



Atelier N° 2 Matériel roulant: télécommunication et verre thermique

Animation

Andreas Schüler, EPFL

Christoph Isenschmid, BLS

- » A. Schüler
Fenêtres d'isolation thermique avec forte perméabilité à la communication mobile
Bases et caractéristiques de performance
- » C. Isenschmid
Verre thermique sur les rames RABe 525 NINA
- » Discussion N° I
Intérêts et besoins des entreprises ferroviaires, des exploitants de réseaux mobiles et des fabricants de verre
- » Expériences d'essais pratiques
- » Discussion N° II
Perspectives d'avenir de la nouvelle technologie



Fenêtres d'isolation thermique avec forte perméabilité à la communication mobile Bases et caractéristiques de performance

Andreas Schüler
LESO-PB, EPFL

Damiano Scanferla, Abiraam Varathan, Carine Genoud
Swisscom SA, Innovation Department

Matteo Lanini, Andrea Sofia, Andrea Salvadè
TTHF, SUPSI

Christoph Isenschmid
BLS

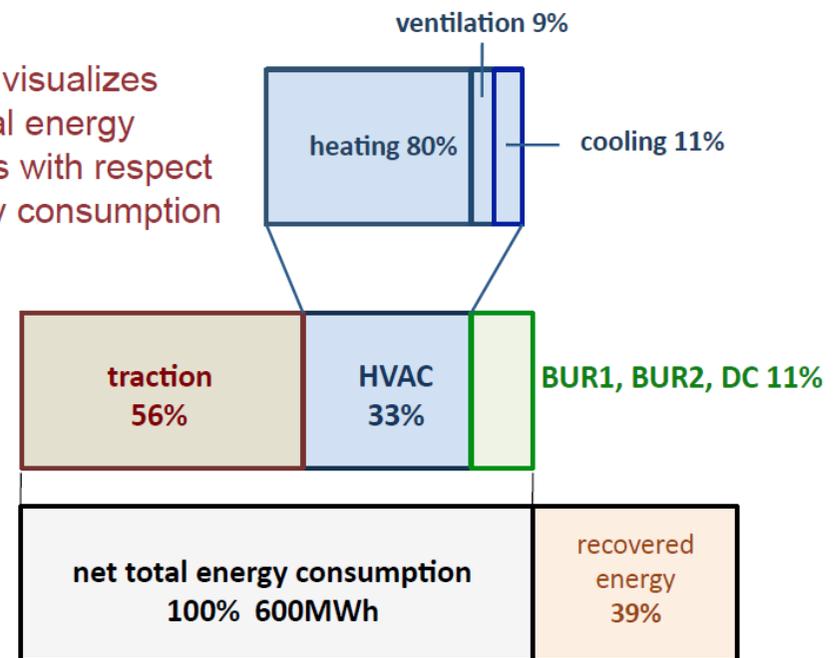
Luc Burnier, Olivia Bouvard
LESO-PB, EPFL

Consommation énergétique dans les transports publics

Exemple:
train du trafic local NINA
du BLS



Overview visualizes individual energy consumptions with respect to total energy consumption



Source: Peter Oelhafen, Université de Bâle

Fenêtres de train: problématique

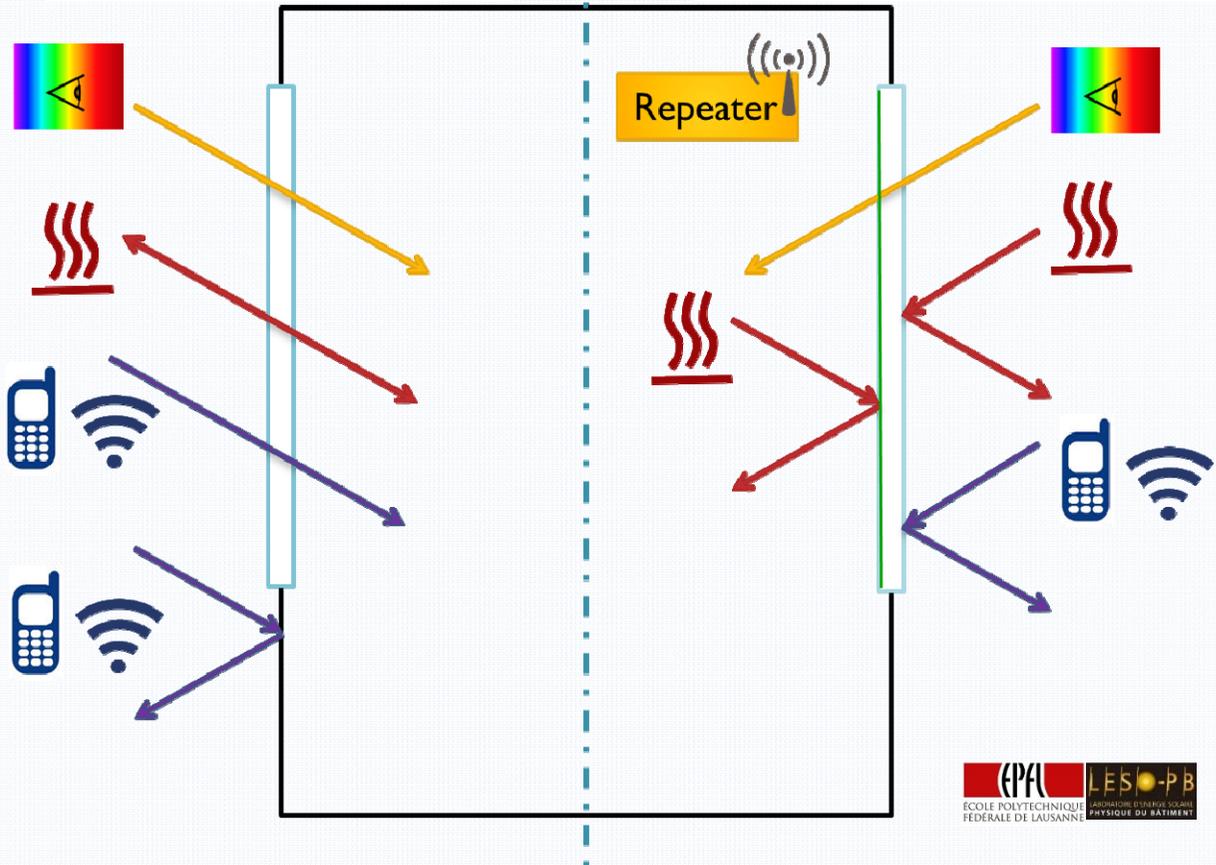
- » Dans certains anciens trains (p. ex. NINA du BLS):
fenêtres sans pelliculage **coefficient U env. $3W/(m^2K)$**
- » Dans les trains modernes (p. ex. pratiquement tous les trains des CFF):
fenêtres avec pelliculage **coefficient U env. $1,0 - 1,8W/(m^2K)$**
- » Pelliculages conventionnels contenant du métal: **forte atténuation**
des micro-ondes de la **communication mobile** (téléphones portables et Internet)
- » Les parois et le toit du train arrêtent également les micro-ondes
(cage de Faraday)
- » Actuellement dans les trains modernes:
renforcement actif par des amplificateurs de signal électroniques, des **répéteurs**
- » Ces appareils doivent régulièrement être remplacés en raison de l'évolution de la
technologie (longueur d'onde, standards de transmission)



Fenêtres de train

sans pelliculage

solution avec répéteur



Exigences (I)

- » Le coefficient U d'un double vitrage adapté aux trains doit être abaissé de $3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ environ à moins de $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ grâce à un pelliculage adéquat.
- » Les nouveaux pelliculages doivent avoir une émissivité thermique aussi faible que possible ($< 5 \%$).
- » Les nouveaux pelliculages doivent pouvoir être utilisés dans les trains qui ne sont pas équipés de répéteurs.
- » Les nouveaux pelliculages doivent absorber le moins possible les micro-ondes ($< 10 \text{ dB}$).



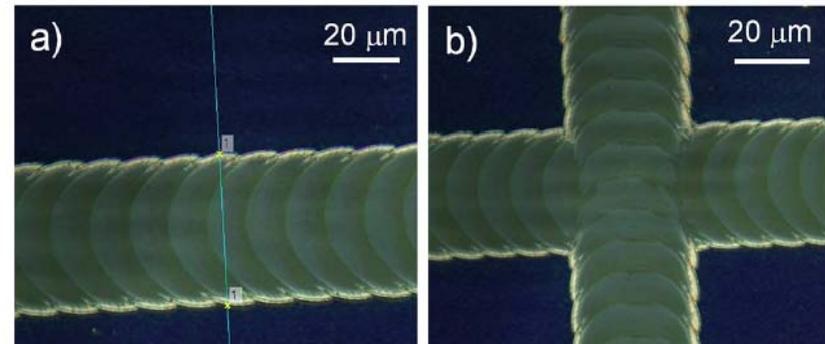
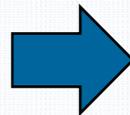


Exigences (II)

- » Le principe de fonctionnement ne doit pas être lié aux plateformes technologiques spéciales actuelles, mais plutôt être ouvert au développement futur de la technologie de la communication.
- » La largeur de bande de la transmission des micro-ondes doit être aussi grande que possible (toutes les fréquences de 800 MHz à 2,6 GHz).
- » La fabrication doit être aussi simple que possible.
- » La compatibilité avec le verre de sécurité doit être assurée.
- » La durée de vie des nouveaux pelliculages doit être aussi longue que possible (25 ans au minimum).



Structure du pelliculage



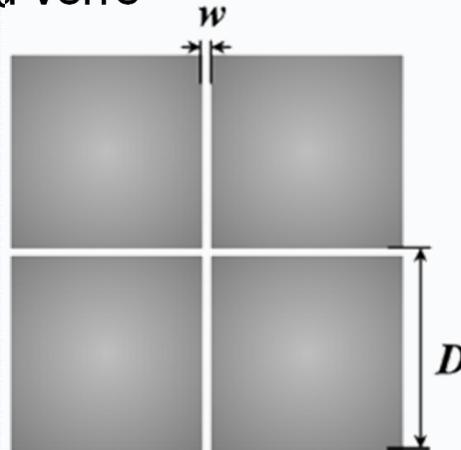
Laser scribing:

interruption de la conductivité électrique à intervalles réguliers

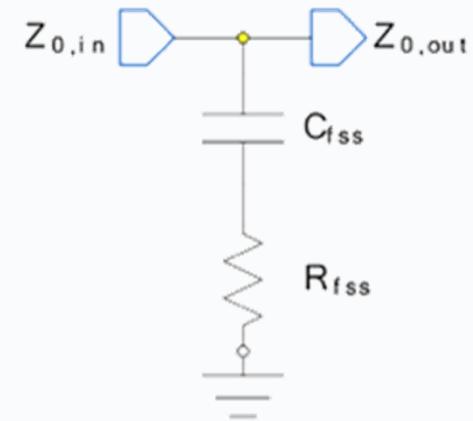
→ Le pelliculage est perméable aux micro-ondes.

Théorie: pelliculage

Pelliculage structuré sur du verre



Circuit équivalent



$$R_{fss} \approx R_{\text{coating}} \frac{D^2}{(D-w)^2}$$

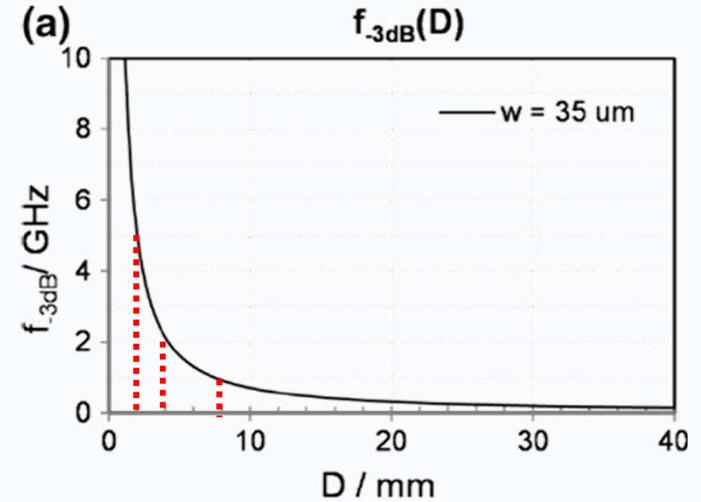
$$C_{fss} = \frac{D\epsilon_0(\epsilon_{r1} + \epsilon_{r2})}{\pi} \ln\left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\pi w}{2D}\right)}\right)$$

Filtre passe-bas avec fréquence de coupure $f_{-3\text{dB}}$

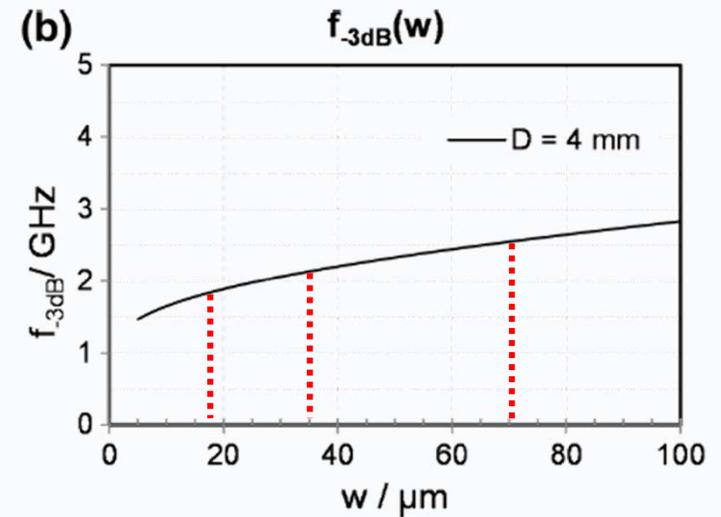
$$f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{2\pi \cdot \left(R_{fss} + \frac{Z_0}{2}\right) \cdot C_{fss}}$$

Position de la fréquence de coupure f_{-3dB}

Rapport à l'écart
entre les lignes

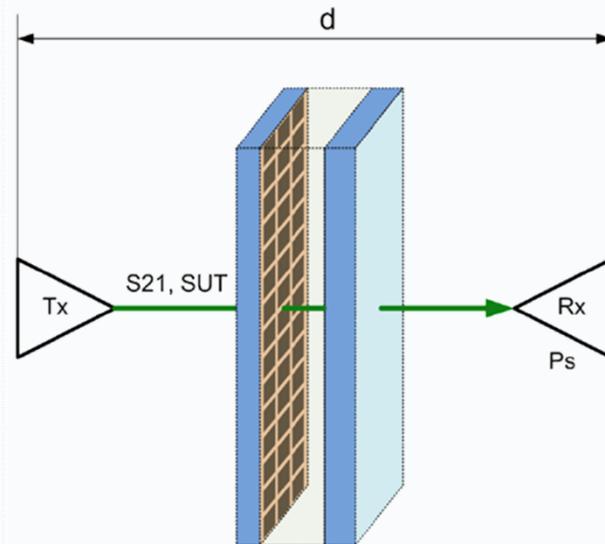


Rapport à la largeur
des lignes

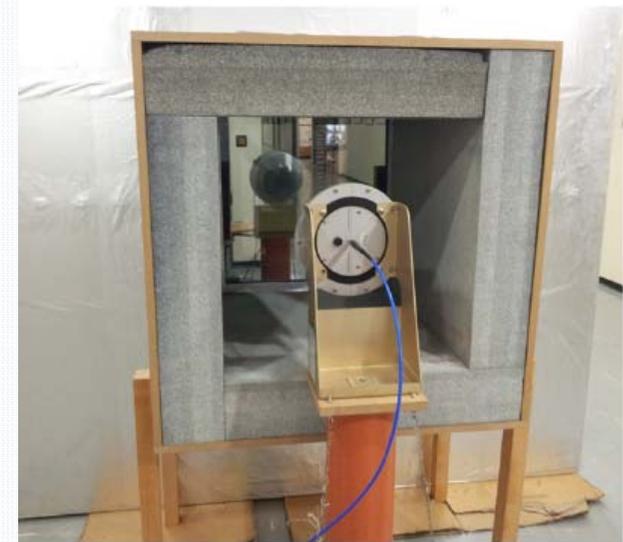


Mesure de la transmission des micro-ondes

Essai entre l'émetteur et le récepteur

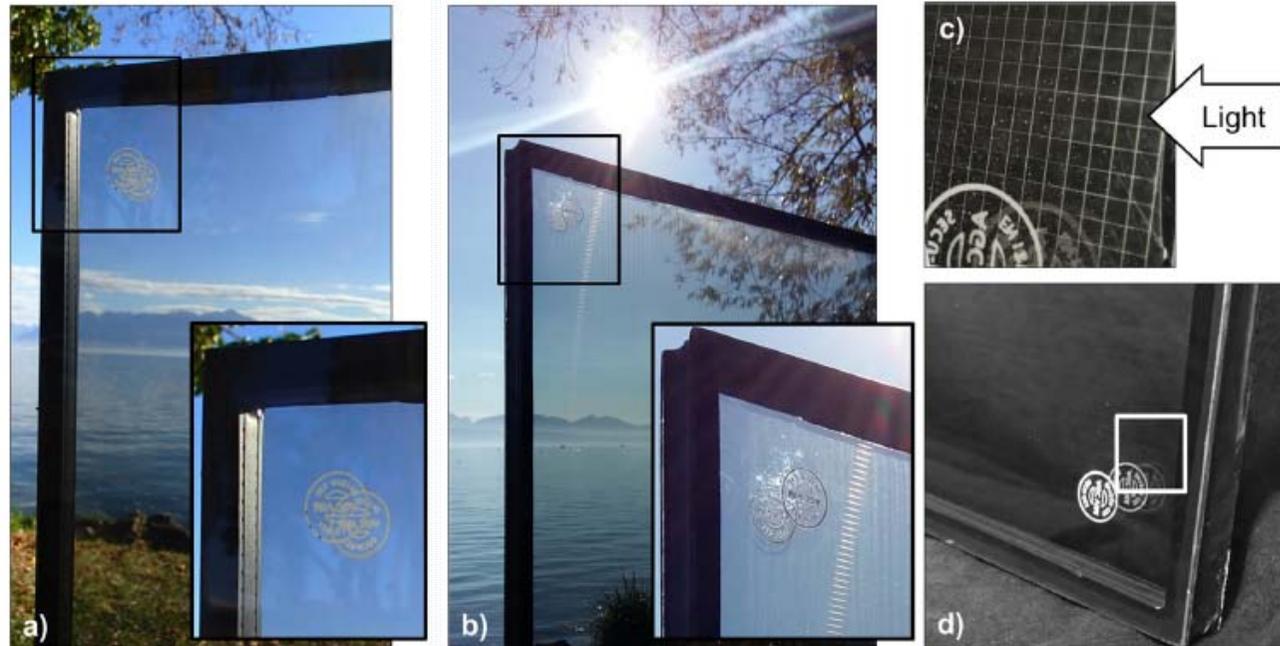


Dispositif de mesure avec blindage



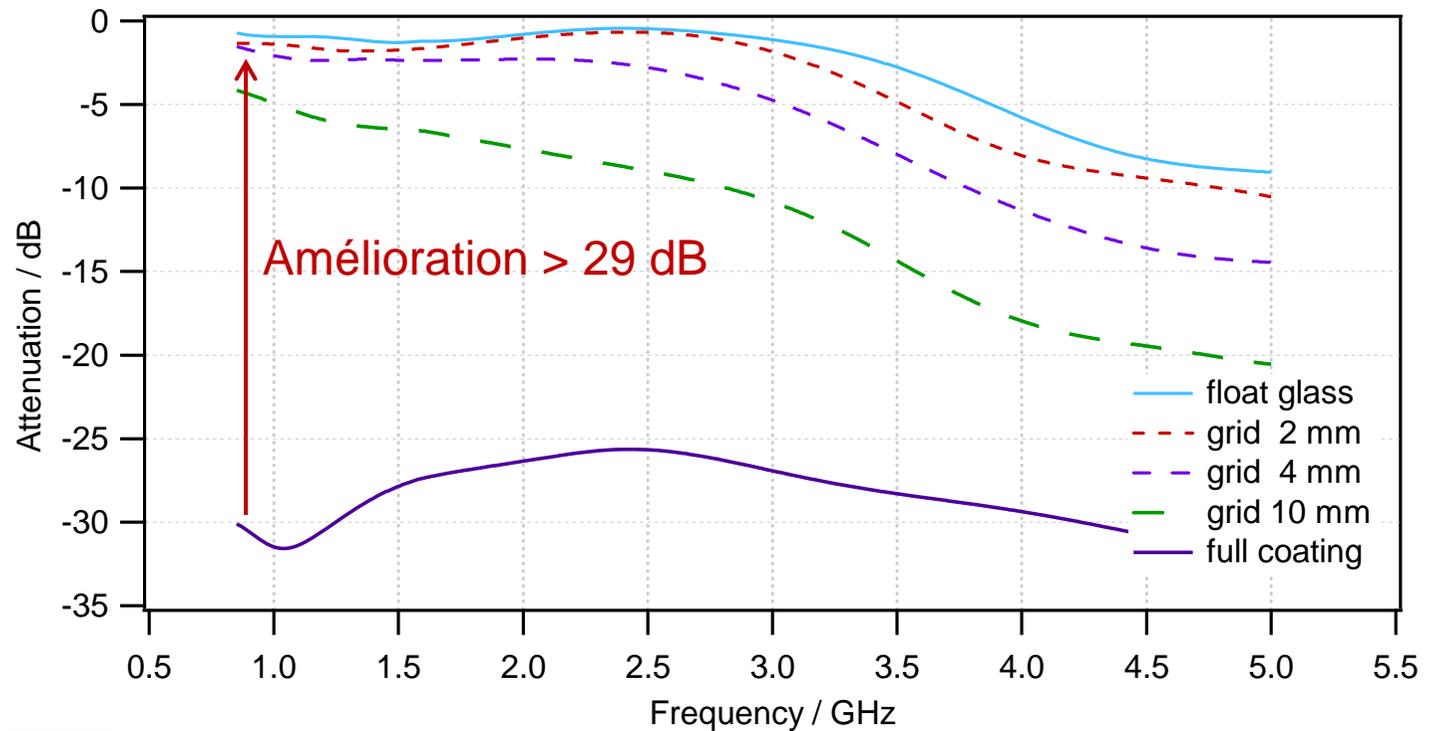
Aspect: transparence

Dans des conditions normales:
lignes à peine visibles



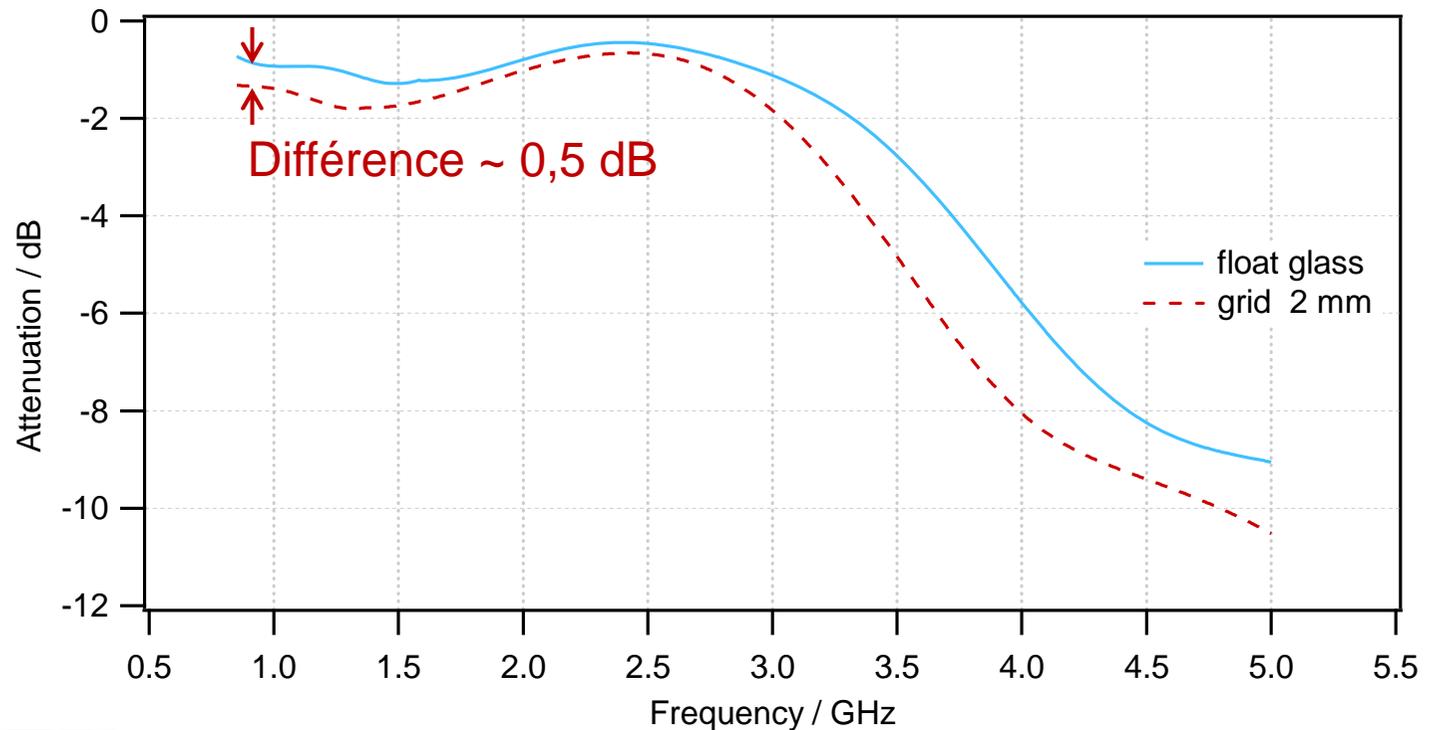
Même dans des conditions difficiles
(contre-jour, lumière rasante), les
lignes ne sont que faiblement visibles.

Transmission des micro-ondes



à 900 MHz: amélioration > 29 dB

Nouveaux pelliculages pour fenêtres de train



Grâce à un nouveau mode de traitement au laser:

→ transmission des micro-ondes quasiment aussi bonne
que celle à travers du verre sans pelliculage

CLASS 4 LASER
See the light

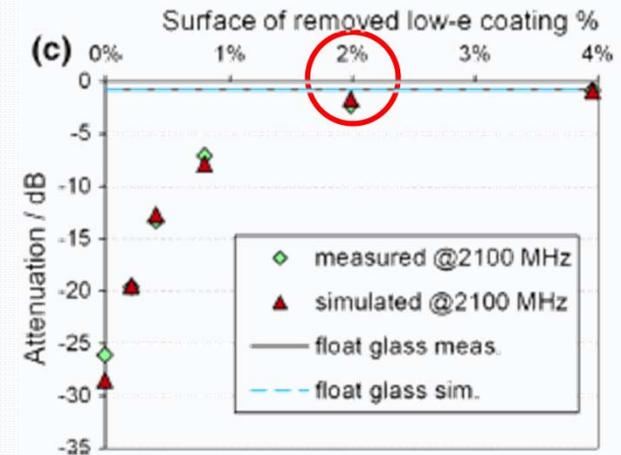
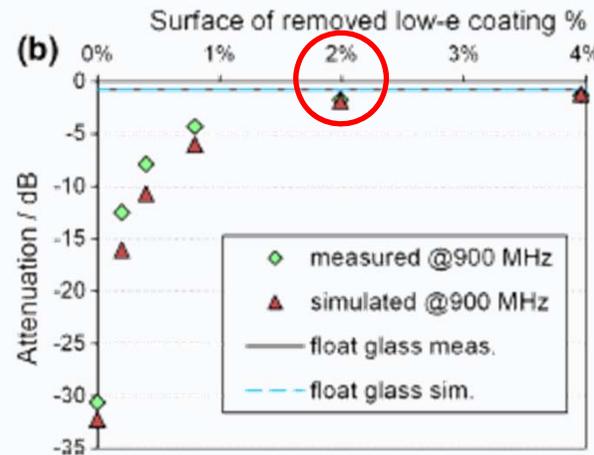
O. Bouvard, M. Lanini, L. Burnier, R Witte, B. Cuttat, A. Salvadè, A. Schüler,
Appl. Phys. A (2017) 123:66

AGC

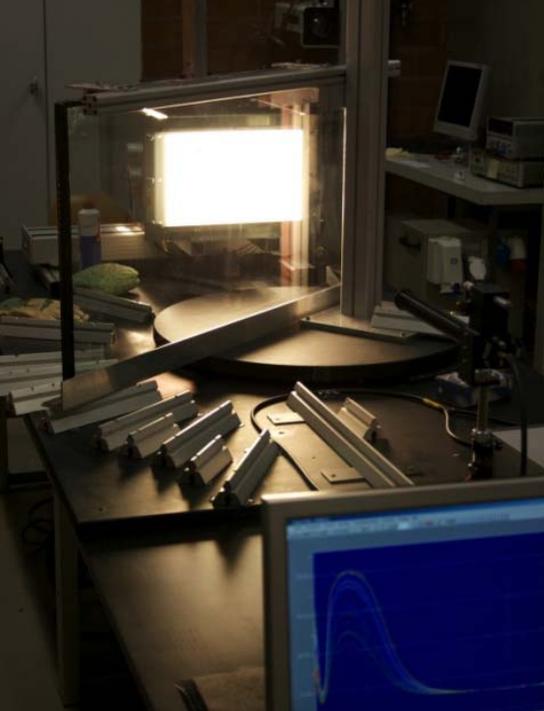
Part de surface libérée

900 MHz

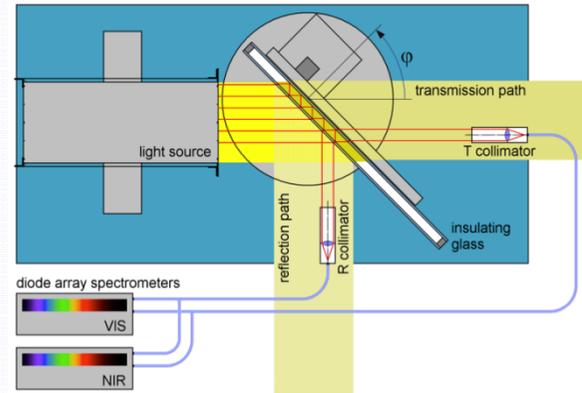
2100 MHz



Modification de l'écart entre
les lignes et maintien de la
même largeur des lignes
(35 μm)



Chiffres-clés énergétiques



Double vitrage avec remplissage en air

Pelliculage:

	sans	ordinaire	traité au laser
$U \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)} \pm 0.04$			
	2.89	1.86	1.87
$g \text{ (}\phi\text{)} \pm 0.02$			
	0.53	0.37	0.37

angle d'incidence: 0°

Mesure du coefficient U:

» Fraunhofer ISE Freiburg



Mesure du coefficient g:

» EPFL/LESO-PB

Partenaires industriels:

- » AGC-VIM
Verres Industriels Moutier
- » Class4Laser, Lyss



Fabrication de prototypes de fenêtres

Première petite série
pour la RABe 525 NINA du BLS



Partenaires industriels:

- » AGC-VIM
Verres Industriels Moutier
- » Class4Laser, Lyss

**Contrôle de qualité
avec l'EPFL
et la SUPSI**

*L. Burnier, M. Lanini, O. Bouvard, D. Scanferla, A. Varathan, C. Genoud,
A. Marguerit, B. Cuttat, N. Dury, R. Witte, A. Salvadè, A. Schüler,
IET Microw. Antennas Propag., 2017, Vol. 11 Iss. 10, pp. 1449-1455*

Montage et test



Christoph Isenschmid, BLS

Mesures comparatives:

RABe 525 NINA 006 (low-e)



Absorption de la pénétration des micro-ondes

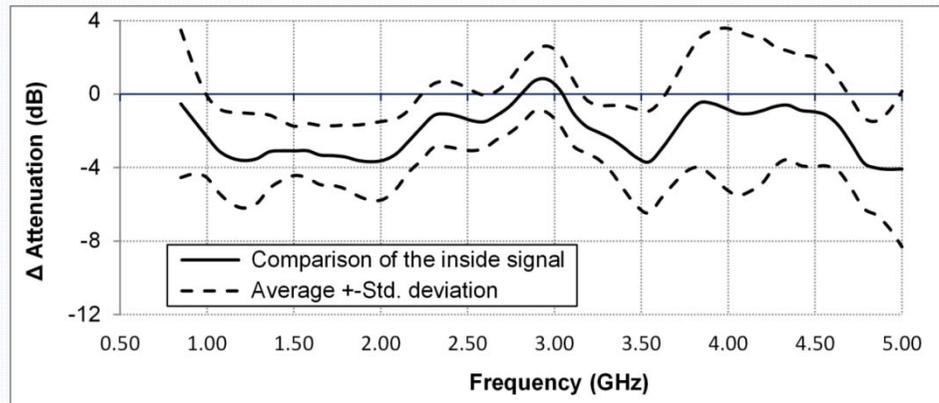
RABe 525 NINA 0xx (std)



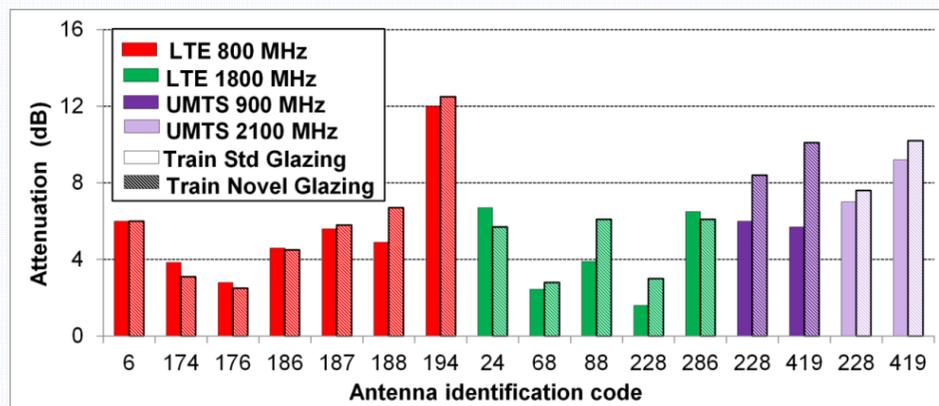
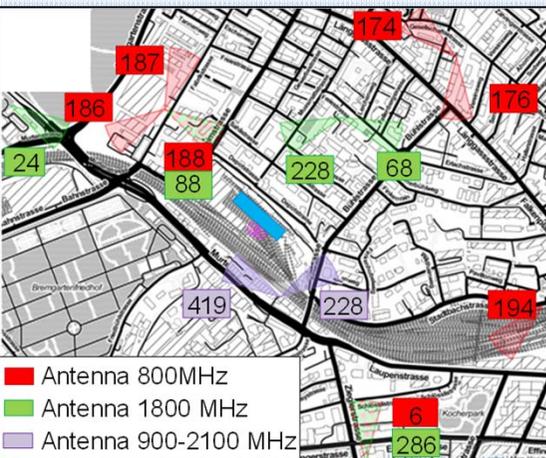
Degré de réception dans le train

*L. Burnier, M. Lanini, O. Bouvard, D. Scanferla, A. Varathan, C. Genoud,
A. Marguerit, B. Cuttat, N. Dury, R. Witte, A. Salvadè, A. Schüler,
IET Microw. Antennas Propag., 2017, Vol. 11 Iss. 10, pp. 1449-1455*

Mesures comparatives avec train immobile

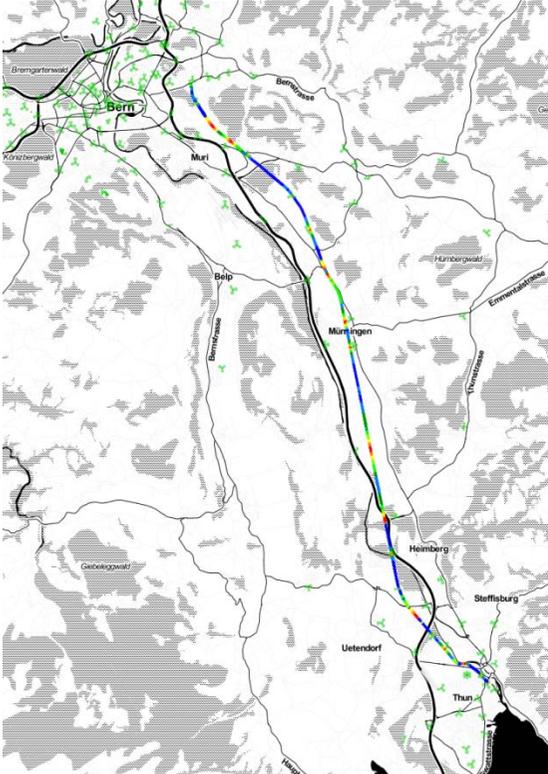


SUPSI



Swisscom

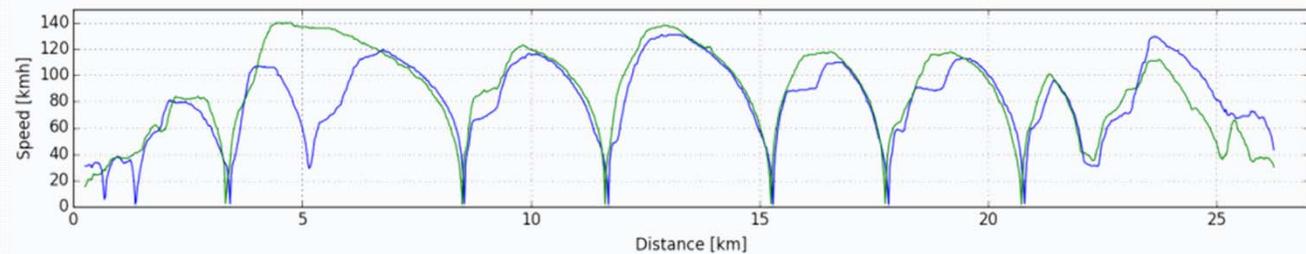
L. Burnier, M. Lanini, O. Bouvard, D. Scanferla, A. Varathan, C. Genoud, A. Marguerit, B. Cuttat, N. Dury, R. Witte, A. Salvadè, A. Schüler, IET Microw. Antennas Propag., 2017, Vol. 11 Iss. 10, pp. 1449-1455



Mesures comparatives avec train en mouvement

de Thoun à Ostermundigen
via Münsingen (ligne S1)

6 x aller-retour pour chaque train
19 février et 1^{er} mars 2016



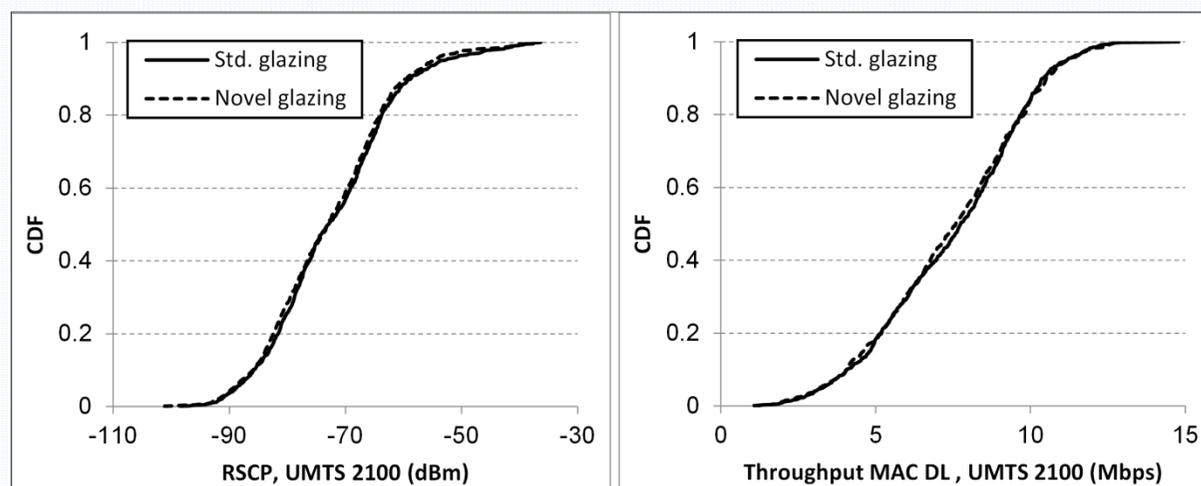
Les courses ne se déroulent pas de
manière exactement identique:
comparaison entre des segments de 25m.

UMTS 900 MHz, UMTS 2100 MHz, LTE 1800 MHz

*L. Burnier, M. Lanini, O. Bouvard, D. Scanferla, A. Varathan, C. Genoud,
A. Marguerit, B. Cuttat, N. Dury, R. Witte, A. Salvadè, A. Schüler,
IET Microw. Antennas Propag., 2017, Vol. 11 Iss. 10, pp. 1449-1455*

Mesures comparatives avec train en mouvement

UMTS 2100 MHz



➔ La **réception** avec les nouvelles fenêtres thermiques est **exactement la même** qu'avec les anciennes fenêtres sans pelliculage

➔ Aussi pour UMTS 900 MHz et LTE 1800 MHz

L. Burnier, M. Lanini, O. Bouvard, D. Scanferla, A. Varathan, C. Genoud, A. Marguerit, B. Cuttat, N. Dury, R. Witte, A. Salvadè, A. Schüler, IET Microw. Antennas Propag., 2017, Vol. 11 Iss. 10, pp. 1449-1455





Récapitulation

- » **Structuration au laser du pelliculage du verre**
- » **Calcul de la transmission des micro-ondes**
- » **Mesure de la transmission des micro-ondes**
- » **Modification minimales des valeurs U et g**
- » **Tests comparatifs** avec un train immobile et en mouvement **réussis (NINA du BLS)**
- » **Équipement de 29 trains** RABe 525 NINA du **BLS** avec les nouvelles fenêtres perméables aux micro-ondes: production en cours, premiers véhicules en service
- » **Livraison** des nouvelles fenêtres de train à **ALSTOM** pour le **prototype M7**
- » Fenêtres de train pour les **wagons panoramiques du MOB** en cours de **production**
- » Discussions avec les **CFF (Domino)**, la **SOB (Flirt)**, le **RBS (train Stadler)** et la **SNCF (train AGC)**



Remerciements

Partenaires industriels

- Arnaud Marguerit, Luc Houlmann, Nicolas Noirjean, Bernard Cuttat, Jean Maushart

AGC Verres Industriels, Moutier



- Reiner Witte, Noémie Dury, Ronald Holtz

Class4Laser, Lyss



Promotion de la recherche

- Office fédéral des transports
- Swisselectric Research
- Office fédéral de l'énergie



BAV - OFT - UFT

