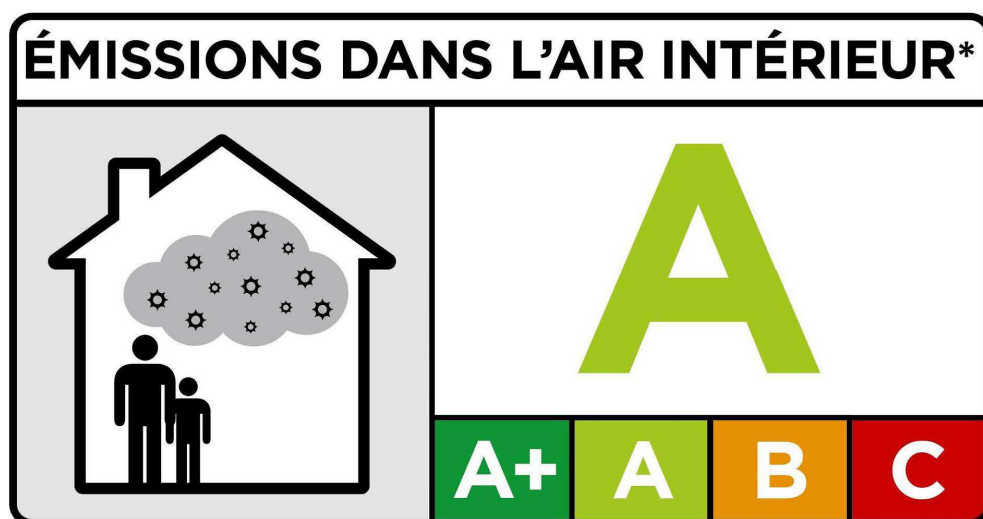


Étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils selon le décret n° 2011-321 du 23 mars 2011 et l'arrêté du 19 avril 2011

Protocole de préparation des éprouvettes d'essai de portes et de fenêtres

06/2014



Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

Ministère du Logement et de l'Égalité des Territoires

www.developpement-durable.gouv.fr
www.territoires.gouv.fr

1. Domaine d'application

L'annexe I de l'arrêté du 19 avril 2011 spécifie la norme NF EN ISO 16000-11 (2006) comme méthode d'échantillonnage et de préparation des éprouvettes d'essai. Cependant, cette norme d'essai ne précisant aucune méthode particulière pour les portes et les fenêtres, le présent document propose donc une procédure générale pour la préparation des éprouvettes de portes et de fenêtres.

Trois possibilités s'offrent aux laboratoires pour la réalisation d'essais d'émissions de polluants volatils par les portes et fenêtres :

1. Essai sur la porte ou la fenêtre à l'échelle 1
2. Essai sur une éprouvette d'essai représentative de la porte ou de la fenêtre
3. Essai sur les différents composants d'une fenêtre

La première possibilité présentée dans ce protocole (essai sur le produit à l'échelle 1) s'applique à tous types de portes et de fenêtres.

La seconde possibilité présentée (préparation d'une éprouvette représentative) s'applique à tous types de fenêtres. Sauf problèmes spécifiques (par exemple : découpe), cette approche s'applique également aux portes dites « homogènes » (présentant une composition homogène et symétrique sur toute leur surface).

La troisième possibilité présentée (essai sur les composants) s'applique uniquement aux fenêtres.

2. Essais sur les portes ou les fenêtres à l'échelle 1

Le produit peut être testé dans sa dimension nominale, à condition qu'il puisse rentrer dans une chambre d'essai d'émission de taille suffisante.

Il convient de respecter le scénario d'exposition (débit d'émission spécifique surfacique de $7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ pour les fenêtres et de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ pour les portes). Un autre scénario pourra être envisagé seulement si les conditions expérimentales suivantes en chambre d'essai d'émission sont respectées¹ :

- $0,25 \text{ h}^{-1} \leq \text{taux de renouvellement d'air } n \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
- $\text{taux de charge } L \leq 2 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$

Comme le scénario d'exposition défini dans l'arrêté du 19 avril 2011 spécifie une surface de 2 m^2 pour les fenêtres et de $1,6 \text{ m}^2$ pour les portes, les produits « type » suivants se rapprochant de ces surfaces (face intérieure émissive) sont retenus comme représentatifs d'une gamme à tester :

- Pour les fenêtres : fenêtre 2 vantaux hauteur 1480 mm x largeur 1450 mm²
- Pour les portes : vantail hauteur 2040 mm x largeur 830 mm x épaisseur

Les poignées et la quincaillerie ne sont pas testées.

¹ Bornes tirées de la norme CEN/ TS 16516

² Dimension de la fenêtre « acoustique » définie dans le référentiel de la marque de certification ACOTHERM (<http://evaluation.cstb.fr/doc/certification/certificats/rt06/rt06-reglement-acotherm.pdf>)

Pour les portes intérieures, la face intérieure et les chants doivent rester émissifs. Si le produit est totalement symétrique, la possibilité de tester la porte avec les 2 faces émissives est laissée à l'appréciation du fabricant et du laboratoire d'essai.

Pour les portes extérieures (portes d'entrée, portes palières) et les fenêtres, il convient dans tous les cas de colmater la face extérieure et de laisser les chants potentiellement émissifs.

Cas particulier des portes :

Quand le dormant (huisserie) est commercialisé avec le vantail (ouvrant), les 2 éléments doivent être testés conjointement.

Le dormant peut être testé seul et être ensuite associé à un ouvrant par le calcul (en additionnant les concentrations d'exposition).

A titre d'exemple, un dormant « type » pour une porte intérieure en bois peut être une huisserie adaptée pour une cloison de 72 mm d'épaisseur. Le linéaire est établi à partir d'un vantail de 2040 mm par 830 mm, soit une longueur totale de 5 m. Seule la partie du dormant au contact de l'air intérieur est considérée comme émissive (schéma 1). Les autres faces sont colmatées.

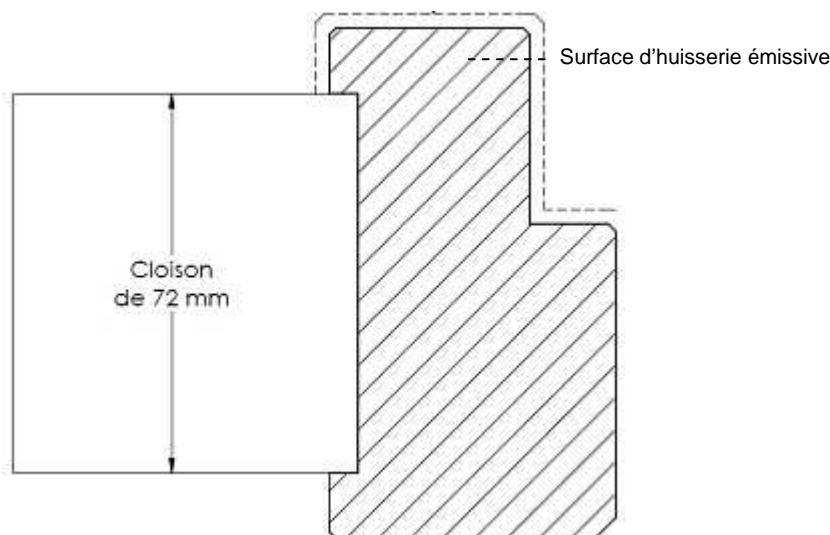


Schéma 1 : Exemple d'huisserie à tester seule ou conjointement avec le vantail

3. Essai sur une éprouvette d'essai représentative de la porte ou de la fenêtre

Pour les laboratoires ne possédant pas de chambre d'essai d'émission de taille suffisante, une première alternative consiste à préparer une éprouvette d'essai à partir du produit à l'échelle 1.

L'objectif est de fabriquer une éprouvette d'essai possédant toutes les caractéristiques du produit à l'échelle 1, c'est-à-dire en gardant la même proportionnalité entre les différents éléments constitutifs pouvant influencer l'émission de composés volatils.

Dans le présent document, le dimensionnement d'une éprouvette d'essai à partir d'un produit à l'échelle 1 est développé pour les portes et les fenêtres en bois. Cette démarche s'extrapole aux autres types de menuiseries (PVC, aluminium, ...).

D'autre part, il convient que l'éprouvette d'essai soit représentative des procédés utilisés pour la fabrication du produit à l'échelle 1.

a. Exemple des portes en bois

i. Principe général

L'exemple de préparation d'une éprouvette d'essai tel que défini dans le présent document s'applique aux portes en bois et dérivés du bois présentant une composition homogène et symétrique sur toute la surface (âme, parement). C'est le cas des portes planes, des portes postformées et de certaines portes menuisées.

Pour les portes mixtes constituées de plusieurs matériaux non symétriques sur toute la surface (par exemple : portes extérieures ou techniques), il convient de réfléchir à la représentativité de l'éprouvette d'essai par rapport au produit à l'échelle 1.

Comme pour l'essai à l'échelle 1, l'éprouvette d'essai pourra être représentative d'une gamme de portes. Elle sera donc découpée dans un échantillon présentant une surface proche du scénario d'exposition, soit $1,6 \text{ m}^2$.

La préparation de l'éprouvette d'essai à partir d'une porte en bois doit intégrer les spécifications suivantes :

- Le rapport « surface des chants (cadre) / surface de parement » entre l'éprouvette d'essai et la porte doit être respecté,
- Le ratio « surface d'âme potentiellement émissive à travers le parement / surface de parement » entre l'éprouvette d'essai et la porte doit être respecté.

Comme pour l'essai à l'échelle 1, seule la face intérieure et les chants de l'éprouvette d'essai restent émissifs.

Pour établir la classe d'émission selon l'arrêté du 19 avril 2011, les concentrations d'exposition sont calculées à partir des facteurs d'émission spécifiques mesurés en chambre d'essai d'émission et du débit d'émission spécifique surfacique d'exposition de la pièce de référence ($q = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$).

Si possible, les conditions expérimentales en chambre d'essai d'émission doivent suivre le scénario d'exposition défini dans l'arrêté du 19 avril 2011 (débit d'émission spécifique surfacique égal à $10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). Si la taille de la chambre d'essai d'émission ne le permet pas, un autre scénario peut être envisagé seulement si les conditions expérimentales suivantes sont respectées :

- $0,25 \text{ h}^{-1} \leq \text{taux de renouvellement d'air } n \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
- $\text{taux de charge } L \leq 2 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$

Le dormant doit être testé s'il est vendu avec l'ouvrant. Il peut être testé soit conjointement avec l'ouvrant, soit seul et associé à l'ouvrant par calcul (en additionnant les concentrations d'exposition).

Si le dormant est testé avec l'ouvrant, un linéaire de dormant est rajouté à côté de l'éprouvette d'essai (ouvrant) dans la chambre d'essai d'émission. Si les montants du dormant sont réunis par un système susceptible d'émettre des substances volatiles (collage par exemple), il convient de placer une section comprenant cette partie.

Pour les éprouvettes d'essai, les poignées et la quincaillerie ne sont pas testées.

ii. Exemple de calcul

- Préparation de l'éprouvette d'essai

Le calcul suivant détaille la préparation d'une éprouvette d'essai à partir d'une porte intérieure en bois de 2040 x 830 x 40 mm pour un essai d'émission en chambre de 50,9 litres.

La porte présente une surface émissive de 1,693 m² (1 face) pour une surface de chants (cadre) de 0,23 m², soit un rapport « surface de chants / surface de parement » de 0,136.

Une éprouvette d'essai de 0,294 x 0,170 m est découpée dans la partie centrale haute de la porte (schéma 2). Sa surface émissive est de 0,050 m². Seule la partie haute de l'éprouvette présente un chant constitué de cadre (surface émissive de chants de 0,0068 m²). Le rapport « surface de chants / surface de parement » est égal à 0,136.

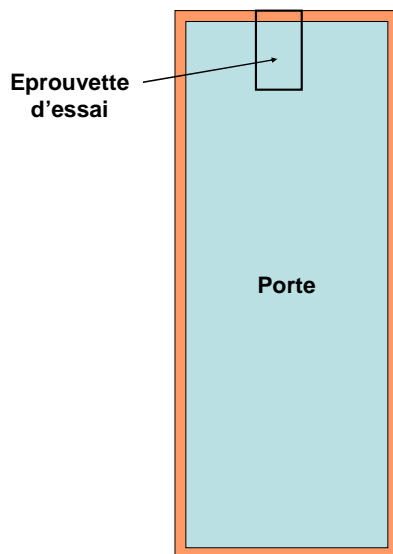


Schéma 2 : Exemple de découpe d'une éprouvette d'essai dans une porte intérieure en bois

Les 3 chants découpés et la contre-face sont colmatés (seule la face au contact de l'air de la pièce de référence reste émissive).

L'âme située à l'intérieur de la porte ne présente pas la même surface potentiellement émissive que le parement. En effet, il faut retirer la section du cadre (40 mm) tout autour de la porte. La surface potentiellement émissive de l'âme à travers le parement est alors égale à 1,470 m² (1,96 x 0,75 m), soit 86,8 % de la surface totale de la porte.

Pour une éprouvette d'essai de dimension 0,294 x 0,170 m, la surface d'âme potentiellement émissive est égale à 0,043 m² (0,254 x 0,170 m), soit 86,4 % de la surface totale de l'éprouvette. Le ratio « surface d'âme potentiellement émissive à travers le parement / surface de parement » est donc respecté.

Un autre type de découpe peut être envisagé (angle de porte comprenant 2 chants non découpés par exemple) si les rapports « surface de chants / surface de parement » et « surface d'âme potentiellement émissive à travers le parement / surface de parement » entre l'éprouvette d'essai et la porte sont respectés

- Conditions en chambre d'essai d'émission

A titre exemple, un débit d'émission spécifique surfacique a été calculé pour un essai d'émission dans une chambre de 50,9 litres (tableau 1).

Paramètre	Pièce de référence ³	Porte « type »	Eprouvette d'essai
Hauteur (m)	/	2,04	0,170
Largeur (m)	/	0,83	0,294
Epaisseur (m)	/	0,04	0,04
Surface émissive totale S (m ²)	1,6	1,693	0,050
Volume V (m ³)	30	30	0,0509
Taux de charge L = S / V (m ² .m ⁻³)	0,05	0,056	0,98
Taux de renouvellement d'air n (h ⁻¹)	0,5	0,5	1,23
Débit d'émission spécifique surfacique q = n / L (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	10	8,9	1,25

Tableau 1 : Exemple de conditions expérimentales pour un essai d'émission en chambre de 50,9 litres

b. Exemple des fenêtres en bois

i. Principe général

L'exemple de préparation d'une éprouvette d'essai tel que défini dans le présent document s'applique aux fenêtres en bois présentant 2 vantaux.

Comme pour l'essai à l'échelle 1, l'éprouvette d'essai doit être représentative d'une gamme de fenêtres présentant une surface proche du scénario d'exposition de 2 m².

Il est proposé de fabriquer une éprouvette d'essai « sur mesure » par gamme de produit en respectant la proportion entre les différents éléments constitutifs (voir photo 1). Il convient de vérifier que cette fabrication est bien représentative du procédé industriel.

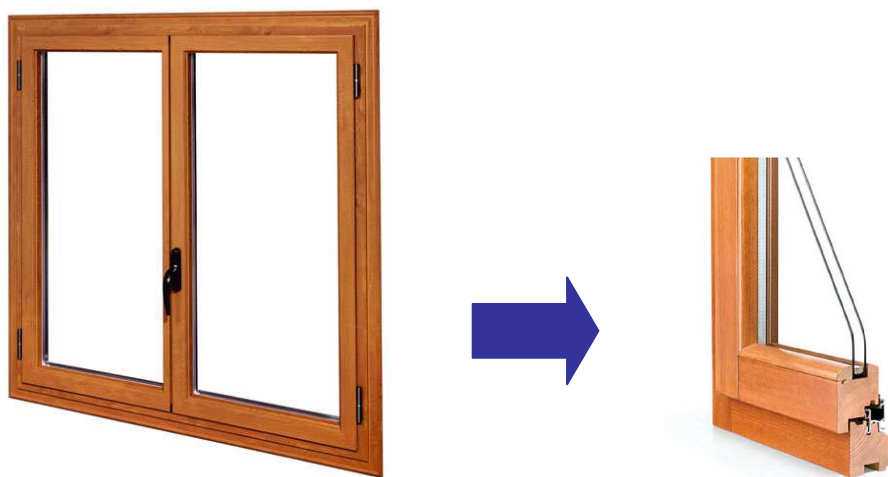


Photo 1 : Exemple d'éprouvette d'essai fabriquée à partir d'une fenêtre en bois

Pour simplifier la préparation de l'éprouvette d'essai, la fenêtre est assimilée à son dormant et à son ouvrant. Les dimensions de la fenêtre « type » (longueur, largeur, surface) sont reprises dans le tableau 2.

Dimension	Hauteur (m)	Largeur (m)	Surface (m ²)
Fenêtre	1,48	1,45	2,15
Dimension	Longueur (m)	Epaisseur (m)	Surface (m ²)
Dormant	5,58	0,07	0,39
Ouvrant	7,34	0,09	0,66
Ratio ouvrant / dormant			1,69

Tableau 2 : Dimensions de la fenêtre « type »

L'éprouvette d'essai doit conserver la même proportionnalité avec la fenêtre « type » pour les éléments constitutifs suivants :

- Le ratio « surface de dormant / surface d'ouvrant » entre l'éprouvette d'essai et la fenêtre doit être respecté,
- Le rapport « longueur de joints / surface totale d'ouvrant et de dormant » entre l'éprouvette d'essai et la fenêtre à l'échelle 1 doit être respecté.

Seule la face et les chants côté air intérieur sont considérés comme émissifs. Les sections de l'éprouvette d'essai et le vitrage sont donc colmatés. Le vitrage est conservé afin de tenir compte de la présence de joint (ou de mastic) entre le vitrage et l'ouvrant.

Si possible, les conditions expérimentales en chambre d'essai d'émission doivent refléter au plus près le scénario d'exposition défini dans l'arrêté du 19 avril 2011 (débit d'émission spécifique surfacique égal à $7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$). Si la taille de la chambre d'essai d'émission ne le permet pas, un autre scénario peut être envisagé seulement si les conditions expérimentales suivantes sont respectées :

- $0,25 \text{ h}^{-1} \leq$ taux de renouvellement d'air $n \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$
- taux de charge $L \leq 2 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$

Pour établir la classe d'émission selon l'arrêté du 19 avril 2011, les concentrations d'exposition sont calculées à partir des facteurs d'émission spécifiques mesurés en chambre d'essai d'émission et du débit d'émission spécifique surfacique d'exposition (cf. tableau 5).

ii. Exemple de calcul

- Préparation de l'éprouvette d'essai

Le calcul suivant détaille la préparation d'une éprouvette d'essai à partir d'une fenêtre en bois de 1480 x 1450 mm pour un essai d'émission en chambre de 50,9 litres.

Une éprouvette d'essai de hauteur 0,19 m x largeur 0,55 m est découpée dans un angle bas de la fenêtre. Sa surface totale émissive est de $0,105 \text{ m}^2$. Un vitrage est fixé sur l'ouvrant selon le même principe que la fenêtre à l'échelle 1.

³ Dimensions de la pièce de référence définies dans l'arrêté du 19 avril 2011

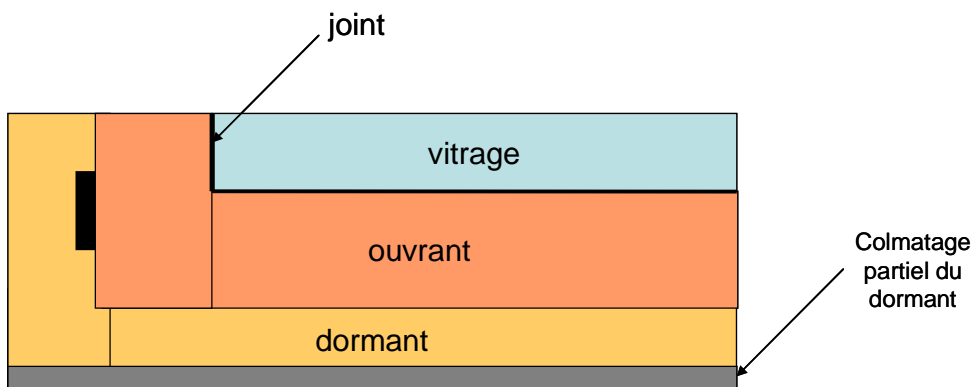


Schéma 3 : Exemple de découpe d'une éprouvette d'essai dans une fenêtre en bois

Pour garder un ratio de 1,7 entre l'ouvrant et le dormant, il suffit de colmater en partie le dormant. Après colmatage, les dimensions de l'éprouvette d'essai sont les suivantes (tableau 3) :

Dimension	Longueur (m)	Surface (m ²)
Dormant	0,67	0,028 (*)
Ouvrant	0,52	0,047
Ratio ouvrant / dormant		1,67

(*) Surface calculée après colmatage de 40 % de la surface du dormant

Tableau 3 : Dimensions de l'éprouvette d'essai

Par souci de simplification, le colmatage partiel du dormant peut être facultatif. Dans ce cas, la surface émissive du dormant de l'éprouvette d'essai (côté air intérieur) est majorée par rapport à celle du produit à l'échelle 1.

Le rapport « longueur de joints / surface totale d'ouvrant et de dormant » entre l'éprouvette d'essai et la fenêtre « type » est aussi respecté (tableau 4).

Dimension	Longueur (m)	Surface « ouvrant + dormant » (m ²)	Ratio longueur joint / surface « ouvrant + dormant »
Fenêtre « type »	7,34	0,391 + 0,661 = 1,052	7,0
Éprouvette d'essai	0,52	0,028 + 0,047 = 0,075	6,9

Tableau 4 : Ratio « longueur de joints / surface totale d'ouvrant et de dormant » entre la fenêtre « type » et l'éprouvette d'essai

- Conditions en chambre d'essai d'émission

Un débit d'émission spécifique surfacique a été calculé pour un essai d'émission dans une chambre de 50,9 litres (tableau 5).

Paramètre	Pièce de référence	Fenêtre « type »	Eprouvette d'essai
Hauteur (m)	/	1,48	0,19
Largeur (m)	/	1,45	0,55
Surface émissive totale S_{tot} (m ²)	2	2,15	0,105
Surface émissive dormant (m ²)	/	0,391	0,028
Surface émissive ouvrant (m ²)	/	0,661	0,047
Surface émissive ouvrant + dormant S (m ²)	/	1,052	0,075
Volume chambre d'essai d'émission V (m ³)	30	30	0,0509
Taux de charge $L = S / V$ (m ² .m ⁻³)	0,07	0,035	1,47
Taux de renouvellement d'air n (h ⁻¹)	0,5	0,5	1,2
Débit d'émission spécifique surfacique $q = n / L$ (m ³ .m ⁻² .h ⁻¹)	7	14,3	0,82

Tableau 5 : Exemple de conditions expérimentales pour un essai d'émission en chambre de 50,9 litres

Pour établir la classe d'émission selon l'arrêté du 19 avril 2011, les concentrations d'exposition sont calculées à partir des facteurs d'émission spécifiques mesurés en chambre d'essai d'émission et du débit d'émission spécifique surfacique d'exposition défini dans le tableau 5.

4. Essai sur les différents composants d'une fenêtre

a. Principe général

Cette troisième option est spécifique aux fenêtres. Son objet consiste à échantillonner les différents composants de la fenêtre, notamment les profilés de l'ouvrant et du dormant de manière à ce que leurs dimensions soient représentatives de la fenêtre « type » (cf. tableau 2).

Dans le présent document, le dimensionnement des composants à partir du produit à l'échelle 1 est développé pour les fenêtres en PVC et en aluminium (avec joints co-extrudés ou enfilés dans une gorge).

Cette démarche peut s'extrapoler aux fenêtres en bois. Pour ce type de menuiserie extérieure, il convient alors de privilégier les tests sur des profilés traités et/ou finis, sans vitrage, ni joint, avec la possibilité de les assembler pour tester des collages potentiellement émissifs.

b. Exemple des fenêtres en PVC et en aluminium

Le principe retenu ici consiste à échantillonner uniquement les profilés (joints inclus) d'ouvrants et de dormants en contact avec l'air intérieur et de ne pas échantillonner le vitrage et les éléments métalliques.

Pour l'ouvrant, on peut préparer une éprouvette d'essai en découpant le profilé d'ouvrant entre le pare-close et le joint de frappe et appliquer cette éprouvette ainsi découpée avec les joints sur une plaque inerte (verre ou inox) pour représenter l'ouvrant.

Pour le dormant, le principe consiste également à ne conserver que la partie en contact avec l'air intérieur, soit par découpe, soit par colmatage des parties qui ne sont pas en contact avec l'air intérieur.

L'échantillonnage des éléments constitutifs de la fenêtre consiste donc à déterminer un linéaire d'ouvrant et de dormant représentatif du système complet.

La fenêtre « type » est une fenêtre 2 vantaux à frappe dont les dimensions (H x L en m, hors recouvrement) sont de 1,48 x 1,45, soit une surface apparente de 2,146 m². Les dimensions (longueur, épaisseur et surface) de cette fenêtre « type » sont reprises dans le tableau 2.

Pour simplifier l'échantillonnage de l'ouvrant, on considère une « épaisseur » de 10 mm du côté du dormant et de 10 mm du côté du vitrage. On ne prend donc pas en compte le pare-close.

En respectant les mêmes ratios ouvrant/dormant pour la longueur et pour la surface, on peut sélectionner une éprouvette d'essai d'une taille minimale de 0,60 m d'ouvrant et de 0,45 m de dormant (cf. tableau 6).

épreuve fenêtre	Longueur (m)	Epaisseur (m)	Surface (m ²)
dormant	0,45	0,07	0,03
ouvrant	0,60	0,09	0,05
ratio ouvrant/dormant	1,33		1,71

Tableau 6 : Dimensions minimales de l'éprouvette d'essai fenêtre

Dans son annexe I.C (Scénario d'émission), l'arrêté du 19 avril 2011 définit une surface de 2 m² pour le scénario « 1 fenêtre ». La fenêtre « type » a une surface apparente de 2,15 m² qui correspond à un $q_{\text{scénario}} = 7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ce qui représente bien le scénario « 1 fenêtre » de la pièce de référence (cf. tableau 7).

Cependant, l'approche présentée ici consiste à assimiler la fenêtre à son dormant et à son ouvrant. Pour ces éléments, les $q_{\text{scénario}}$ correspondants sont très élevés et plus représentatifs des « très petites surfaces ».

fenêtre	pièce référence	fenêtre "type"	dormant référence	ouvrant référence	unités
Qa	15,00	15,00	15,00	15,00	m ³ /h
V	30,00	30,00	30,00	30,00	m ³
n = Q / V	0,50	0,50	0,50	0,50	1/h
S	2,00	2,15	0,39	0,66	m ²
L = S / V	0,07	0,07	0,01	0,02	m ² /m ³
q = n / L	7,50	6,99	38,40	22,71	m³/m²h

Tableau 7 : Scénarii d'émission de référence pour les fenêtres et leurs éléments constitutifs

Pour ce type d'éléments testés dans des chambres de petits volumes (< 1 m³), il est difficile d'ajuster les paramètres d'essai aux paramètres de référence, sauf à travailler sur des éprouvettes de très petites surfaces et à des taux de renouvellement d'air extrêmement importants, ce qui pourrait fausser la représentativité des résultats obtenus.

Pour des chambres d'essai de petits volumes, on doit donc travailler dans des scénarii alternatifs, tout en respectant les bornes fixées :

→ Taux de charge : $L \leq 2 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$

→ Taux de renouvellement d'air : $0,25 \text{ h}^{-1} < n < 1,5 \text{ h}^{-1}$

Le tableau 8 présente un exemple de paramètres d'essai pour les dimensions minimales des éprouvettes d'essai

proposés (cf. tableau 6) et pour une taille de chambre d'essai de 51 L.

fenêtre	dormant essai	ouvrant essai	ouvrant + dormant essai	unités
Qa	0,06	0,06	0,06	m3/h
V	0,05	0,05	0,05	m3
$n = Q / V$	1,18	1,18	1,18	1/h
S	0,03	0,05	0,09	m2
$L = S / V$	0,62	1,06	1,68	m2/m3
$q = n / L$	1,90	1,11	0,70	m3/m2h

Tableau 8 : Scénarii d'essai pour les éléments constitutifs d'une fenêtre (exemple d'une chambre de petit volume = 51 L)

Ce type de calcul des paramètres d'essai est à adapter en fonction de la taille des chambres d'essai utilisées par chaque laboratoire.

Pour établir la classe d'émission réglementaire, on calcule les concentrations d'exposition à partir de facteur d'émission surfacique et des $q_{\text{scénario}}$ calculés dans le tableau 8.

Les concentrations en polluants (C_{mes} en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) sont mesurées en sortie de la chambre d'essai d'émission dans les conditions expérimentales de l'essai : n_{essai} (en h^{-1}), L_{essai} (en $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$) et $q_{\text{essai}} = n_{\text{essai}} / L_{\text{essai}}$ (en $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$).

Selon les recommandations de la norme NF EN ISO 16000-9, on exprime les résultats de l'essai sous la forme de facteurs d'émission spécifiques (SERa, en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) :

$$\text{SERa} = C_{\text{mes}} \times q_{\text{essai}}$$

On calcule alors les concentrations d'exposition en polluants (C_{exp} en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) représentatives d'un scénario de référence tels que définis dans l'annexe I C de l'arrêté du 19 avril 2011 et représentés par leurs débits d'émission spécifiques surfaciques de référence ($q_{\text{référence}}$) :

$$\text{SERa} = C_{\text{exp}} \times q_{\text{référence}}$$

D'où :

$$C_{\text{exp}} = C_{\text{mes}} \times (q_{\text{essai}} / q_{\text{référence}})$$