

# Acoustique des salles de gymnastiques

Victor Desarnaulds, Gillian Lüthi

*EcoAcoustique SA, 24 av. Université, CH-1004 Lausanne, Suisse*  
[desarnaulds@ecoacoustique.ch](mailto:desarnaulds@ecoacoustique.ch)



Journées d'automne SSA-SGA, Lausanne 03 nov. 2022



1

## Plan de la présentation

- 1) Introduction
- 2) Descripteurs et exigences
- 3) Temps de réverbération - Statistique
- 4) Simulations (ray tracing)
- 5) Technique de mesurages (source impulsive)
- 6) Rideaux et cloisons mobiles entre salles
- 7) Conclusion

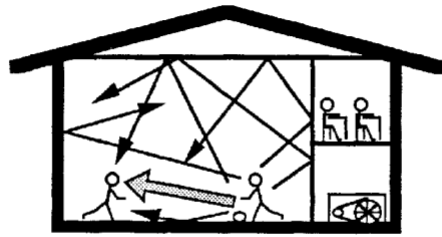


Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



2

2



### Acoustique interne d'une salle de gymnastique

[19], 1991

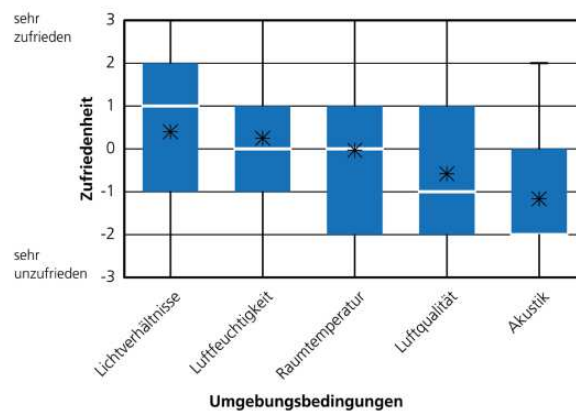
*When designing new schools, consideration of acoustical treatment is usually given to selected areas such as the library, auditorium, music rooms, and the main offices. Seldom is adequate consideration given to the acoustical characteristics of indoor sports areas. Tradition seems to dictate that it is normal for these areas to have poor sound qualities. [19], 1977*



3

## Introduction

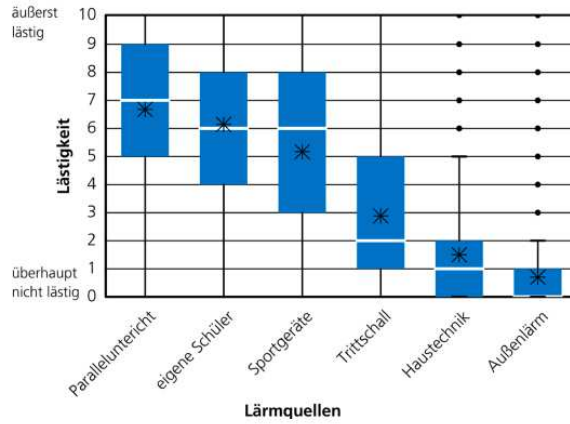
Allemagne 2015 sur 253 professeurs de gymnastique [18]



4

# Introduction

Allemagne 2015 sur 253 professeurs de gymnastique [18]



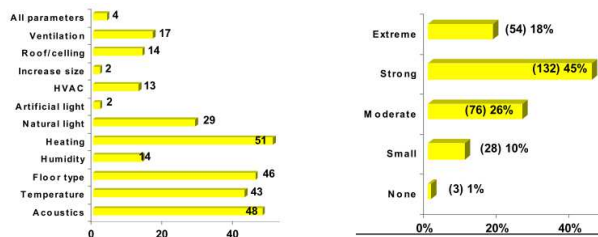
[18]



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques

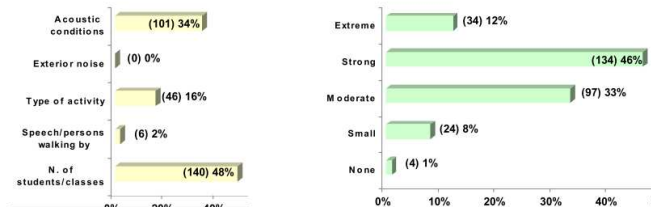


# Introduction



Figures 12 (left) and 13 (right) - Number of answers regarding to what to improve in the gym regardless of cost (left) and to the level of noise annoyance in the gym (right).

Portugal 2014 sur 293 professeurs de gymnastique [13]



Figures 14 (left) and 15 (right) - Number and percentage of answers regarding to the factor that contributes the most to the noise in the gym (left) and regarding the level of voice effort needed to be understood by all students.



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



## Introduction

Italie 10 salles de gymnastique + 2 piscines 2006 [15]

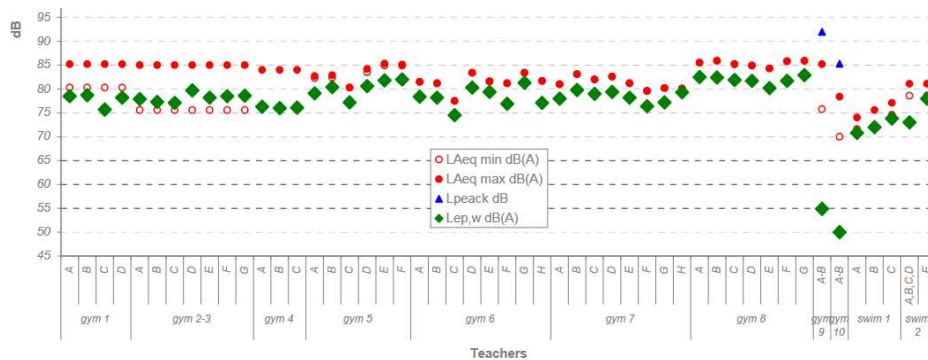


Fig. 5. Sound levels during lesson time and related exposure ( $L_{EX,w}$  and  $L_{peak}$ ) for each PE teacher.



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



7

7

## Introduction

### Perception subjective du bruit

#### • Négative

- "...Excessive exposure to noise in the work environment causes a variety of symptoms, including insomnia, behavioral disorders, decreased concentration, headaches, loss of balance, hormonal changes, stress, sleep disorders, gait changes, tinnitus, communication disorders, vestibular changes, digestive alterations, neurological problems, cardiovascular disorders and changes in work performance." (Jardim et al., 2007; Samelli et al., 2011)

#### • Positive

- "...experiences show that reflecting walls behind the audience and not too far from the sport field will form a dynamic feedback to the athletes and thereby create a desirable hectic atmosphere." : (FESI DOCUMENT A5 : Acoustics in rooms, september 2007)



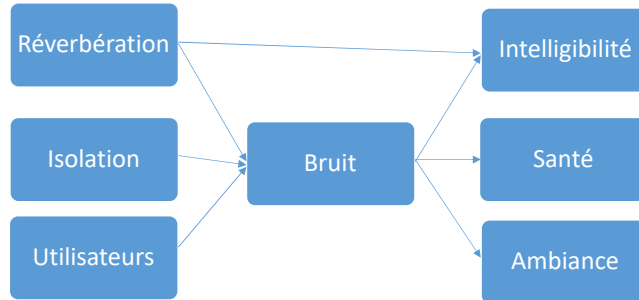
Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



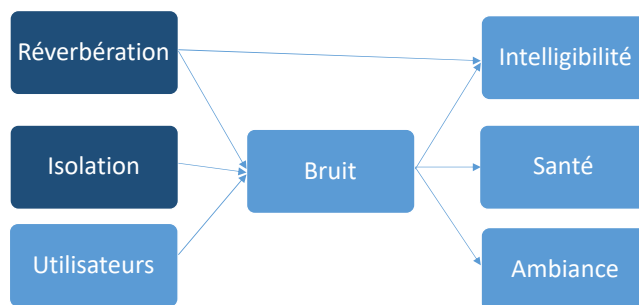
8

8

## Introduction Enjeux acoustiques



## Introduction Enjeux acoustiques



## 2) Descripteurs et Normes

### Descripteurs dans la littérature

Descripteurs utilisés dans la littérature

(étude sur l'acoustique des salles de gymnastique) :

1. Temps de réverbération ( $T_r$ )
2. Niveau sonore, ( $L_{Aeq}$ ,  $L_{Amax}$ ,  $L_{ex,8h}, \dots$ )
3. Intelligibilité de la parole (STI)
4. Absorption moyenne ( $\alpha_{mean}$ )
5. Autres (G force sonore, C50, Clarté)



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques





11

### Descripteurs des normes Temps de réverbération - Avantages

**Temps de réverbération** principalement utilisé comme critère dans les normes :

Avantages :

- Facile à mesurer  Source et sonomètre
- Reproductibilité  *"From 120 identical measurements with an interval of 30s, the standard deviation of T20 was within 0.1% for all 1/3 octave bands and the standard deviation of the sound pressure level was within 0.1 dB for all 1/3 octave bands. This evidences of a low uncertainty of the measurements in the sports halls." [6]*
- Bien lié à la perception subjective
- Design favorable possible (quantité et position de l'absorption)



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



12

## Descripteurs des normes Temps de réverbération - Désavantages

### Désavantages du temps de réverbération :

- inhomogénéité temporelle (courbes de décroissances sont généralement concaves, échos flottants ou francs)
- inhomogénéité spatiale (répartition de l'absorption souvent non-homogène, par exemple salle du milieu)
- Difficile à calculer dans des cas inhomogènes ou complexes (calcul Sabine ou simulation par lancer de rayons)



## Normes ou recommandations nationales

- Suisse (SIA 181:2006, OFSPO:2017)
- Allemagne (DIN-18041:2016)
- France (NF P90-207 : 1992)
- Italie (UNI 11532-2:2020)
- Pologne (PN-B-02151-4:2015-06)
- USA (ANSI S12.60-2002)
- Finlande (Ääniympäristö Ympäristöministeriön ohje rakennuksen äniympäristöstä, 2018)
- Portugal (Decreto-Lei n.º 129/2002, artigo 9.1)
- Pays-Bas (NOC NSF-US1-BF1 : 2005)
- UK (Building bulletin 93)



## Historique DIN 18032 : 1965, 1975 et 1989

In der DIN 18032, Teil 1, Ausgabe April 1989, "Hallen für Turnen, Spiele und Mehrfachnutzung" sind Anforderungen zur Akustik aufgeführt. Es heißt dort: "Die Nachhallzeit bei Frequenzen oberhalb 500 Hz soll bei unbesetzter Halle mit den Maßen 15 m x 27 m den Wert von 2,5 s und darf bei teilbaren Hallen 3 s nicht überschreiten. In den älteren Ausgaben dieser DIN 18032 vom Juli 1975 und April 1965 wird sogar eine maximale Nachhallzeit von 1,8 s genannt."

[17]

Halle Nr.	$T_m$ [s] 500 - 2k	$T_m$ [s] 100 - 5k	$T_{20} - T_{10}$ [s]	Volumen [m³]	Baujahr
1	1,9	1,9	0,07	8.000	1980
2	2,2	1,9	0,10	9.500	1950
3	2,5	2,0	0,09	10.000	1978
4	2,4	2,0	0,13	1.440	1985
5 (14)	2,1	2,1	0,05	2.800	1990
6	2,0	2,2	0,13	10.000	1965
7	2,3	2,2	0,12	10.800	1983
8	2,5	2,2	0,12	10.000	1984
9	2,6	2,3	0,02	8.500	1982
10	2,4	2,3	0,11	12.000	1962
11	2,6	2,3	0,34	7.300	1977
12	3,0	2,4	0,29	6.000	1983
13	3,3	2,7	0,30	10.000	1990
14 (5)	3,0	2,9	0,01	2.800	1965
15	3,3	3,0	0,03	2.000	1989
16	3,4	3,2	0,04	13.100	1975
17	3,9	3,2	0,30	5.800	1891
18	3,8	3,3	0,07	6.000	1915
19	4,5	3,4	0,03	6.500	1983
20	4,8	3,9	0,06	8.600	1972
21	4,8	4,1	0,74	7.900	1972



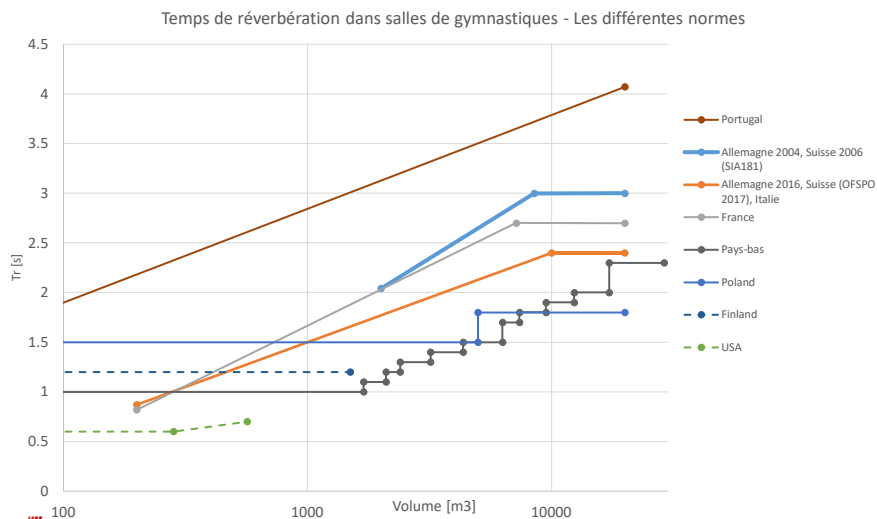
Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



15

## Descripteurs et Normes

### Temps de réverbération maximum selon le pays



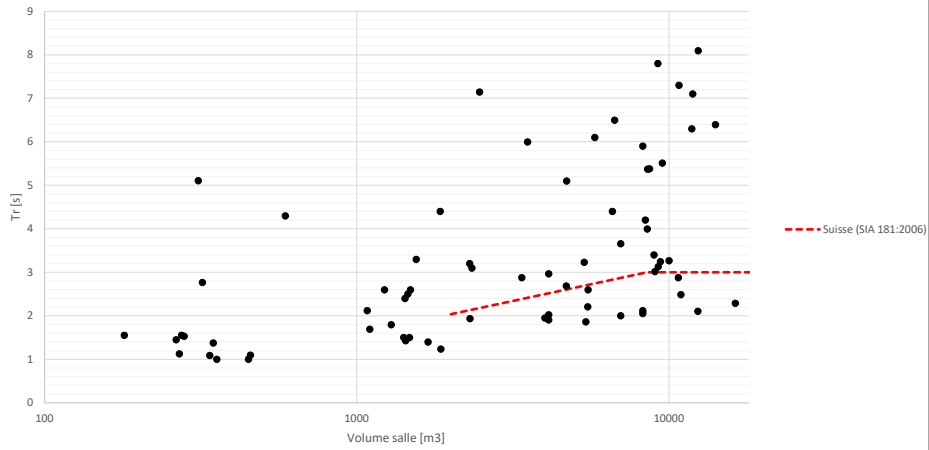
Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



16



### 3) Temps de réverbération - Statistique



Méta-analyse sur 7 études [1], [3], [7], [9], [13], [15], [19] + 17 salles EcoAcoustique

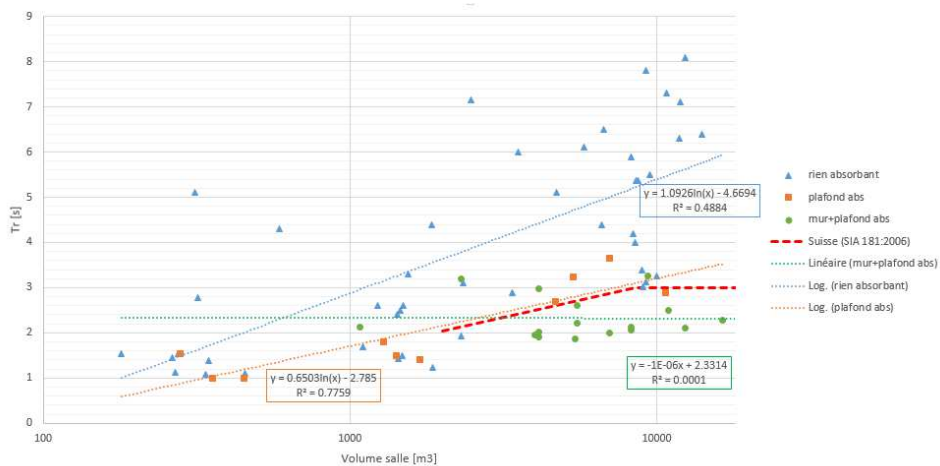


Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



17

### Temps de réverbération Statistique selon position absorption

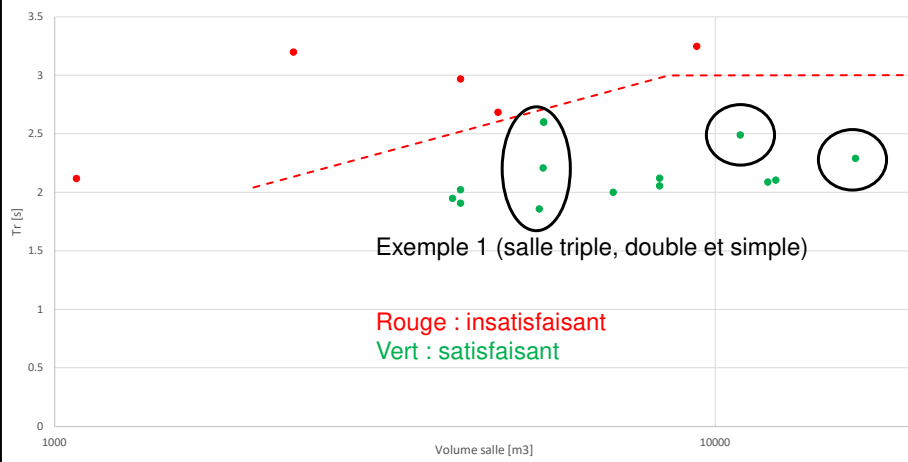


Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



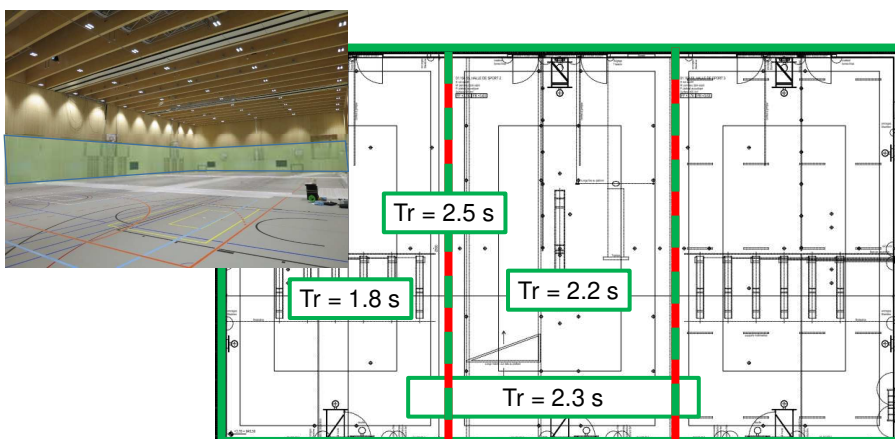
18

## Temps de réverbération Statistique salles plafond et murs absorbants



19

## Temps de réverbération : exemple 1



Rouge : Réfléchissant (partie basse cloison)  
Vert : Absorbant (partie basse murale h<4.2 m)



20

## Temps de réverbération : exemple 2



Rouge : Réfléchissant (toute hauteur cloison)  
Vert : Absorbant (partie basse)

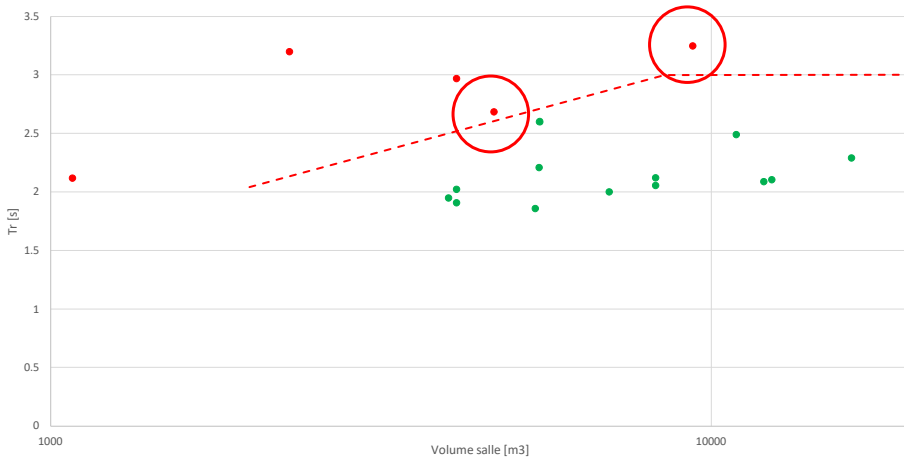


Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques

ECOACOUSTIQUE 21

21

## Temps de réverbération : exemple 3

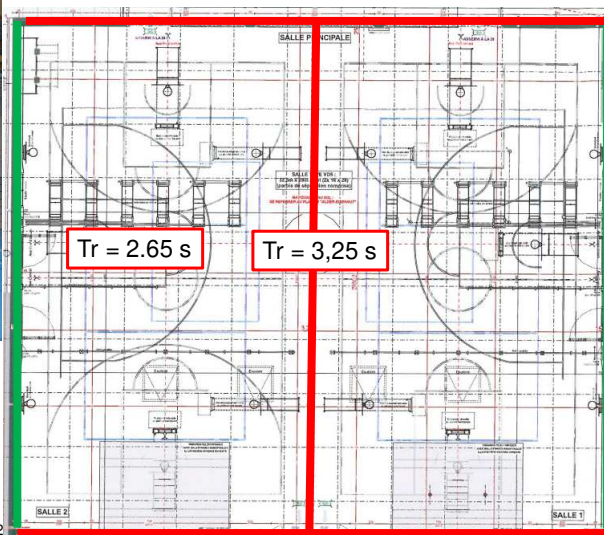


Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques

ECOACOUSTIQUE 22

22

## Temps de réverbération : exemple 3



Lausanne 03.11.2

23

23

## 4) Simulations acoustiques (Ray-tracing)

- Les calculs analytiques (Sabine) sous-estiment le temps de réverbération en cas de répartition inhomogène de l'absorption (hypothèse diffusion non remplie) => Simulations 3D nécessaire pour tenir compte de la position de l'absorption
- Attention cependant à la fiabilité des résultats de simulation (fortement dépendants des coefficients de diffusion). Risque de surestimation du  $Tr$  dans certains cas (par exemple partie basse murs réfléchissants)
- Simulation plus précise quand les surfaces absorbantes se trouvent en partie basse et au plafond (conditions acoustique souhaitable).
- Simulation sont surtout utile pour apporter une «confirmation» au préconisation!



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques

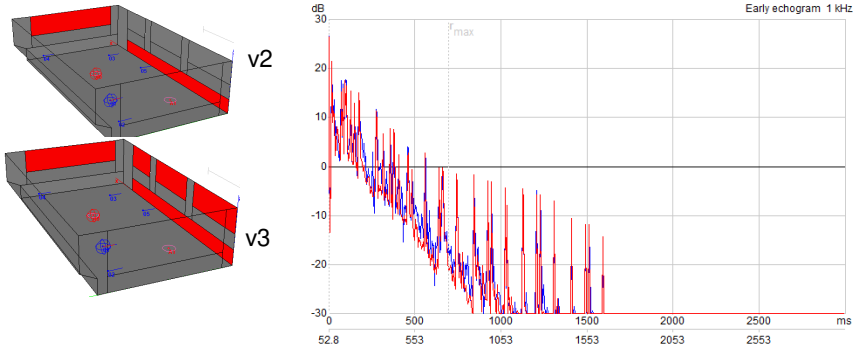
ECOACOUSTIQUE 24

24

## Exemple d'artéfact de simulation acoustique

Quand ajouter une surface absorbante augmente le Tr!!!!

- V2 :  $\alpha_{\text{mean},500-2000\text{Hz}}=0.37$  ->  $T30_{500-2000\text{Hz}} = 2.43$  s,  $\text{EDT}_{500-2000\text{Hz}} = 1.90$  s
- V3 :  $\alpha_{\text{mean},500-2000\text{Hz}}=0.41$  ->  $T30_{500-2000\text{Hz}} = 2.50$  s,  $\text{EDT}_{500-2000\text{Hz}} = 1.91$  s



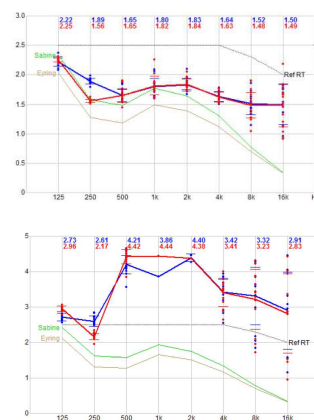
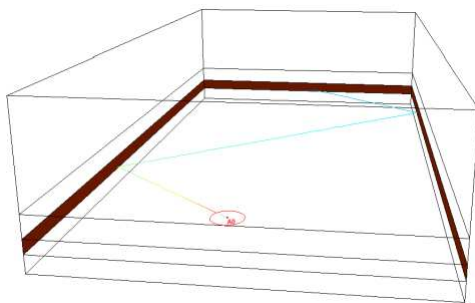
Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



25

## Exemple d'artéfact de simulation acoustique

Une fine bande (entre 1.1 et 2.5m) de matériel réfléchissant à la hauteur des récepteurs peu fortement augmenter le Tr (de 1.8 s à 4.4 s)

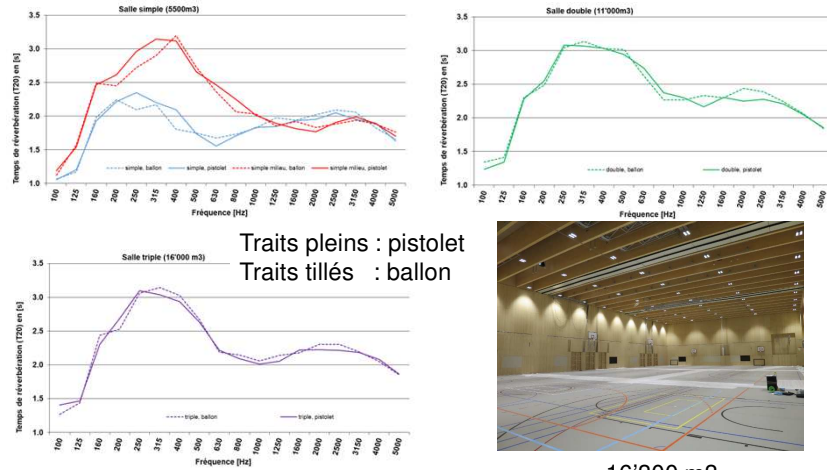


Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



26

## 5) Technique de mesurages Sources impulsives



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques

ECOACOUSTIQUE 27

27

## 6) Isolation entre salles Rideaux ou cloisons mobiles

La directive cantonale vaudoise pour l'aménagement d'installations sportives (fev. 2012 cf. §1.2.5) stipule que « **Les parois mobiles séparant les éléments des salles omnisports devront résister aux impacts et obturer entièrement l'espace sur l'aire d'évolution, tant en hauteur qu'en longueur.** En cas de dérogation à cette obturation totale (séparation(s) partielle(s)), les surfaces communes du volume complet (gradins, galerie, parois, plafond, etc...) seront traitées **de manière à offrir, au centre de chaque module, un abaissement du niveau sonore équivalent à celui qu'offriraient des parois de séparation complètes.** »

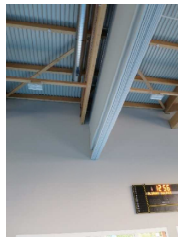


Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques

ECOACOUSTIQUE 28

28

## Isolation entre salles Rideaux mobiles

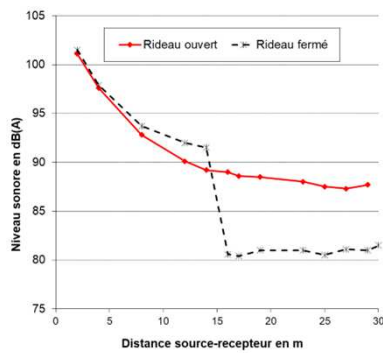


Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques

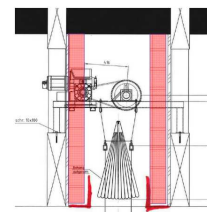
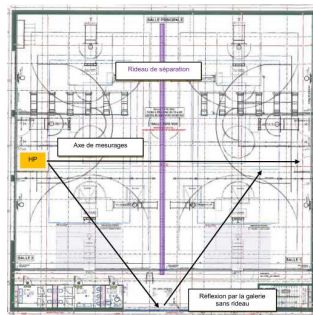


29

## Isolation entre salles Rideaux mobiles



$D_{i,tot} = 18 \text{ dB}$



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



30

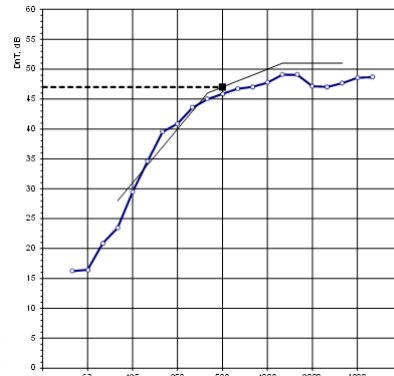
## Isolation entre salles Cloisons mobiles



### PERFORMANCE ACOUSTIQUE EXCEPTIONNELLE

- Indice d'affaiblissement acoustique supérieure
- Joints souples qui forment un joint supérieur contre la plupart des surfaces

Type	CTS	Rw	NRC	SAC	Poids
Classic 51	51	51	-	-	34.2 kg/m <sup>2</sup> (7.0 lbs/ft <sup>2</sup> )
Classic 55	55	54	-	-	37.1 kg/m <sup>2</sup> (7.8 lbs/ft <sup>2</sup> )
Classic 60	60	59	-	-	46.0 kg/m <sup>2</sup> (9.4 lbs/ft <sup>2</sup> )
Classic NRC	50	49	0.65	0.65	36.6 kg/m <sup>2</sup> (7.5 lbs/ft <sup>2</sup> )



$D_{i,tot} = 45 \text{ dB}$

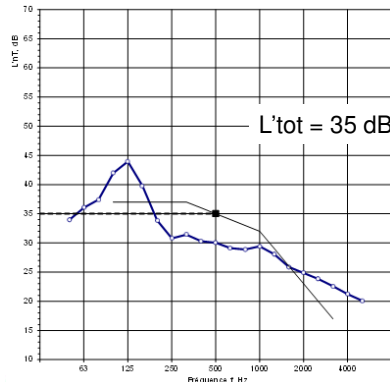


Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques

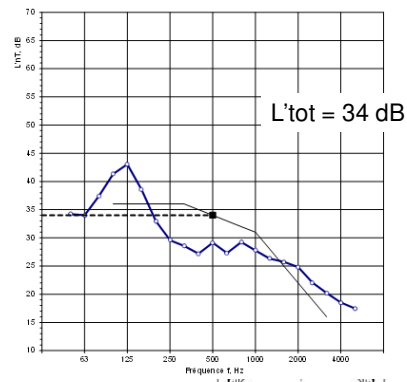
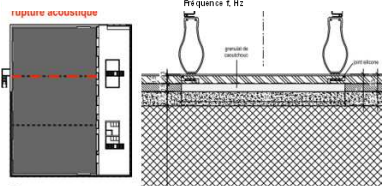


31

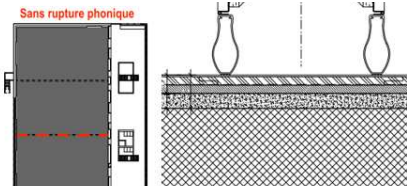
## Isolation entre salles - Cloisons mobiles



$L'_{tot} = 35 \text{ dB}$



$L'_{tot} = 34 \text{ dB}$



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



32



## Conclusion

- L'acoustique est l'un des aspects les plus gênant pour les utilisateurs de salles de gymnastique
- La plupart des normes (suisses et internationales) utilise le temps de réverbération comme critère d'exigence, car facile à mesurer, reproductible et bien lié à la perception subjective
- Pour respecter les exigences (SIA181:2006 = DIN 18041:2004 et OFSPO 2017 = DIN 18041:2016), il faut mettre des matériaux absorbants au plafond et en partie basse de 2 murs adjacents
- Dans une salle triple, les parties du milieu dépassent plus facilement les exigences



## Conclusion

- Les calculs analytiques (Sabine) sous-estiment le temps de réverbération en cas de répartition inhomogène de l'absorption (hypothèse diffusion non remplie) => Simulations 3D nécessaire pour tenir compte de la position de l'absorption
- Attention cependant à la fiabilité des résultats de simulation (risque de surestimation du Tr dans certains cas)
- Comme source impulsive pour le mesurages du Tr, on peut utiliser aussi bien un pistolet qu'un ballon (résultats sensiblement égaux)
- Pour être efficaces, les rideaux ou cloisons de séparation doivent être complets (y compris galerie et raccord plafonds et murs) et si possible absorbants (pour éviter une augmentation du Tr de la salle du milieu)



## Références

- [1] Conetta, Robert, et al. "Acoustics of indoor sports halls and gymnasia." *Gymnasium* 40 (2012): 1-5.
- [2] NOWICKA, Elżbieta. "Acoustical quality assessment of sports facilities." 16th International Conference on Noise Control. Vol. 13. (2013)
- [3] Al-Arja, Omaimah Ali. "Acoustic Environment and Noise Exposure in Fitness Halls." *Applied Sciences* 10.18 (2020): 6349.
- [4] Popovic, Svetislav G., Sanja Paunovic Zaric, and Irena Rajkovic. "Analysis of sports halls in terms of eliminating noise: case study on an example in podgorica, montenegro." *Sport Mont* 18.1 (2020): 25-31.
- [5] Eggenschwiler, Kurt. "SIA 181: 2006 Schallschutz im Hochbau Raumakustik von Unterrichtsräumen und Sporthallen.,,"
- [6] Hornikx, Maarten, Constant Hak, and Remy Wenmaekers. "Acoustic modelling of sports halls, two case studies." *Journal of Building Performance Simulation* 8.1 (2015): 26-38.
- [7] Wallace, Daniel, and Jack Harvie-Clark. "Reverberation times in school halls: measurement oddities and modelling." *Forum Acusticum: Krakow, Poland* (2014)
- [8] Don Oeters. «The effect of scattering objects on measured reverberation times in sport halls» *Acoustics in Practice* Vol. 2 (2014)
- [9] Harvie-Clark, Jack & Wallace, Daniel & Dobinson, N. & Larrieu, F. (2014). Reverberation time, strength & clarity in school halls: Measurements and modelling. 36. 121-138.
- [10] Iannace, Gino, et al. "Acoustical conditions and noise exposure inside school gymnasia and swimming pools." *Proceeding of the 6th European Conference on Noise Control* (2006).

35

35

## Références

- [11] Del Brenna, Gabriele. "Noise Level in Indoor Sports Facilities and Factors Affecting the Acoustic Environment." (2021).
- [12] Nijs, L., and A. Schuur. "Expressing legal demands in acoustical quantities; is the reverberation time a good predictor for the speech intelligibility in a sports hall?." *Research in Building Physics*. CRC Press, 2020. 879-887.
- [13] Carvalho, Antonio P., and Carla C. Barreira. "Sound and noise in high school gymnasiums." *Proceedings of Meetings on Acoustics 167ASA*. Vol. 21. No. 1. Acoustical Society of America (2014)
- [14] Wattez, Yvonne, Martin Tenpierik, and Lau Nijs. "The influence of profiled ceilings on sports hall acoustics: Ground effect predictions and scale model measurements." *Applied Acoustics* 130 (2018): 156-167.
- [15] Iannace, Gino, et al. "Acoustical conditions and noise exposure inside school gymnasia and swimming pools." *Proceeding of the 6th European Conference on Noise Control* (2006)
- [16] Rossi, en collaboration avec le Service de l'éducation physique et du sport. «Recommandations en matière d'acoustique des salles de gymnastique» (1991)
- [17] Gober. «Nachhallzeiten in sporthallen»
- [18] Fraunhofer Institute für Bauphysik. «Lauter Sport in leisen Hallen – Akustische Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen» (2015)
- [19] Penmann. «Reverberation & noise levels in sport» (1977)
- [20] Secrétariat d'Etat à l'Environnement. «Maitrise de l'acoustique dans les équipements de sport» (1989)



Lausanne 03.11.2022, Desarnaulds, Acoustique des salles de gymnastiques



36

36

## Merci pour votre attention!

Décidément, on n'invente rien...

*«Le traitement du plafond seul ne suffit généralement pas. Notamment, cela ne permet pas de supprimer les échos francs ou les échos flottants. Il est souvent nécessaire de traiter également deux parois verticales adjacentes jusqu'à 1,20 m ou 1,80 m du sol.» [20], 1989*

