

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



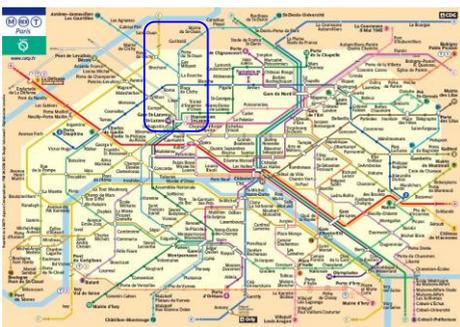
# 1) Introduction

- ◆ 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

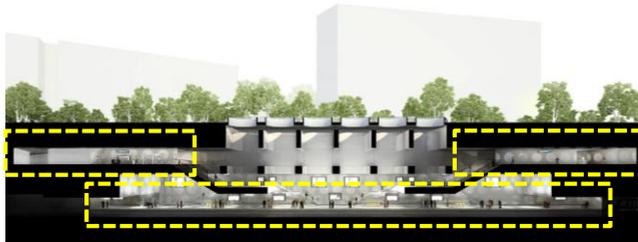
4 stations profondes L14 pour désaturer la L13



# 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  $\geq$  0.7)
- ◆ Norme d'intelligibilité NF S 61-932 : Règles d'installation du Système de Mise en Sécurité Incendie (SMSI)

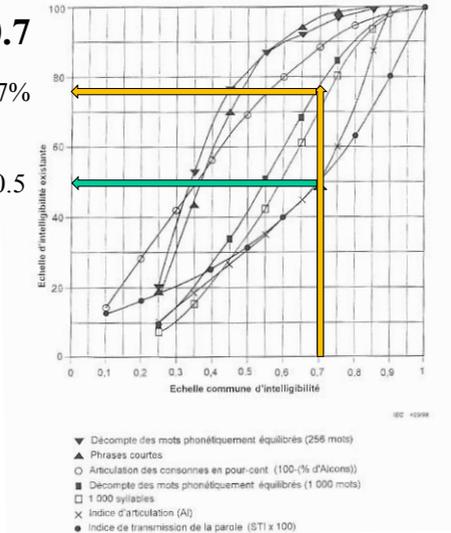


# Exigences EN 60849

§5.1 CIS ≥ 0.7

Imot(1000) ≥ 77%

STI ≥ 0.5



Desarnaulds, Intelligibilité des nouvelles stations de métro de Paris



7

# 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 m<sup>2</sup>.



Desarnaulds, Intelligibilité des nouvelles stations de métro de Paris



8

# 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 <sub>50</sub>	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 <sub>60</sub> 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

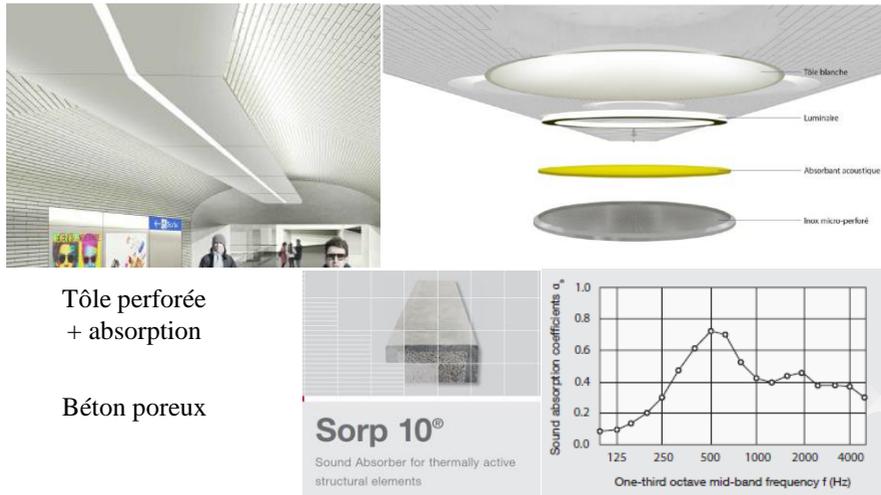


## 3) Concepts et principes

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



# Principe de traitement acoustique



# 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 %

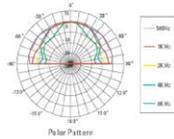


# Principes de sonorisation

## Enceinte plafonnier :

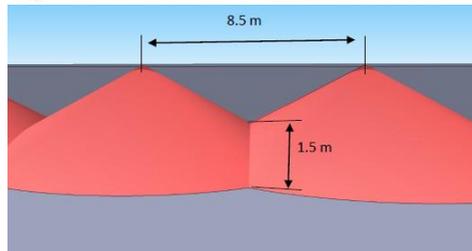
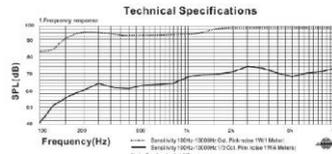
Un seul modèle disponible : SENTRY6ST/EN de chez Ateis.

SENTRY6ST/EN  
ENCEINTE ANTI-VENTILAE EN METAL



## Enceinte colonne :

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



Desarnaulds, Intelligibilité des nouvelles stations de métro de Paris



14

# 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)



Desarnaulds, Intelligibilité des nouvelles stations de métro de Paris



15

## 4) Résultats de simulations

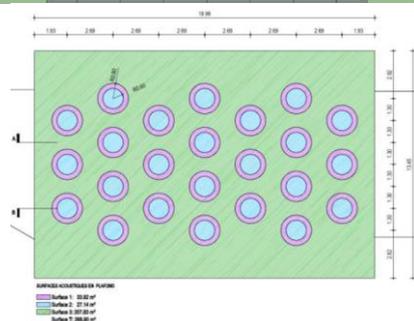
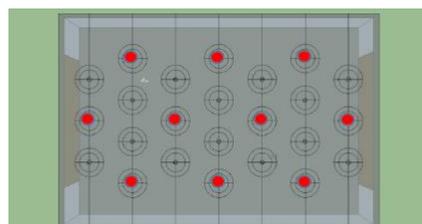
### Exemples pour la station Pont Cardinet

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



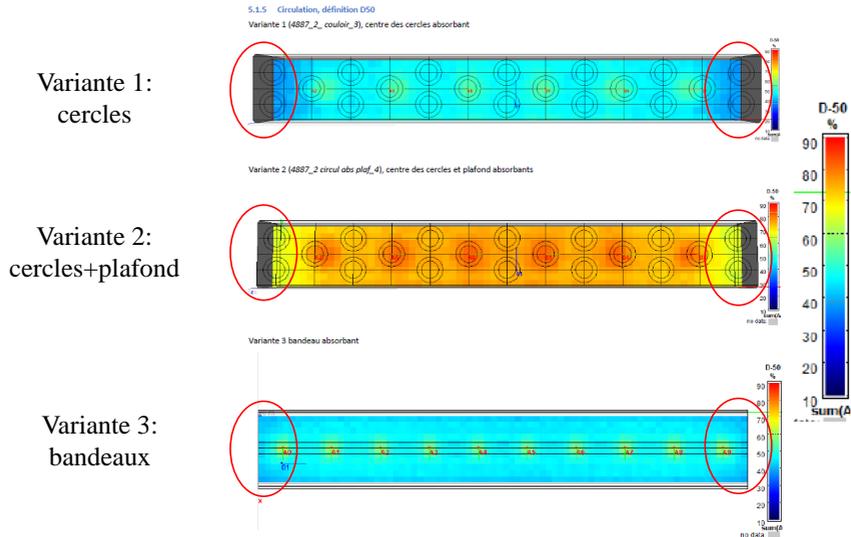
### 4.1 Hall

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





# Circulations (D50)



# Synthèse circulations et hall

5.3 Tableau de synthèse des résultats obtenus pour les circulations

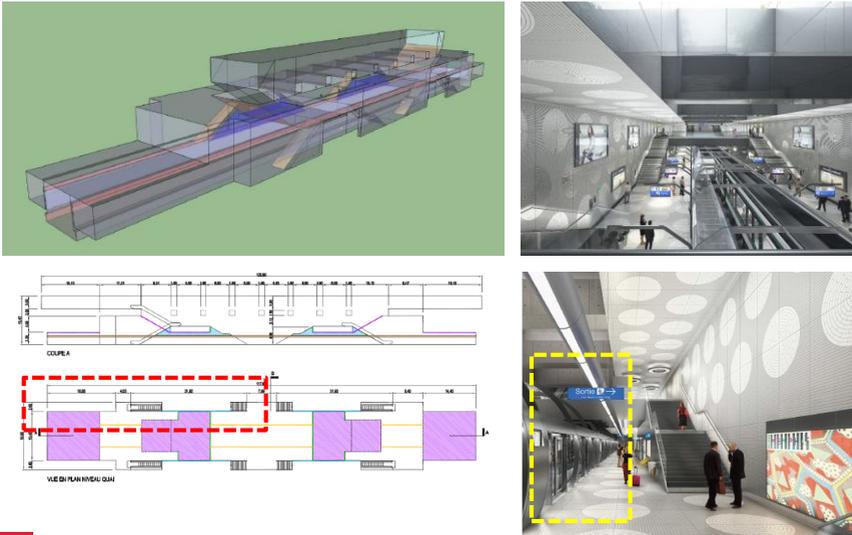
Circulation (largeur)	Répartition du niveau sonore			Définition D50			Intelligibilité STI			Temps de réverbération T30			Synthèse
	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	Exigé	Calculé	Commentaire	
PCA (Pont Cardinet, l=4.8 m), variante 1(cercles absorbants)		1 dB(A)	Objectif atteint		45 à 56 %	Objectif presque atteint		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
	≤ 4 dB(A)				50 %		0.45						
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	
Variante 1 (centre des cercles absorbant)		1.4 dB(A)	Objectif atteint		39 ± 3%	Objectif non atteint		0.51 ± 0.01 (+0.30 sur 80% surf)	Objectif presque atteint		1.8 s	Objectif non atteint	Non satisfaisant
	≤ 2 dB(A)			60 %			0.50				0.8 s (à 1000 Hz)		
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



Desarnaulds, Intelligibilité des nouvelles stations de métro de Paris



24

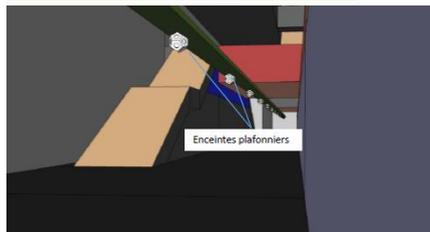
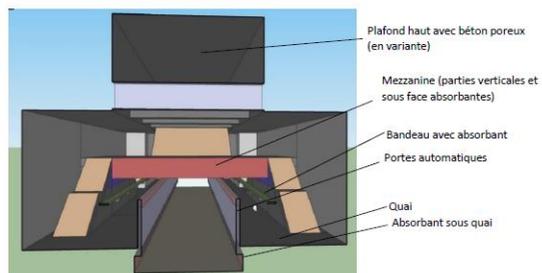
## 4.3 Quais

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



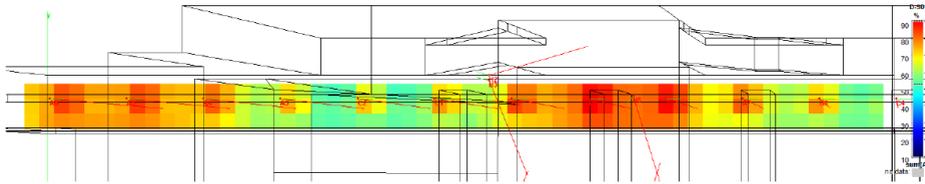
Desarnaulds, Intelligibilité des nouvelles stations de métro de Paris



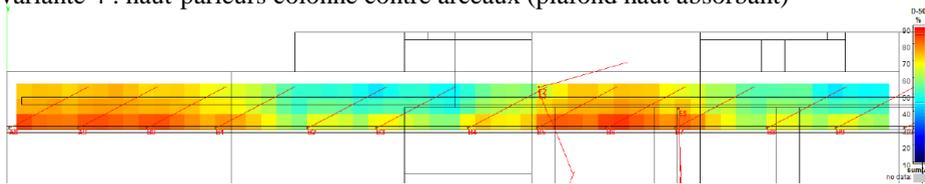
25

# Effet sur le D50 du type de sonorisation

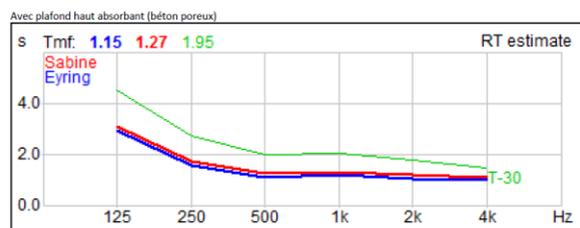
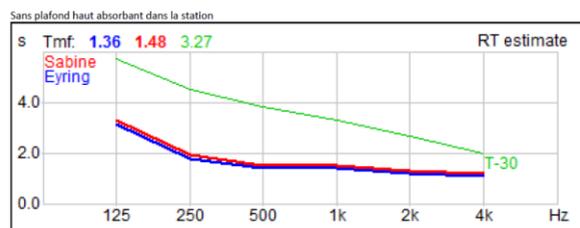
Variante 2 : haut-parleurs plafonniers sous bandeau (plafond haut absorbant)



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

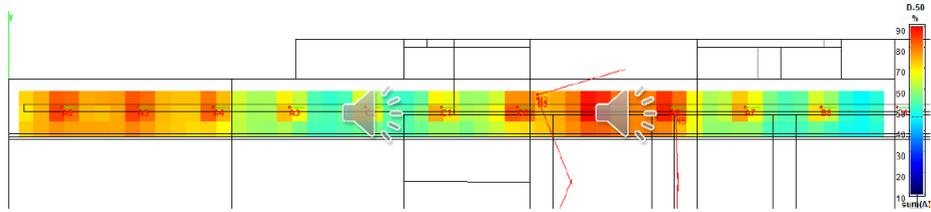


# Effet de l'absorption en plafond

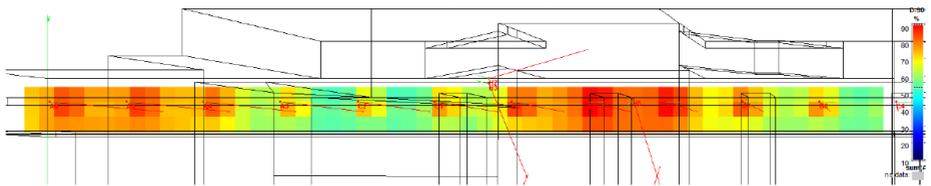


# Effet de l'absorption en plafond (D50)

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

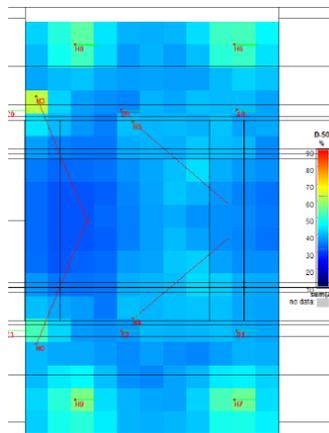


Variante 2 : Plafond haut absorbant (haut-parleurs plafonniers sous bandeau)

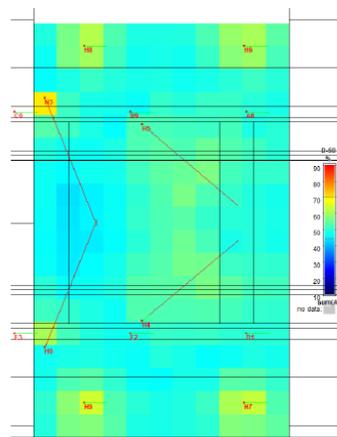


# Effet de l'absorption en plafond Mezzanines (D50)

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		



## 4) Discussion et conclusion

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

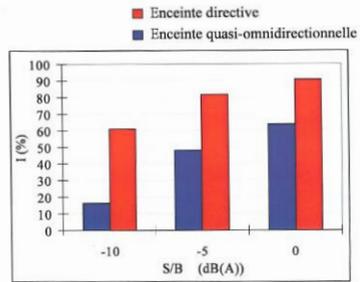
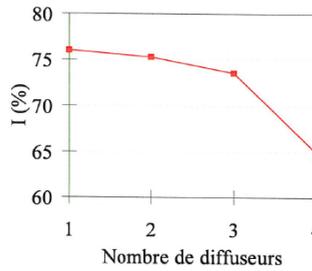
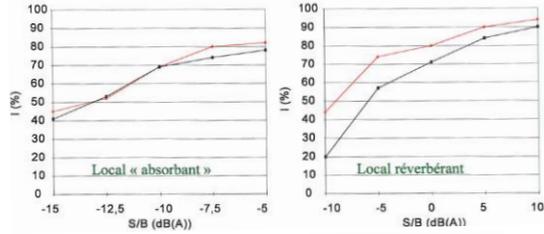


# Optimisation intelligibilité

## Paramètres :

selon étude Ratp (Fillol)

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



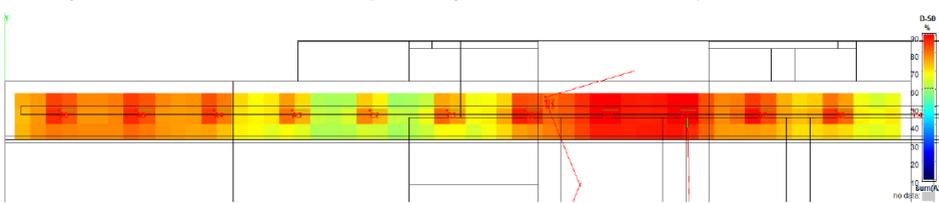
Desarnaulds, Intelligibilité des nouvelles stations de métro de Paris



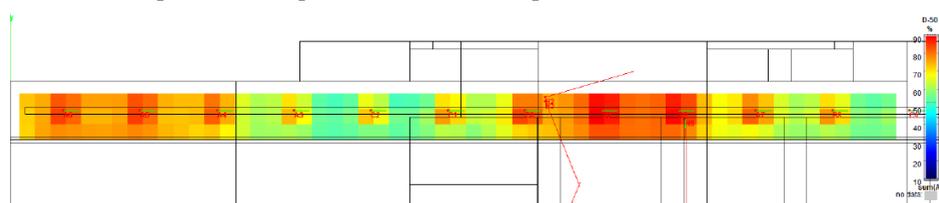
32

## 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)



Desarnaulds, Intelligibilité des nouvelles stations de métro de Paris



33

## 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

