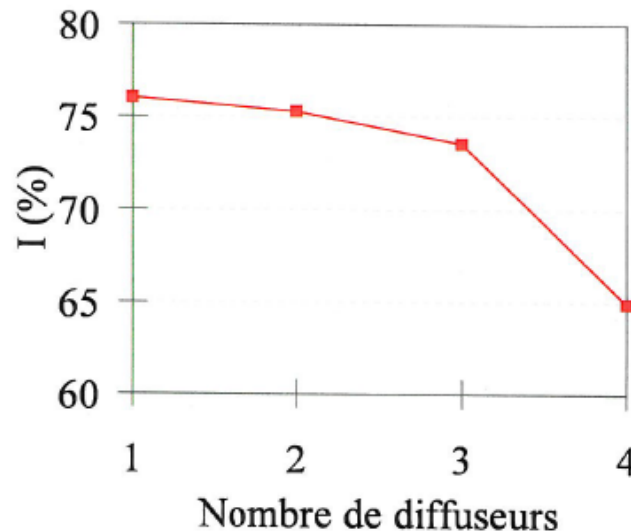
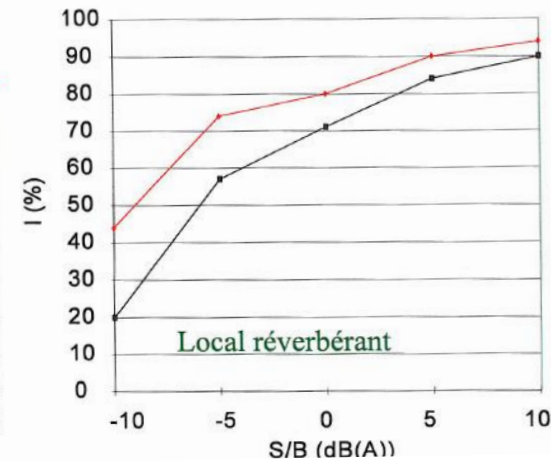
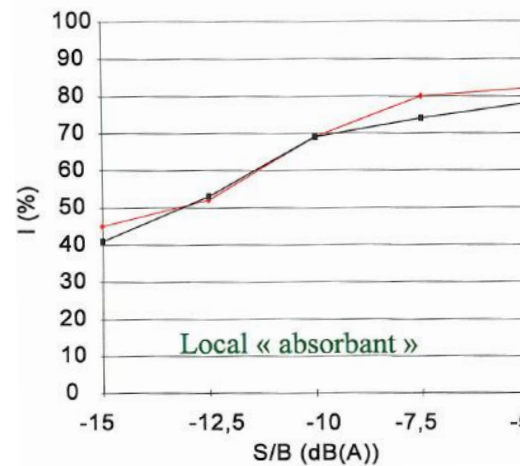
- ◆ Optimisation intelligibilité
- ◆ Exemple : nombre de sources sonores
- ◆ Comparaison
exigences/simulation/mesurages in situ
- ◆ Conclusion

Optimisation intelligibilité

Paramètres :

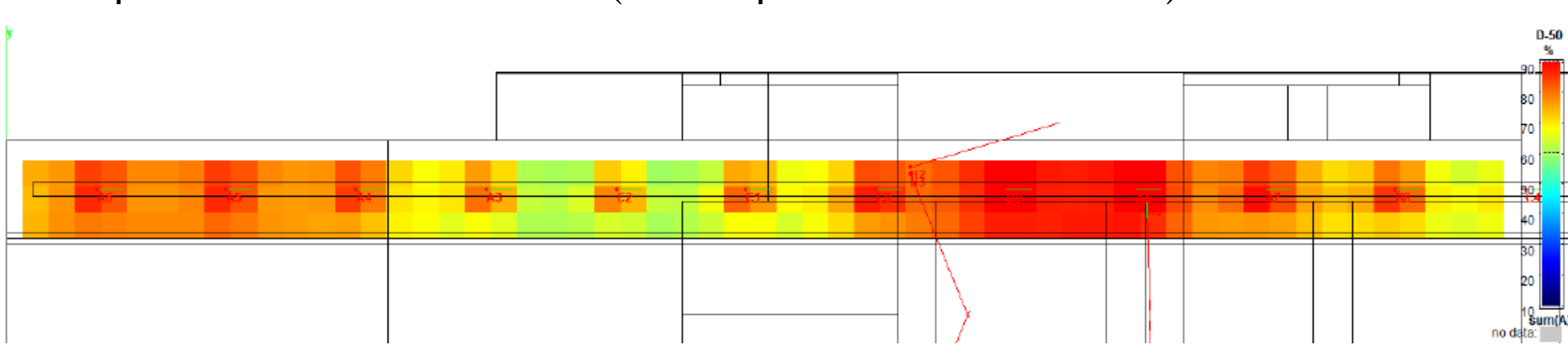
selon étude Ratp (Fillol)

- ◆ Réverbération local
- ◆ Réponse fréquentielle HP
- ◆ Directivité HP
- ◆ Nombre HP

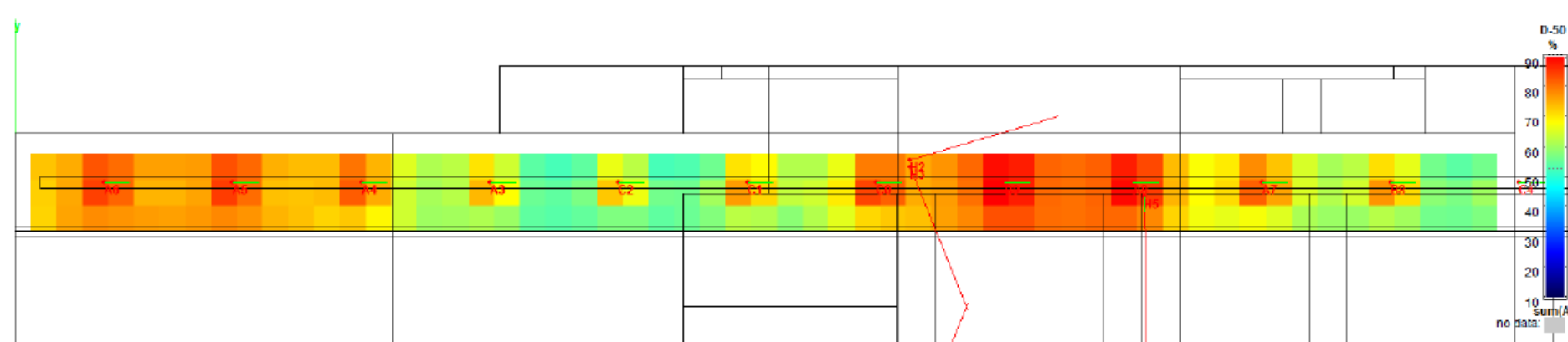


Enclenchement des haut-parleurs (D50)

Haut-parleurs de la zone allumés (11 sur quai et 6 sur mezzanine)



Tous les haut-parleurs des quais allumés (44 sur quais et 12 sur mezzanines)



Discussion

Comparaison des exigences, simulations et résultats in situ pour les principaux critères acoustiques

		D 50 (%)	Imot S/N = 10 dB(A)	H% homogénéité	TR - Temps de réverbération (s)
Exigences RATP (note technique Ratp 2013-5014)	quai	> 60%	moyen > 77%	> 75%	
	circulation	> 50%	min. 68%		
Simulations Pont Cardinet (PC) (rapport Ecoacoustique 18.11.2013 et mail 21.1.2014)	quai	54% (35 - 70%) 60% (44 - 75%) dB(A)	6% < 68% 40% > 77%	env. 40%	0.7 sous mezzanine 4.0 entre mezzanine
	Mezzanine	33% (22 - 45%) 40% (28 - 55%) dB(A)	29% < 68% 0% > 77%		
Stations existantes (note technique Ratp 2014-5035)	Station François Mitterrand quai	env. 40% (20 - 50%)	env. 55% < 68% env. 5% > 77%	89% St-Lazare 56% Olympiades	4.0 - 4.3
	hall	env. 25% (8 - 38%)	90% < 68% 0% > 77%	53%	2.8 sortie Tolbiac
Station Olympiades	salle billets		S/N = 5 dB(A) 78% 60% > 77% 0% < 68%		
	quai		61% 0% > 77% 75% < 68%		

5) Conclusion

- ◆ Configuration complexe des stations de métro (volume, couplage, modèles)
- ◆ Exigences légales pour systèmes d'évacuation difficiles à respecter (en particulier D50/Imots, sur quais)
- ◆ Nécessité d'avoir un bon traitement acoustique (absorbant localisé) et une sonorisation optimisée (type+position hp) et de vérifications adaptées (simulations)

Merci de votre attention

Venez vérifier par vous-même cela à
Paris en 2025!!!

