

# Synthèse sur l'affaiblissement électromagnétique des vitrages

Janvier 2021

**SOMMAIRE**

<b>1. CONTEXTE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. LES VITRAGES EXISTANTS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. LES CARACTERISTIQUES ELECTROMAGNETIQUES D'UN VITRAGE .....</b>	<b>5</b>
<b>4. SELECTION D'ECHANTILLONS ET PROTOCOLE DE MESURES.....</b>	<b>6</b>
<b>5. PRINCIPAUX RESULTATS .....</b>	<b>7</b>

## 1. Contexte

L'Agence nationale des fréquences (ANFR) publie des lignes directrices nationales, en vue d'harmoniser la présentation des résultats issus des simulations de l'exposition générée par l'implantation d'une installation radioélectrique<sup>1</sup>.

L'objectif d'une simulation est de donner, à titre d'information, une estimation notamment sous forme cartographique des niveaux de champs électromagnétiques qu'une nouvelle installation radioélectrique est susceptible de générer compte tenu des paramètres d'émission envisagés par l'exploitant et de l'environnement dans lequel elle s'insère.

Les lignes directrices nationales reposent sur une évaluation par la simulation de l'exposition en intérieur. L'atténuation par le bâti est donc un paramètre important du calcul. Par défaut, une atténuation forfaitaire de 2 dB correspondant à un simple vitrage est appliquée sur le niveau de champ.

Compte tenu de l'évolution des réglementations thermiques et l'amélioration constante de l'isolation des bâtiments neufs et existants, le marché des vitrages a considérablement évolué ces dernières années, avec l'apparition et la généralisation progressive de vitrages peu émissifs ou à isolation thermique renforcée.

En 2018, la quasi-totalité des vitrages commercialisés et installés sont au moins doubles comportant sur l'une ou plusieurs des faces internes un revêtement métallique spécifique jouant le rôle de barrière thermique en réduisant de façon importante les pertes de chaleur.

Ces couches métallisées peuvent générer un affaiblissement important du vitrage vis-à-vis des ondes électromagnétiques dans le domaine des radiofréquences.

Afin d'étudier l'impact de la nature du vitrage sur l'atténuation des ondes électromagnétiques, l'ANFR a demandé au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) d'analyser les vitrages actuellement commercialisés et leurs niveaux d'atténuation.

Ce document constitue une synthèse du rapport<sup>2</sup> « Caractérisation de l'affaiblissement électromagnétique des vitrages » fourni par le CSTB, disponible sur le site de l'ANFR.

---

<sup>1</sup> <https://www.anfr.fr/controle-des-frequences/exposition-du-public-aux-ondes/la-simulation-de-champs/>

<sup>2</sup> <https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/expacement/CND/2018-121-CSTB-ANFR-rapport-vitrage.pdf>

## 2. Les vitrages existants

Il existe sur le marché du bâtiment des vitrages simples (monolithiques ou feuilletés), des vitrages isolants (doubles, triples) ou des associations de vitrages.

Les vitrages simples feuilletés sont un assemblage de feuilles de verre et d'intercalaires sous forme de résines ou de films plastiques. Le verre feuilleté peut être associé à d'autres verres dans des doubles ou triples vitrages. Les doubles et triples vitrages sont caractérisés par l'épaisseur des deux ou trois verres et par l'épaisseur de la couche d'air ou de gaz entre les verres.

Des couches supplémentaires spécifiques peuvent être rajoutées pour répondre à différents besoins : isolation acoustique, anti-condensation, antireflet, sécurité antieffraction, résistance aux rayures, etc.

Les vitrages sont avant tout caractérisés par rapport à leurs apports thermiques et lumineux. Les fabricants cherchent à minimiser les déperditions de chaleur, tout en maximisant l'apport de lumière.

Il existe quatre principales caractéristiques thermique et lumineuse pour un vitrage :

- Le coefficient de transfert thermique qui traduit la capacité d'un vitrage à stopper les déperditions de chaleur par conduction.
- Le facteur solaire qui mesure la contribution d'un vitrage à l'échauffement de la pièce. En zone froide, un facteur solaire important sera recherché, en zone chaude, un facteur solaire minimal sera souhaité.
- La transmission lumineuse qui caractérise la quantité de lumière transmise par un vitrage.
- L'émissivité qui traduit les déperditions de chaleur par rayonnement infrarouge.

Les vitrages peu émissifs ou vitrages à isolation thermique renforcée sont des vitrages permettant de réduire les pertes de chaleur par rayonnement. Ils se sont largement développés depuis plusieurs années dans les constructions récentes et en rénovation, avec notamment l'évolution des réglementations thermiques.

Ces produits sont des doubles ou triples vitrages comportant sur l'une des faces internes un revêtement spécifique jouant le rôle de barrière thermique, permettant ainsi une réduction importante des pertes de chaleur. Le revêtement est généralement un dépôt métallique à base d'argent, de nickel ou de titane.

Ces vitrages peuvent aussi être complétés par une couche de protection solaire qui consiste aussi en un dépôt métallique, basé sur différents alliages en fonction du niveau de protection attendu et du rendu visuel du vitrage (couleur, effet opacité, etc.).

Ces couches métallisées présentes dans les vitrages peuvent générer un affaiblissement important du vitrage vis-à-vis des ondes électromagnétiques dans le domaine des radiofréquences et ainsi atténuer fortement la qualité de service des réseaux de téléphonie mobile.

En France, le secteur du bâtiment a recours à des fenêtres à double vitrage depuis une trentaine d'années comme solution efficace d'amélioration thermique et acoustique. Ainsi les vitrages simples (une feuille de verre) ont fait progressivement place à des vitrages doubles voire triples, en très large majorité sur les nouveaux projets.

En 2018, la quasi-totalité des vitrages commercialisés et installés sont au moins doubles et contiennent une couche faible émissivité, pouvant être associée à d'autres couches comme le contrôle solaire pour la réduction des apports solaires (optimisation de la climatisation par exemple).

### 3. Les caractéristiques électromagnétiques d'un vitrage

Les paramètres qui influent sur le niveau d'affaiblissement des ondes électromagnétiques à la traversée d'une paroi constituée de plusieurs couches sont :

- Les grandeurs électromagnétiques des différents matériaux constituant la paroi :
  - o Conductivité électrique (S/m) ;
  - o Permittivité diélectrique relative ;
  - o L'épaisseur des couches.
- L'angle d'incidence de l'onde sur la paroi.
- L'orientation des champs électrique et magnétiques incidents (polarisation de l'onde incidente).

On peut distinguer des couches fortement affaiblissantes, caractérisées par une valeur élevée de conductivité électrique (matériaux conducteurs) et des couches faiblement affaiblissantes caractérisées par une faible valeur de conductivité électrique (matériaux très peu ou pas du tout conducteurs).

Le verre est un matériau diélectrique très peu conducteur. Des couches de verres génèrent donc un affaiblissement relativement faible de l'ordre de quelques décibels dans le domaine des radiofréquences.

Les couches contenant du métal ou des oxydes métalliques ont une conductivité électrique élevée (10 millions de fois plus élevée que le verre). L'épaisseur des couches métallisées dans un vitrage à faible émissivité varie de quelques nanomètres (une seule couche) à 200 ou 300 nanomètres (superposition de couches métalliques, céramiques, etc.). Ces couches métallisées sont trop fines pour être des blindages parfaits vis-à-vis des ondes électromagnétiques mais génèrent néanmoins des pertes en transmission élevées dans les bandes radiofréquences.

#### 4. Sélection d'échantillons et protocole de mesures

L'objectif de la campagne de mesures est d'estimer la variabilité de l'atténuation en transmission des vitrages actuellement vendus et installés dans le neuf et en rénovation. Il s'agit donc d'avoir un ensemble de 25 échantillons représentatifs des solutions techniques disponibles sur le marché.

Les produits vendus en très grande majorité sont des doubles vitrages à couches faible émissivité. Ils constituent donc la majorité des échantillons sélectionnés. Des vitrages « ancienne génération » ont été également sélectionnés: vitrages simples et doubles sans couche. Des triples vitrages ont également été sélectionnés.

Le tableau ci-dessous précise la composition de l'échantillon global de vitrages testés :

Nature du vitrage	Simple	Double sans couche à faible émissivité	Double avec couche à faible émissivité	Triple avec couche à faible émissivité
Nombre de d'échantillons	4	1	18	2

Les mesures ont consisté à mesurer en espace libre les pertes de transmission des 25 échantillons pour des fréquences allant de 700 MHz à 20 GHz. Les mesures sont réalisées en incidence normale pour deux polarisations : polarisation horizontale et polarisation verticale. Pour quelques échantillons, les mesures sont également réalisées pour les angles d'incidence de 30° et 60°, selon les deux polarisations.

## 5. Principaux résultats

En incidence normale, la polarisation de l'onde a peu d'influence sur le coefficient de pertes en transmission. Ce résultat est cohérent avec la structure homogène et isotrope des vitrages et de leurs différentes couches.

Les variations des pertes en transmission peuvent être localement importantes en fonction de la fréquence pour certains échantillons. Ces variations sont dues à la structure multicouche des vitrages et aux phénomènes d'interférences, d'atténuations et de multi réflexions à l'intérieur du vitrage. Au-delà de ces variations locales, il est intéressant d'observer le comportement fréquentiel moyen des pertes en transmission sur l'ensemble du spectre mesuré.

La dispersion entre les modèles (différents fabricants, technologies et épaisseurs) est limitée, avec un comportement fréquentiel semblable : la valeur d'atténuation est principalement liée à la présence de couches métallisées dans la structure du vitrage. L'épaisseur des couches de verres ou la présence de verre feuilleté a peu d'influence sur le comportement global de l'atténuation.

Le facteur dominant est la présence ou non de couches à faible émissivité. En l'absence de couche à faible émissivité, les pertes en transmission pour une incidence normale sont en moyenne de 2 à 4 dB selon que le vitrage est simple ou double.

Pour les vitrages avec couche à faible émissivité, ces pertes en transmissions sont de 32 à 39 dB en moyenne selon que le vitrage est double ou triple.

<b>Nature du vitrage</b>	<b>Simple</b>	<b>Double sans couche à faible émissivité</b>	<b>Double avec couche à faible émissivité</b>	<b>Triple avec couche à faible émissivité</b>
<b>Pertes en transmission moyennes en incidence normale sur la bande de fréquences et sur les échantillons</b>	<b>1,9 dB</b>	<b>3,8 dB</b>	<b>32 dB</b>	<b>39 dB</b>

Lorsque l'incidence du champ n'est plus normale, la polarisation du champ électrique a une influence sur la valeur des pertes en transmission. Cet effet est du second ordre par rapport à l'effet des couches à faible émissivité. L'influence de la polarisation et de l'angle d'incidence est donc surtout visible pour les vitrages sans couches à faible émissivité.

Pour les vitrages dans couche à faible émissivité, le champ incident en polarisation horizontale présente un affaiblissement plus élevé qu'en polarisation verticale ; cet affaiblissement augmente avec l'angle d'incidence, en moyenne sur l'ensemble de la bande de fréquences entre 2 et 3 dB pour une incidence de 30°, entre 5 et 7 dB pour une incidence de 60°.