

Rapport final

08/12/2010

**Prévention des Risques associés à
l'implantation de cellules photovoltaïques sur
des bâtiments industriels ou destinés à des
particuliers**

CSTB
le futur en construction

INERIS
*maîtriser le risque |
pour un développement durable |*

Prévention des Risques associés à l'implantation de cellules photovoltaïques sur des bâtiments industriels ou destinés à des particuliers

DRA-10-108218-13522A

Client : MEEDDM

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

CSTB : N. Blanchard, D. Dhima, M. Bonhomme

INERIS : S. Duplantier, D. Calogine, B. Weinberger, C. Malvaux, J.P. Bertrand

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS et au CSTB, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS et du CSTB ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS et par le CSTB dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS et au CSTB de par leur décret de création, l'INERIS et le CSTB n'interviennent pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS et du CSTB ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS et le CSTB dégagent toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

INERIS	Rédaction	Vérification	Approbation
Nom	S. DUPLANTIER	B. PIQUETTE	Y. MACE
Visa		P.I. 	
CSTB	Rédaction	Vérification	Approbation
Nom	D. DHIMA et N. BLANCHARD	M. CHENAF	P. CARLOTTI
Visa			

Sommaire

1.	Introduction.....	6
2.	Inventaire des différents types de produits existants.....	7
2.1	Les différents types de produits existants.....	7
2.1.1	Technologie du silicium cristallin.....	7
2.1.2	La technologie des couches minces.....	7
2.2	Les modules.....	8
2.2.1	Module photovoltaïque standard.....	8
2.2.2	Vitrage photovoltaïque.....	9
2.2.3	Film photovoltaïque.....	9
2.3	Exemple de configuration d'implantation.....	10
2.3.1	Mise en œuvre en couverture.....	10
2.3.2	sur support en toiture terrasse.....	11
2.3.3	Mise en œuvre en façade.....	12
2.3.4	Mise en œuvre en verrière.....	12
2.3.5	Mise en œuvre en garde corps.....	12
2.3.6	Mise en œuvre en brise soleil.....	13
2.3.7	Mise en œuvre de films photovoltaïques rapportés sur supports.....	13
2.3.8	Ombrières.....	13
2.4	Les onduleurs.....	15
2.5	Les câbles et connecteurs.....	15
3.	Identification des exigences réglementaires en lien avec l'implantation de panneaux photovoltaïques.....	16
3.1	Aspect batimentaire.....	16
3.1.1	Exigences réglementaires concernant les revêtements de l'enveloppe d'un bâtiment 16	
3.1.2	Exigences réglementaires à respecter en situation d'incendie par les panneaux photovoltaïques installés sur les Etablissement Recevant du Public (ERP).....	17
3.1.3	Exigences réglementaires à respecter en situation d'incendie par les panneaux photovoltaïques installés sur les IGH.....	21
3.1.4	Exigences réglementaires à respecter en situation d'incendie par les panneaux photovoltaïques installés sur les bâtiments d'habitation.....	23
3.1.5	Exigences concernant l'installation électrique (câbles et onduleurs).....	25
3.1.6	Conclusion.....	28
3.2	Aspect industriel.....	29
3.3	Synthèse des exigences réglementaires.....	31
4.	Analyse des risques liés à l'implantation de cellules photovoltaïques.....	32
4.1	Inventaire des incidents/accidents recensés dans la littérature et analyse du retour d'expérience.....	32
4.2	Recensement des différentes configurations d'implantation possibles en incluant le support et le type d'habitation concernée.....	35

4.3	Recensement des charges calorifiques pour les différentes configurations possibles.....	39
4.4	Analyse des risques.....	41
4.4.1	Exemple de barrières techniques possibles	42
4.4.2	Normes applicables :	44
5.	Réalisation d'essais afin d'évaluer le comportement vis-à-vis du feu.....	47
5.1	Essais au calorimètre de Tewarson.....	47
5.1.1	Protocole des essais	48
5.1.2	Résultats des essais.....	48
5.2	Analyse des résultats des essais de réaction au feu (SBI)	51
5.3	Analyse des résultats des essais de résistance au feu – essais de toiture et de verrière.....	55
5.3.1	Liste des essais réalisés.....	55
5.3.2	Résultats observés	58
5.3.3	Essai de verrière.....	60
5.4	Essais à grande échelle de la configuration industrielle.....	60
5.4.1	Objectifs des essais.....	60
5.4.2	Protocole	61
5.4.3	Résultats.....	62
5.5	Essais sur maquette habitat particulier	65
5.5.1	Objectifs des essais.....	65
5.5.2	Protocole	65
5.5.3	Résultats.....	67
5.6	Essais en lien avec l'intervention des services de secours.....	69
6.	Elaboration d'un cahier de recommandations en fonction des différentes implantations :...	70
6.1	Eléments d'ordre général.....	70
6.2	Eléments concernant l'installation en façade	71
6.3	Eléments concernant l'installation en toiture.....	72
6.4	Eléments relatifs aux équipements électriques.....	73
6.5	Eléments relatifs à l'intervention	74
6.6	Procédure de la définition des performances en situation d'incendie des systèmes photovoltaïques.....	76
6.7	Synthèse des exigences réglementaires	77
7.	Références	79
8.	Liste des annexes.....	82

1. INTRODUCTION

Plébiscitée par le Grenelle de l'Environnement et aidée par des tarifs d'achat (initialement précisés dans l'Arrêté du 10 juillet 2006 et désormais dans l'Arrêté du 12 janvier 2010, modifié par les Arrêtés du 15 janvier 2010 et du 16 mars 2010), l'électricité photovoltaïque est actuellement en plein développement. La prime à l'intégration privilégie par ailleurs fortement le développement de solutions assurant une fonction technique à l'acte de construire, c'est-à-dire très généralement des systèmes photovoltaïques mis en œuvre en lieu et place d'éléments d'enveloppe.

En France, l'expérience acquise dans le domaine du photovoltaïque ne permet pas encore de classer cette technique comme une technique traditionnelle. En effet, des normes sur les produits photovoltaïques existent, telles que la CEI 61215 ou CEI 61646, mais aucun document de prescriptions techniques d'emploi et de mise en œuvre n'est disponible. Seules les descriptions techniques et préconisations des industriels sont à disposition des installateurs et utilisateurs.

Ce développement peut ainsi se heurter à une méconnaissance des risques associés à l'implantation de ces systèmes dans le domaine du bâtiment, notamment en termes de sécurité incendie.

L'objet de cette étude est l'approfondissement des connaissances des risques liés à l'implantation de cellules photovoltaïques sur des bâtiments industriels ou destinés à des particuliers.

Elle a été réalisée à la demande du ministère exprimée lors d'une réunion le 26 juin 2009 et qui s'est concrétisée par une réponse conjointe de l'INERIS et du CSTB. Le contenu de l'étude a ainsi fait l'objet d'une convention tripartite qui a été transmise à chacun de ces organismes en février 2010.

Les systèmes étudiés dans le cadre de cette étude sont définis par les cellules photovoltaïques proprement dites auxquelles s'ajoutent toutes les liaisons électriques jusqu'au compteur électrique. Un des principaux risques étudiés est le risque incendie et plus particulièrement d'une part les risques d'inflammation au niveau du système et d'autre part la réponse de ce système lorsqu'il est soumis à une agression de type incendie.

L'étude comporte les étapes suivantes :

1. Inventaire des différents types de produits existants,
2. Détermination des exigences réglementaires en lien avec l'implantation de panneaux photovoltaïques
3. Analyse des risques liés à l'implantation de cellules photovoltaïques,
4. Réalisation d'essais afin d'évaluer le comportement en présence de feu dans des conditions aussi proches que possibles de l'échelle 1,
5. Elaboration d'un cahier de solutions négociées avec les différents acteurs pour lever les différentes difficultés identifiées.

2. INVENTAIRE DES DIFFERENTS TYPES DE PRODUITS EXISTANTS

2.1 LES DIFFERENTS TYPES DE PRODUIS EXISTANTS

Un inventaire des différentes technologies photovoltaïques existant sur le marché a été réalisé afin de distinguer les différentes configurations possibles pour notre étude. Les principales caractéristiques techniques sont rappelées succinctement par la suite. Deux technologies de cellules photovoltaïques sont actuellement essentiellement utilisées pour les panneaux classiques, de morphologie rigide ou amorphe :

- la technologie du silicium cristallin,
- la technologie des couches minces (« Thin Film »)

Ces deux technologies sont décrites dans les paragraphes suivants.

2.1.1 Technologie du silicium cristallin

Les cellules en silicium cristallin sont composées de fines tranches coupées à partir d'un seul cristal de silicium (monocristallin) ou d'un bloc de cristaux de silicium (polycristallin). Leur rendement varie entre 12% et 17%. Il s'agit de la technologie la plus répandue, représentant aujourd'hui environ 90% du marché.

Trois principaux types de cellules cristallines peuvent être distingués :

- Monocristallines (Mono c-Si),
- Polycristallines (Poly c-Si),
- Rubans (ribbon c-Si)

Ces modules se distinguent en fonction des technologies de silicium qu'ils utilisent :

- **silicium monocristallin:** les capteurs photovoltaïques sont à base de cristaux de silicium encapsulés dans une enveloppe plastique.
- **silicium polycristallin:** les capteurs photovoltaïques sont à base de polycristaux de silicium, notablement moins coûteux à fabriquer que le silicium monocristallin, mais qui ont aussi un rendement un peu plus faible. Ces polycristaux sont obtenus par fusion des rebuts du silicium de qualité électronique.
- **silicium amorphe:** les panneaux « étalés » sont réalisés avec du silicium amorphe au fort pouvoir énergisant et présentés en bandes souples permettant une parfaite intégration architecturale.

2.1.2 La technologie des couches minces

Les cellules en couches minces sont constituées de très fines couches d'un matériau photosensible déposées sur un support à bas-coût tel que le verre, l'acier inoxydable ou le plastique. Les coûts de production du procédé des couches minces sont inférieurs à ceux de la technologie cristalline qui nécessite davantage de matière première. Cet avantage en termes de prix est toutefois contrebalancé par des rendements généralement moins élevés (entre 5% et 13%).

Quatre types de cellules en couches minces (en fonction de la matière active utilisée) sont actuellement disponibles dans le commerce :

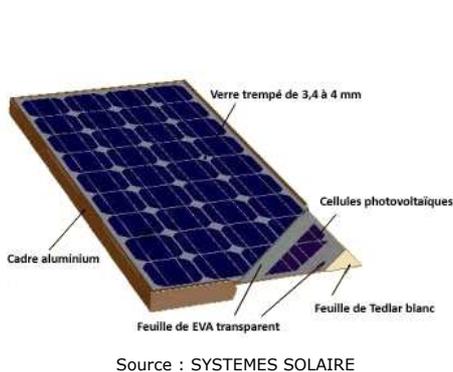
- • Silicium amorphe (a-Si)
- • Tellure de Cadmium (CdTe)
- • Cuivre Indium/Gallium Diselenide / disulphide (CIS, CIGS)
- • Cellules multi-jonction (a-Si/m-Si)

Les cellules polymères et les cellules composites organiques/inorganiques sont encore au stade de l'étude.

2.2 LES MODULES

Le terme générique « module » désigne un assemblage de cellules photovoltaïques interconnectées, complètement protégé de l'environnement. Cet assemblage peut être ou non cadré. Ces modules comportent par ailleurs une boîte de connexion d'où sortent deux câbles électriques, dont les extrémités sont généralement équipées de connecteurs électriques. Les différents types de modules actuellement proposés sur le marché sont les suivants :

2.2.1 Module photovoltaïque standard



- Constitué d'un verre en face avant et d'un film polymère en face arrière entre lesquels sont encapsulées des cellules photovoltaïques
- La sous-face du laminé reçoit par ailleurs une boîte de connexion assurant le raccordement aux câbles électriques qui permettent la connexion des modules entre eux
- Ce laminé peut ensuite être cadré ou non

Figure 1: Module photovoltaïque standard

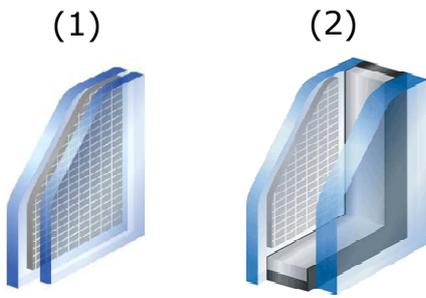
Les compositions « classiques » proposées pour ce type de modules sont :

- du verre trempé de 3.2 ou 4 mm d'épaisseur,
- un film polymère de 0,250 à 0,450 mm d'épaisseur, très généralement à base de polyéthylène téréphtalate (PET) et polyfluorure de vinyle (PVF ou Tedlar®). Certains films peuvent également être à base d'Ethyl Vinyl Acétate (EVA) ou de polyfluorure de vinyldène (PVFD) associé à du Tedlar®,
- des cellules photovoltaïques à base de silicium mono ou polycristallin de dimension 125x125 mm ou 156x156 mm en épaisseur généralement comprise entre 0,180 et 0,240 mm,
- une résine d'encapsulation principalement en Ethyl Vinyl Acétate (EVA) d'épaisseur en moyenne de 0.5 mm. Le Polyvinyle butyrate (PVB) peut également être utilisé,
- des fils en cuivre étamé afin de collecter l'électricité produite par les cellules,

Les boîtes de connexions sont principalement en matériau synthétique (de composition non révélée), sont collées à l'aide de silicone et présentent des dimensions inférieures à (150x120x30) mm.

Dans le cas des modules cadrés, les profilés d'encadrement sont très généralement en aluminium brut ou anodisé.

2.2.2 Vitrage photovoltaïque



Source/ SCHOTT SOLAR

- Vitrage feuilleté (1) ou vitrage isolant photovoltaïque (2)
- Les cellules photovoltaïques sont encapsulées dans une résine et prises en sandwich entre deux feuilles de verre (feuilleté).

Figure 2: Vitrages photovoltaïques

Les compositions « classiques » proposées pour ce type de modules sont :

- d'un verre, côté intérieur,
- d'un verre, côté extérieur,
- des cellules photovoltaïques à base de silicium mono ou polycristallin de dimension 125x125 mm ou 156x156 mm en épaisseur généralement comprise entre 0,180 et 0,240 mm,
- une résine d'encapsulation principalement en Ethyl Vinyl Acétate (EVA) d'épaisseur en moyenne de 0.5 mm. Le Polyvinyle butyrate (PVB) peut également être utilisé,
- des fils en cuivre étamé afin de collecter l'électricité produite par les cellules.

2.2.3 Film photovoltaïque



Source : UNISOLAR

- Constitué en grande partie de feuilles polymère, ces modules ont la propriété d'être souples
- Les cellules photovoltaïques sont en couches minces (poudre de matériau semi conducteur déposées sur un substrat)

Figure 3: Films photovoltaïques

Les films les plus couramment rencontrés aujourd'hui sur le marché sont composés de cellules photovoltaïques, à l'état amorphe, déposées sur un substrat en acier inoxydable constituant le pôle négatif puis encapsulées dans un polymère éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE ou Tefzel®). L'épaisseur globale est de l'ordre de 0,3 cm.

2.3 EXEMPLE DE CONFIGURATION D'IMPLANTATION

Les différentes technologies de modules présentés ci-dessus permettent une grande variété d'implantation dans le domaine du bâtiment :

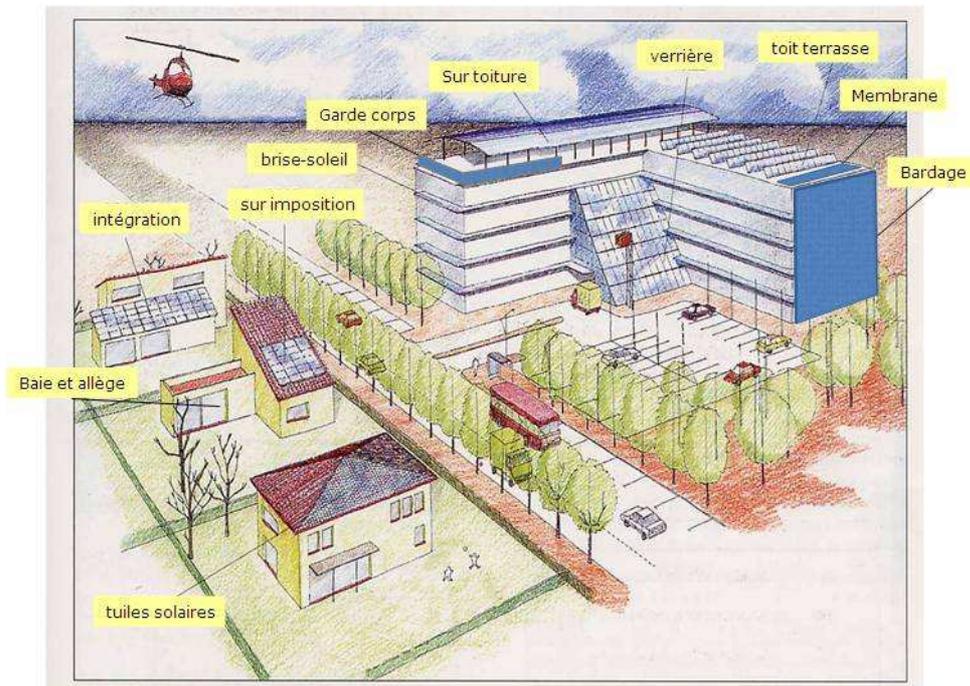


Figure 4: Exemples d'implantation

Les implantations les plus couramment rencontrées peuvent être présentées en grandes familles décrites dans les paragraphes ci-dessous. Des descriptions plus précises du mode d'implantation de ces systèmes photovoltaïques sont ensuite données en annexe. L'attention du lecteur est cependant attirée sur le fait que ces descriptions sont destinées à présenter les modes d'implantation les plus couramment rencontrés et ne sont par conséquent aucunement exhaustives compte tenu du développement régulier de nouveaux procédés.

2.3.1 Mise en œuvre en couverture

La mise en œuvre peut être réalisée :

- en couverture inclinée **au-dessus** des éléments de couverture existants (mise en surimposition ou en apposition)



Source : www.bati-depot.fr

Figure 5: Mise en apposition sur couverture inclinée

- en couverture inclinée **en remplacement** des éléments de couverture existants

Pose en partie courante **sans** élément interposé entre la charpente et le champ photovoltaïque



Source : www.bati-depot.fr

Pose en partie courante **avec** élément interposé entre la charpente et le champ photovoltaïque



Source : <http://www.renusol.com>

Pose en couverture complète



Source : www.bati-depot.fr

Figure 6: Mise en œuvre en couverture en remplacement des éléments de couverture

2.3.2 sur support en toiture terrasse



Source : www.soleilmarguerite.org

Figure 7: Mise en œuvre sur support en toiture-terrasse

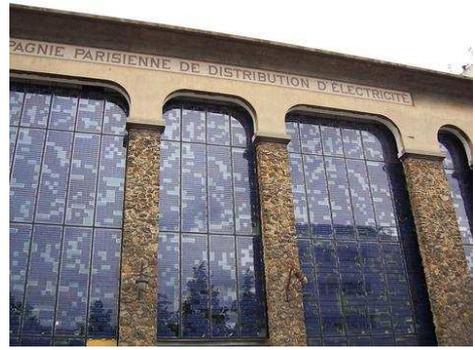
2.3.3 Mise en œuvre en façade

Façades opaques



Source : <http://solarcentury.f>

Façades verre



Source : www.scheutensolar.com

Figure 8: Mise en œuvre en façade

2.3.4 Mise en œuvre en verrière



Source : <http://www.ines-solaire.com>

Figure 9: Mise en œuvre en verrière

2.3.5 Mise en œuvre en garde corps

Garde corps de balcon



Source : www.bipv.ch dursolar.es)

Garde corps de balcon



Source : <http://www.danialu.com>

Figure 10: Mise en œuvre en garde corps

2.3.6 Mise en œuvre en brise soleil



Source : www.scheutensolar.com

Figure 11: Mise en œuvre en brise soleil

2.3.7 Mise en œuvre de films photovoltaïques rapportés sur supports

Sur membrane d'étanchéité



Source : www.toit-plat.com

Sur toiture zinc



Source : <http://produits.batiactu.com/publi/rhein-zink-et-l-environnement>

Figure 12 : Films photovoltaïques rapportés sur supports

2.3.8 Ombrières

Un peu en marge du bâtiment, le marché voit également se développer des ombrières de parking :



Source : www.sunvie.eu

Figure 13 : Mise en œuvre en ombrières

Le tableau ci-dessous précise l'association généralement réalisée entre le type de modules photovoltaïques et les principales possibilités d'implantation :

Mise en œuvre en :			Description (cf. Annexe 2)	Modules standards PV	Vitrages PV	Films PV	
couverture inclinée :	au dessus des éléments de couverture (surimposition ou apposition) :	<ul style="list-style-type: none"> - Couverture en petits éléments (tuiles ou ardoises) - Couverture en plaques nervurées ou ondulées 		Fiche 1	X		
	sur charpente bois en remplacement de tuiles ou d'ardoises :	Généralités		Fiche 2			
		sans élément interposé entre la charpente et le champ photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> • support discontinu - Partie courante - Couverture complète 	Fiche 2a	X	X	
			<ul style="list-style-type: none"> • support continu - Partie courante - Couverture complète 	Fiche 2b	X		
			<ul style="list-style-type: none"> - Partie courante - Couverture complète 	Fiche 2c	X		
		« Tuiles photovoltaïques »		Fiche 2d	X		
	sur charpente bois ou métallique en remplacement de plaques nervurées ou ondulées :	Généralités		Fiche 3			
		sans élément interposé entre la charpente et le champ photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> - Partie courante - Couverture complète 	Fiche 3a	X	X	
		avec élément interposé entre la charpente et le champ photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> - Partie courante - Couverture complète 	Fiche 3b	X		
	toiture - terrasse /Pose sur support			Fiche 4	X		
façade	Paroi opaque		Fiche 5a	X			
	Façade verre		Fiche 5b		X		
verrière			Fiche 6		X		
garde corps			Fiche 7	X	X		
brise soleil			Fiche 8	X	X		
Films photovoltaïques rapportés sur support	sur membrane d'étanchéité		Fiche 9			X	
	sur autre support		Fiche 10			X	

Tableau 1 : Différentes associations entre type d'implantation et type de modules photovoltaïques

2.4 LES ONDULEURS

Une grande variété d'onduleurs est proposée sur le marché. Les protections minimales proposées sont IP 21 pour une installation intérieure et IP 44 pour une installation extérieure. Ils doivent par ailleurs être marqués CE selon les Directives 89/336/CEE « Compatibilité électromagnétique » et 73/23/CEE « Equipement basse tension ».

2.5 LES CABLES ET CONNECTEURS

Les câbles électriques équipant les modules photovoltaïques présentent généralement des sections de 2.5 à 4 mm² pour une tension assignée de 1000 V.

Dans le cadre de l'application de la Directive Basse Tension, un groupe de travail a été amené à rédiger le guide UTE 32-502. Il donne les prescriptions pour les différents types de câbles destinés à être utilisés dans les installations photovoltaïques pour la ou les partie(s) soumise(s) aux mêmes contraintes que celles des panneaux photovoltaïques (rayonnement UV, chaleur, intempéries, ...). Vis-à-vis du comportement au feu, ce guide préconise un essai de propagation de la flamme sur le câble complet selon la norme NF C 32-070 essais n°1 (C2).

Les connecteurs associés sont généralement de classe de sécurité électrique II mais présentant des caractéristiques « IPXX » et des modes de connexion entre eux variables.

A noter cependant que l'utilisation de connecteurs débrochables ou à blocage rotatif permet de simplifier la procédure d'installation, d'assurer la protection contre les contacts directs et d'obtenir un bon contact, durable en œuvre, entre chacune des polarités. Ces types de connecteurs limitent ainsi les risques d'arc électrique.

Le « Guide pratique édité par l'ADEME et le SER en décembre 2008, préconise par ailleurs l'utilisation de connecteurs :

- de classe de sécurité électrique II.
- de caractéristiques minimales IP54.

3. IDENTIFICATION DES EXIGENCES REGLEMENTAIRES EN LIEN AVEC L'IMPLANTATION DE PANNEAUX PHOTOVOLTAIQUES

3.1 ASPECT BATIMENTAIRE

Cette étape consiste à recenser tous les blocages existants pour l'implantation des panneaux photovoltaïques dans différents types de bâtiment. En l'absence de la connaissance du comportement de ces panneaux par rapport à la réaction au feu, la résistance au feu et aux risques électriques, dans cette étape sont identifiées les exigences réglementaires que ces panneaux doivent satisfaire par rapport aux trois points cités ci-avant. Les types de bâtiments étudiés sont : les établissements recevant du public, les immeubles de grande hauteur, les bâtiments d'habitation et les bâtiments couverts par le code du travail.

Les exigences que les panneaux PV doivent satisfaire ne sont pas données pour chaque type d'installation identifiée, mais en fonction de leur position dans le bâtiment.

3.1.1 Exigences réglementaires concernant les revêtements de l'enveloppe d'un bâtiment

La composition de l'enveloppe d'un bâtiment peut jouer un rôle très important dans la propagation du feu d'une partie d'un bâtiment à une autre, ou, d'un bâtiment à un autre bâtiment (tiers). Cette propagation peut être faite soit horizontalement soit verticalement ou selon les deux directions à la fois.

C'est pour cette raison que la réglementation relative au risque contre l'incendie requiert de respecter des exigences par rapport à la réaction au feu et la résistance au feu des enveloppes. Ces exigences doivent être appliquées non seulement à l'enveloppe elle-même, mais également à tout élément ajouté sur l'enveloppe. Les panneaux photovoltaïques peuvent faire partie de l'enveloppe du bâtiment, soit en façade, soit en toiture, mais ils peuvent, également, être ajoutés sur l'enveloppe, comme c'est le cas des panneaux placés en toiture-terrasse ou en brise soleil.

Les exigences à respecter par rapport à la réaction au feu sont données en termes de classement de réaction au feu des éléments de l'enveloppe du bâtiment ou des éléments qui sont ajoutés sur l'enveloppe.

Les exigences à respecter par rapport à la résistance au feu sont donnée en termes de classement de résistance au feu lié à l'isolation thermique (coupe-feu) et à l'étanchéité (pare-flamme). Evidemment, l'enveloppe d'un bâtiment ou les éléments ajoutés à cette enveloppe doivent être autoporteurs, afin d'éviter des chutes d'objet de grande dimension ou pour préserver la vie des forces de secours. Dans le document de référence sont donnés, pour les bâtiments objet de cette étude, les articles réglementaires qui expriment les exigences à respecter par l'enveloppe d'un bâtiment ou des éléments ajoutés sur cette enveloppe, tels que les panneaux photovoltaïques, afin d'éviter la propagation du feu par ces éléments.

Le non respect des exigences réglementaires identifiées dans cette étude peut être un obstacle pour l'insertion des panneaux photovoltaïques dans un bâtiment. Toutefois, les exigences de résistance au feu s'appliquent en totalité aux panneaux photovoltaïques s'ils constituent seuls la façade. Si ces panneaux sont apposés sur un support de façade qui assure à lui seul les exigences de résistance au feu, les panneaux photovoltaïques ne doivent satisfaire que les exigences de la réaction au feu, étant entendu qu'il ne faut pas qu'il y ait des chutes de grands objets qui mettraient en péril la vie des forces de secours.

3.1.2 Exigences réglementaires à respecter en situation d'incendie par les panneaux photovoltaïques installés sur les Etablissement Recevant du Public (ERP)

3.1.2.1 Propagation horizontale du feu, d'un bâtiment à un autre, par rayonnement

A - Exigences par rapport à la réaction au feu

Les revêtements extérieurs de **façade**, les éléments d'occultation des baies, les menuiseries, les éléments transparents des fenêtres ainsi que les garde-corps et leurs retours doivent être en matériaux de la catégorie M2 ou M3 si la règle du C+D est exigée (CO20).

La **couverture** ou les éléments ajoutés en couverture doivent être réalisés en respectant l'une des solutions suivantes (CO17) :

- soit en matériaux M0,
- soit en matériaux des catégories M1 à M3 posés sur support continu en matériaux de catégorie M0 ou sur support continu en bois ou agglomérés de fibres ou particules de bois ou en matériaux reconnus équivalents par le CECMI,
- en matériaux des catégories M1 à M3 non posés dans les conditions précédentes ou de la catégorie M4 ; la couverture doit alors présenter les caractéristiques minimales de classe et d'indice de propagation fixées dans le tableau ci-dessous en fonction de la catégorie, de la destination de l'établissement et de la distance "d" entre ce dernier et le bâtiment voisin ou à défaut la limite de la parcelle voisine.

La classe et l'indice sont déterminés par l'essai de couverture défini par l'arrêté du 10 septembre 1970.

CATÉGORIE et destination de l'établissement	DISTANCE entre l'établissement et le bâtiment voisin ou la limite de la parcelle voisine	
	$d \leq 8 \text{ m}$	$8 \text{ m} < d \leq 12 \text{ m}$
Etablissements de 1 ^{ère} catégorie et établissements de 2 ^{ème} , 3 ^{ème} et 4 ^{ème} catégories comportant par destination des locaux réservés au sommeil.	T 30 Indice 1.	T 15 Indice 1.
Etablissements de 2 ^{ème} , 3 ^{ème} et 4 ^{ème} catégories ne comportant pas par destination de locaux réservés au sommeil.	T 30 Indice 2.	T 15 Indice 2.

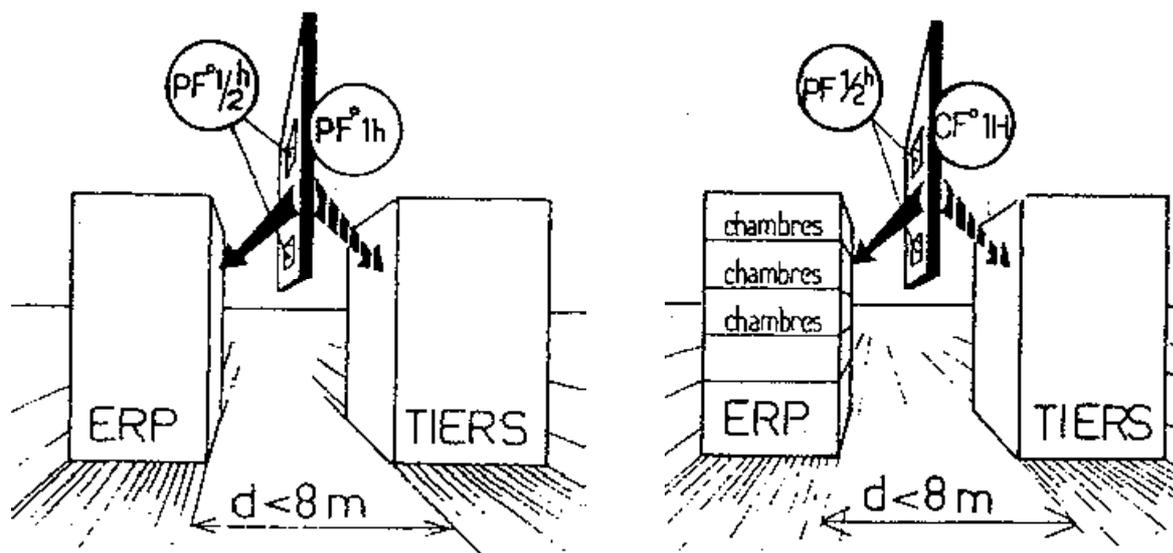
Les couvertures formant également plafonds (coques, coupoles, bandes en matières plastiques translucides ou non...) doivent être réalisées en matériaux M2 même si elles descendent jusqu'au sol et ce, quelle que soit la distance par rapport au bâtiment voisin ou à la limite de la parcelle voisine.

B - Exigences par rapport à la résistance au feu

- Isolement entre un établissement recevant du public et les bâtiments situés en vis-à-vis (CO 8) :

- Si les façades des bâtiments abritant l'établissement recevant du public et un tiers sont séparées par une aire libre de moins de 8 mètres, la façade de l'un d'eux doit être **pare-flamme (PF) de degré une heure**, les baies éventuelles étant obturées par des éléments **PF de degré une demi-heure**. En aggravation de ces dispositions, lorsque le bâtiment comporte par destination des locaux réservés au sommeil au-dessus du premier étage, la façade ci-dessus doit être **coupe feu (CF) de degré une heure** et les baies doivent être obturées par des éléments **PF de degré une demi-heure** (voir Figure 14).
- Les dispositions du paragraphe ci-avant ne sont pas exigées lorsque l'établissement est séparé du bâtiment tiers par une aire libre de 4 mètres de large au moins et répond simultanément aux conditions suivantes :
 - le plancher bas du niveau le plus haut accessible au public est à moins de 8 mètres du sol,
 - il ne comporte pas par destination de locaux réservés au sommeil au-dessus du premier étage.
- Les dispositions du paragraphe a) ne sont jamais applicables aux parois de façade d'un établissement qui limitent un escalier protégé (voir CO 53).
- Isolement latéral entre un établissement recevant du public et les tiers contigus (CO7)
 - Si la façade de l'un des bâtiments domine la couverture de l'autre, l'une des dispositions suivantes doit être réalisée :
 - la façade est **CF de degré deux heures** sur 8 mètres de hauteur à partir de la ligne d'héberge, les baies éventuellement pratiquées étant fermées par les éléments PF de degré deux heures (voir Figure 15),
 - la toiture la plus basse est réalisée en éléments de construction **PF de degré une demi-heure** sur 4 mètres mesurés horizontalement à partir de la façade (voir 2^{ème} Figure 16). Si un des bâtiments est à risques particuliers, ces valeurs sont portées à **PF de degré une heure** et 8 mètres.
 - Si les couvertures des deux bâtiments sont au même niveau, l'une des dispositions suivantes doit être réalisée :
 - la paroi verticale d'isolement entre les bâtiments est prolongée hors toiture sur une hauteur de 1 mètre au moins par une paroi **PF de degré une heure** (voir Figure 17),
 - l'une des toitures est réalisée en éléments de construction **PF de degré une demi-heure** sur 4 mètres mesurés horizontalement à partir de la couverture du bâtiment voisin (voir 1^{ère} Figure 16)
 - Lorsque les plans des façades de l'établissement recevant du public et du tiers contigu forment entre eux un dièdre inférieur à 135°, une bande d'isolement verticale **PF de degré une demi-heure** de deux mètres de largeur doit être réalisée le long de l'arête de ce dièdre. Toutefois la largeur de cette bande d'isolement peut être réduite à un mètre s'il existe déjà un tel isolement sur le tiers contigu (voir Figure 18).

Cependant cette dernière disposition n'est pas applicable aux établissements recevant du public dont le plancher bas du niveau le plus haut accessible au public est à moins de 8 mètres du sol et qui ne comportent pas par destination de locaux réservés au sommeil au-dessus du premier étage.



a - Pas de locaux réservés au sommeil sur les façades en vis à vis

b - Locaux de sommeil au dessus du 1^{er} étage.

Figure 14: Exigence de résistance des façades en vis à vis.

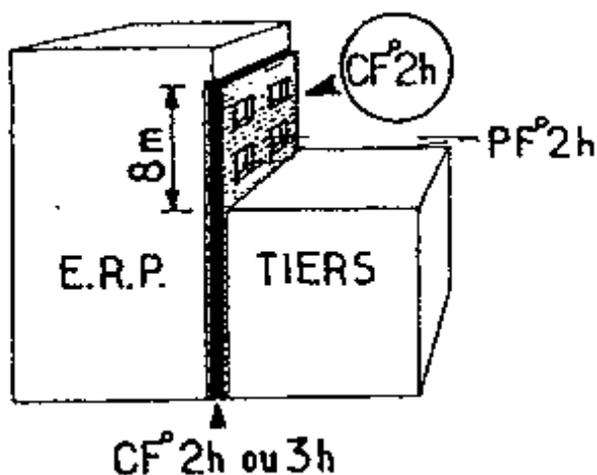


Figure 15 : Exigence de résistance au feu de la façade entre deux bâtiments juxtaposés.

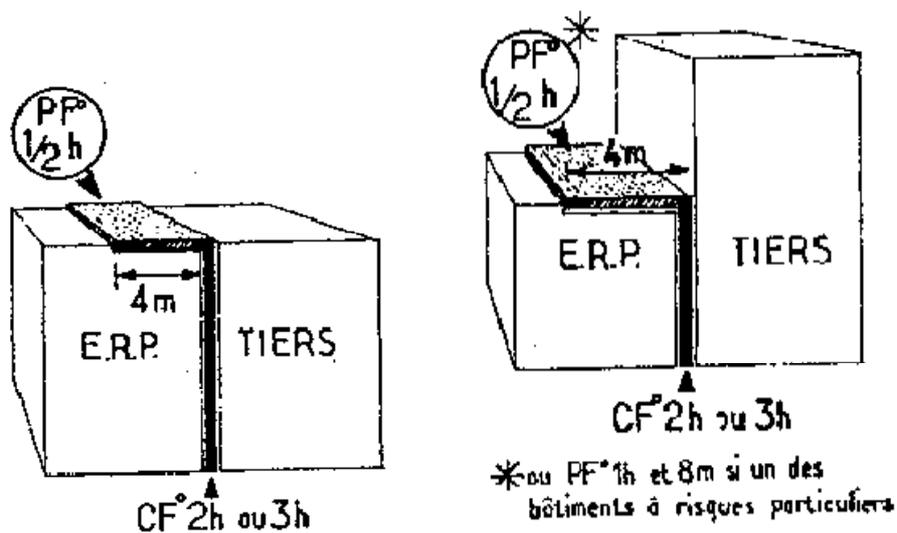


Figure 16 : Exigence de résistance au feu de la toiture entre deux bâtiments juxtaposés.

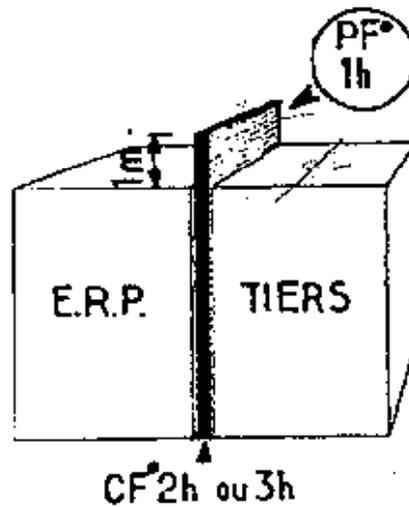


Figure 17: Exigence de résistance au feu de la paroi qui sépare deux bâtiments au niveau de la toiture.

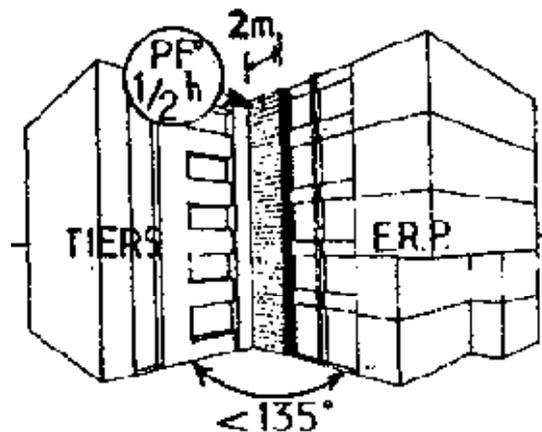


Figure 18: Exigence de résistance au feu de la façade d'un ERP formant un dièdre inférieur à 135° avec un tiers contigu.

3.1.2.2 Propagation verticale du feu, d'un bâtiment à un autre, ou d'un étage à un autre par rayonnement et/ou convection

A - Exigences par rapport à la réaction au feu

Les revêtements extérieurs de **façade**, les éléments d'occultation des baies, les menuiseries, les éléments transparents des fenêtres ainsi que les garde-corps et leurs retours doivent être en matériaux de la catégorie M2 ou M3 si la règle du C+D est exigée (CO20).

B - Exigences par rapport à la résistance au feu

Les exigences données dans la section B du paragraphe 3.1.2.1, par rapport à la résistance au feu, sont valables pour empêcher la propagation du feu verticalement sur le même bâtiment également.

Dans les cas où la règle du C+D est exigée la propagation verticale du feu via la façade est traitée à l'aide de la règle dite du «C+D» et de la masse combustible mobilisable (MCM) de la façade. Pour les ERP les relations suivantes doivent être respectées :

- $C+D \geq 1,00$ mètre si $MCM \leq 130 \text{ MJ/m}^2$,
- $C+D \geq 1,30$ mètres si $MCM > 130 \text{ MJ/m}^2$,

Les définitions du C et du D sont données dans l'article CO21 et l'instruction technique 249 (IT249)

Pour les façades ne comportant pas de baie, dans lesquels sont insérés les panneaux photovoltaïques, la somme des durées **coupe-feu réelles** déterminées pour le panneau de façade exposé de l'intérieur et de l'extérieur lors des essais de classement de résistance au feu doit être au moins égale à :

- **trente minutes** pour les établissements installés dans les bâtiments dont le plancher bas du dernier niveau est à moins de 8 mètres du sol,
- **soixante minutes** lorsque le plancher bas du dernier niveau est à plus de 8 mètres du sol.

De toutes façons, les façades composées de panneaux montés en avant des planchers doivent respecter les exigences d'étanchéité au nez de dalle donnée par l'article CO 21 et l'IT 249.

Pour les ERP de la 5^{ème} catégorie et des ERP spécifiques les durées de résistance au feu données ci-dessous peuvent changer. Les valeurs réelles sont données par les réglementations propres à chaque type d'ERP.

3.1.3 Exigences réglementaires à respecter en situation d'incendie par les panneaux photovoltaïques installés sur les IGH

3.1.3.1 Propagation horizontale du feu, d'un bâtiment à un autre, par rayonnement

A - Exigences par rapport à la réaction au feu

Les matériaux constitutifs des parements extérieurs des **façades**, doivent être classés M0.

L'utilisation comme matériaux superficiels de couverture d'éléments légers combustibles susceptibles de s'arracher enflammés en cas d'incendie est interdite.

B - Exigences par rapport à la résistance au feu

- Isolement d'un IGH vis-à-vis des bâtiments qui l'entoure (G.H. 7) :
La limite latérale du volume de protection est constituée par une surface verticale située à 8 mètres au moins de tout point des façades de l'immeuble qui ne sont pas coupe-feu de degré deux heures au moins.
La limite inférieure du volume de protection est constituée soit par le sol, soit par des constructions ou parties de construction coupe-feu de degré deux heures au moins.
- Prévention de la propagation latérale dans un IGH ou entre un IGH et un tiers
Pour répondre à cette exigence entre deux compartiments, situés au même niveau d'un immeuble de grande hauteur ou entre un immeuble de grande hauteur et une construction contigüe, dont les plans de façade consécutifs forment un angle dièdre rentrant, les dispositions suivantes sont à respecter :
 - lorsque l'angle dièdre est inférieur à 135°, les parties de façade situées de part et d'autre de l'arête du dièdre sont **CF de degré 1 heure ou EW i** → **o 60** sur une largeur minimale de 4 mètres, pour limiter les transferts thermiques par rayonnement,
 - lorsque l'angle dièdre est supérieur ou égal à 135° mais inférieur ou égal à 180°, les parties de façade situées de part et d'autre de l'arête du dièdre sont **PF de degré 1 heure ou E i** → **o 60** sur une largeur minimale de 1 mètre, pour limiter la propagation par convection sous l'effet d'un vent latéral.

3.1.3.2 Propagation verticale du feu, d'un bâtiment à un autre, ou d'un étage à un autre par rayonnement et/ou convection

A - Exigences par rapport à la réaction au feu

Les matériaux constitutifs des parements extérieurs des **façades**, doivent être classés M0.

B - Exigences par rapport à la résistance au feu

Afin de satisfaire les exigences de la résistance au feu de la façade il faut :

- soit l'application de la règle du C+D :
 - $C+D \geq 1,20$ mètre si $MCM \leq 80$ MJ/m²,
 - $C+D \geq 1,50$ mètres si $80 < MCM \leq 130$ MJ/m²,
Les définitions du C et du D sont mentionnées dans l'instruction technique 249 (IT249).

- soit justifier d'une performance de résistance au feu des façades de degré PF égale à 1 heure ou E i → o 60.

Lorsque deux plans de façade consécutifs, d'un même immeuble de grande hauteur ou d'un immeuble de grande hauteur et d'une construction contiguë, forment un angle dièdre rentrant inférieur à 100°, les parties de façade, situées à l'intérieur du dièdre, sont

PF

1 heure ou E i → o 60 sur une largeur minimale de 4 mètres, depuis l'arête du dièdre afin de limiter la propagation par effet de tirage thermique. Cette disposition ne s'applique pas aux retraits ou aux avancées de moins de 1 mètre.

3.1.4 Exigences réglementaires à respecter en situation d'incendie par les panneaux photovoltaïques installés sur les bâtiments d'habitation

3.1.4.1 Propagation horizontale du feu, d'un bâtiment à un autre, par rayonnement

A - Exigences par rapport à la réaction au feu

Façades :

Pour les habitations des **première et deuxième familles**, les parements extérieurs des façades doivent être, en général, classés en catégorie **M3**.

Toutefois pour les habitations individuelles isolées de la première famille, il pourra être fait exception à cette règle lorsque la façade, dont les parties pleines sont revêtues de parements classés en catégorie **M4** se trouve à plus de quatre mètres de la limite de propriété (voir Figure 19 et Figure 20).

Dans les habitations de **troisième et quatrième familles**, si P est la distance minimale comprise entre les plans des vitrages des immeubles en vis-à-vis ou entre le plan des vitrages d'un immeuble et la limite de propriété et H la hauteur la plus élevée de ces deux immeubles, les parements extérieurs des façades des étages doivent être classés en catégorie **M2** au moins si P/H est inférieur à 0,8 et dans le cas contraire, ils peuvent être classés en catégorie **M3** au moins.

Les parements extérieurs des façades du rez-de-chaussée doivent, dans tous les cas, être classés en catégorie **M2** au moins (voir Figure 21 et Figure 22).

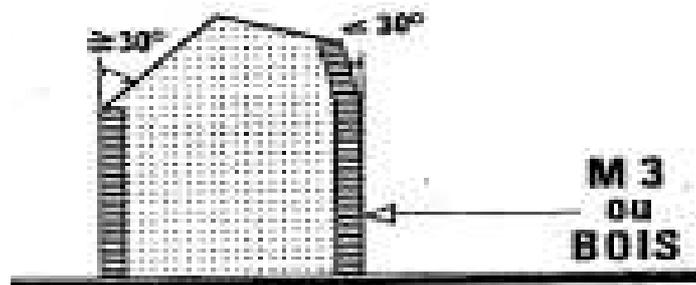


Figure 19: Bâtiment de la 1ère ou la 2ème famille.

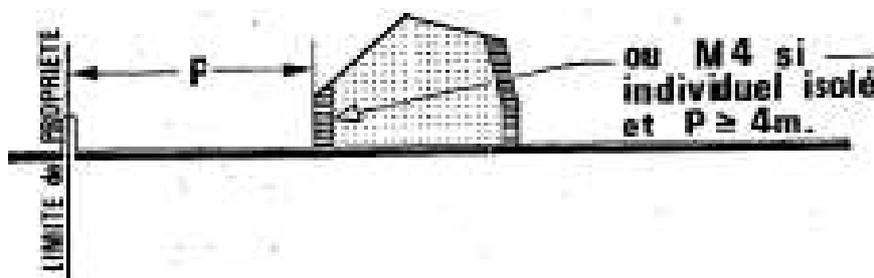


Figure 20: Bâtiment de la 1ère famille.

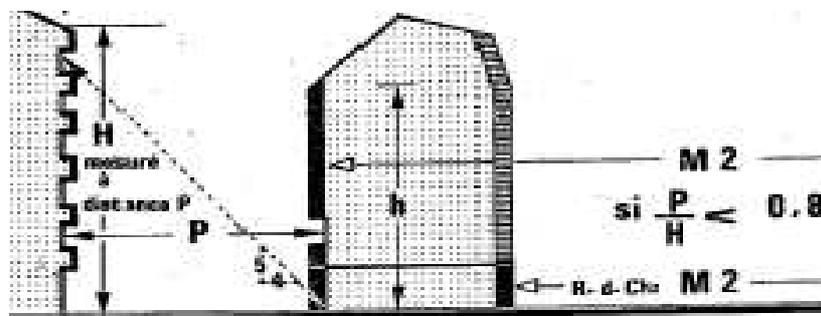


Figure 21: Bâtiment de la 3^{ème} et 4^{ème} famille.

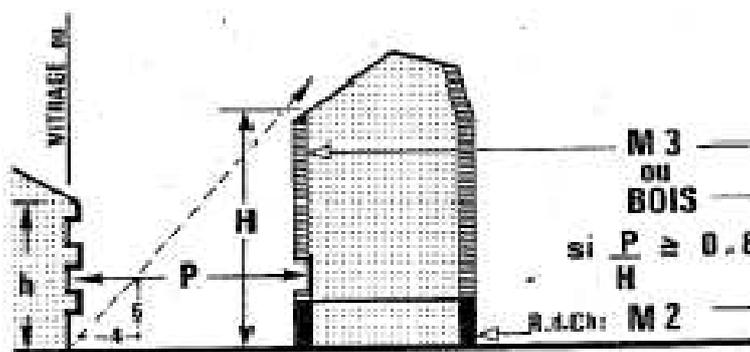


Figure 22: Bâtiment de la 3^{ème} et 4^{ème} famille.

Couvertures :

Les revêtements de couvertures classés en catégorie M.1, M.2, ou M.3 peuvent être utilisés sans restriction s'ils sont établis sur un support continu en matériau incombustible ou en panneaux de bois, d'aggloméré, de fibres de bois ou matériau reconnu équivalent par le comité d'étude et de classification des matériaux et éléments de construction par rapport au danger d'incendie (CECMI). Les couvertures à revêtements classés M.1, M.2, M.3 établis sur un support ne répondant pas à la définition de l'alinéa précédent doivent avoir la même classe de pénétration que celle fixée ci-dessous pour les couvertures à revêtements classés M.4.

Les couvertures à revêtements classés en catégorie M.4 doivent présenter les caractéristiques suivantes définies par l'essai de classe de pénétration et d'indice de propagation faisant l'objet d'un arrêté pris en application de l'article R. 121-5 du code de la construction et de l'habitation. La classe de pénétration de ces couvertures doit être :

- habitation de la 1^{ère} famille : T/5 ou T/15 ou T/30 ;
- habitation de la 2^{ème} famille : T/15 ou T/30 ;
- habitation des 3^{ème} et 4^{ème} familles : T/30.

L'indice de propagation de la couverture d'un immeuble se détermine en fonction :

- de la distance qui le sépare soit d'un immeuble voisin, soit de la limite de propriété ;
- de l'indice de propagation de la couverture de l'immeuble voisin.

B - Exigences par rapport à la résistance au feu

De manière identique, comme c'est expliqué pour les ERP dans la section 3.1.2.1, entre un bâtiment d'habitation de la 3^{ème} et de la 4^{ème} famille et les bâtiments situés en vis-à-vis ou au tiers, la façade doit être, soit E60, soit EI60. Pour les verrières, au minimum, une durée E30 doit être assurée.

3.1.4.2 Propagation verticale du feu, d'un bâtiment à un autre, ou d'un étage à un autre par rayonnement et/ou convection

A - Exigences par rapport à la réaction au feu

Les exigences par rapport à la réaction au feu sont celles données dans la section 3.1.4.1.

B - Exigences par rapport à la résistance au feu

Pour les façades avec des ouvertures :

Afin d'éviter la propagation verticale du feu par les façades avec des ouvertures, la règle du C+D doit être appliquée pour les bâtiments de la 3^{ème} et de la 4^{ème} famille.

Cette règle définit la limite de la masse combustible mobilisable à ne pas dépasser en fonction de la dimension C+D. Il faut par conséquent connaître la contribution sur la masse combustible mobilisable des panneaux photovoltaïques apposés sur la façade.

Pour les bâtiments d'habitation de la 3^{ème} famille A :

- si $MCM \leq 25 \text{ MJ/m}^2$: $C + D \geq 0,60$ mètre,
- si $25 < MCM \leq 80 \text{ MJ/m}^2$: $C + D \geq 0,80$ mètre,
- si $MCM \leq 80 \text{ MJ/m}^2$: $C + D \geq 1,10$ mètre.

Pour les bâtiments d'habitation de la 3^{ème} famille B et de la 4^{ème} famille :

- si $MCM \leq 25 \text{ MJ/m}^2$: $C + D \geq 0,80$ mètre,
- si $25 < MCM \leq 80 \text{ MJ/m}^2$: $C + D \geq 0,80$ mètre,
- si $MCM \leq 80 \text{ MJ/m}^2$: $C + D \geq 1,30$ mètre.

Pour les façades ne comportant pas d'ouvertures :

Pour les façades ne comportant aucune ouverture, à l'exclusion des orifices de ventilation lorsque la section de chaque orifice ne dépasse pas 200 cm², les dispositions ci-dessus ne sont pas applicables. Cependant, la somme de la durée **coupe-feu** du panneau exposé de l'intérieur et celle du panneau exposé de l'extérieur doit être au moins égale à **soixante minutes**.

Les durées coupe-feu à prendre en considération pour chacune des faces exposées sont les durées réelles constatées au cours des essais définis par l'arrêté relatif à la classification des matériaux et éléments de construction par catégorie et fixant les critères permettant de déterminer le degré de résistance au feu des éléments de construction, les méthodes d'essais et le programme thermique matérialisant l'action des incendies et non les degrés coupe-feu normalisés en résultant.

3.1.5 Exigences concernant l'installation électrique (câbles et onduleurs)

Pour les ERP

En général, la réglementation de sécurité contre les risques d'incendie des ERP, IGH et des bâtiments d'habitation demande :

- d'éviter que les installations électriques ne présentent des risques d'éclosion, de développement et de propagation d'un incendie,
- de permettre le fonctionnement des installations de sécurité lors d'un incendie.

L'établissement ne doit pas être traversé par des canalisations électriques qui lui sont étrangères, sauf si elles sont placées dans des cheminements techniques protégés avec des parois **CP de degré 1 heure** au moins et si elles ne comportent aucune connexion sur leur parcours.

Les installations électriques des locaux à risques particuliers doivent être établies dans les conditions requises par la norme NF C 15-100 pour les locaux présentant des risques d'incendie

Art. EL 5 : Locaux de service électrique

Les locaux de service électrique sont les locaux renfermant des matériels électriques et dont l'accès est réservé aux personnes qualifiées, chargées de l'entretien et de la surveillance des matériels.

Les locaux de service électrique doivent être identifiés et faciles à atteindre par les services de secours.

L'isolement de ces locaux peut être réalisé, selon la nature des matériels qu'ils renferment :

- Par des parois verticales et plancher haut **CP de degré 2 heures** et des dispositifs de franchissement coupe-feu de degré 1 heure sans communication directe avec les locaux ou dégagements accessibles au public,
- Par des parois verticales et plancher haut coupe-feu de degré 1 heure et portes coupe-feu de degré 1/2 heure,
- Sans autre disposition d'isolement que celles prévues pour les locaux à risques courants; dans ce cas, le local est dit ordinaire :
 - Ils doivent être dotés de moyens d'extinction adaptés aux risques électriques.
 - Les appareils portatifs doivent porter des signes distinctifs bien visibles indiquant qu'ils sont utilisables pour un feu se produisant en présence de conducteurs ou d'appareils électriques.

Bien sûr, certaines exigences de cet article peuvent être demandées pour le local dans lequel est installé l'onduleur.

Les exigences du local où est installé l'onduleur sont liées aussi à sa capacité en ampères-heures.

L'article EL 10 exige :

- Des câbles de la catégorie C2 et que les installations ne doivent comporter que des canalisations fixes.
- Les conduits et les profilés utilisés pour les chemins de câbles, goulottes et cache-câbles, doivent être du type non propagateur de la flamme suivant leur norme en vigueur.
- Les traversées de parois par des canalisations électriques doivent être obturées intérieurement et extérieurement de manière à ne pas diminuer le degré coupe-feu de la paroi. Ces dispositions s'appliquent également aux canalisations préfabriquées.
- Les canalisations alimentant les ERP ne doivent pas traverser des tiers si elles sont placées dans des cheminements techniques protégés avec des parois de degré coupe-feu 1 heure et si elles sont sans connexion sur leur parcours.
- Les canalisations électriques ne doivent pas être installées dans les mêmes gaines que les canalisations de gaz sauf si elles répondent aux prescriptions réglementaires en vigueur pour chaque type de bâtiment.

Pour les IGH, les mêmes exigences que celles citées ci-dessus pour les ERP sont requises.

Pour les bâtiments d'habitation, les exigences par rapport à l'électricité sont données par les articles 58 et 93. L'article 58 fait référence aux gaines de passage colonnes d'électricité qui doivent avoir des parois **PF de degré un quart d'heure** et réalisée en matériaux incombustibles.

Pour les installations électriques d'éclairage l'article 93 dit : "Les installations électriques doivent être réalisées conformément aux dispositions prévues par les normes NF C 15-100 et NF C 14-100, compte tenu notamment des règles propres à ce type de locaux".

Une des exigences de cette norme est la suivante : "Les conducteurs et câbles, les systèmes de conduits, de goulottes, les chemins de câbles doivent satisfaire à l'essai de non propagation de la flamme (catégorie C2 pour les câbles et conducteurs)".

On peut conclure que pour les installations électriques, les exigences consistent à utiliser des câbles électriques du type C2 et de protéger les câbles et les chemins de câble pour qu'ils ne soient pas un facteur de propagation de l'incendie.

3.1.6 Conclusion

Dans ce chapitre sont données les exigences réglementaires, relatives aux risques contre l'incendie, des différents éléments de façades sur lesquels peuvent être installés les panneaux photovoltaïques.

Pour chaque type de bâtiment objet de cette partie de l'étude les exigences à respecter sont :

- **Pour les bâtiments du type IGH :**
 - Par rapport à la réaction au feu : classement M0,
 - Par rapport à la résistance au feu : **écran pare-feu (PF) d'une durée d'une heure** au moins et des allèges PF une heure au moins.
- **Pour les bâtiments du type ERP :**
 - Par rapport à la réaction au feu :
 - classement des façades et des baies : M2 ou M3 au moins,
 - classement des couvertures : M0 à M4 selon la configuration,
 - classement des verrières : M0 à M4 selon la configuration.
 - Par rapport à la résistance au feu :
 - classement des façades et baies : pare-flamme (PF) d'une demi-heure ou une heure, ou même de coupe-feu (CF) 2h selon le cas,
 - classement des verrières et toitures : pare-flamme (PF) une demi-heure ou une heure.
- **Pour les bâtiments d'habitations :**
 - Par rapport à la réaction au feu :
 - classement des façades et des baies : M2 à M4 selon le type de bâtiment,
 - Par rapport à la résistance au feu :
 - Les allèges doivent répondre aux exigences de résistance au feu pour satisfaire les exigences du C+D pendant au moins une demi-heure,
 - Les façades aveugles doivent être coupe-feu (CF) 1 heure pour la 3ème et 4ème famille.
- **Pour les hangars agricoles :**
 - Aucune exigence n'a été trouvée par rapport aux risques incendie.
- **Pour les installations électriques :**

Quelque soit le type de bâtiment les installations électriques doivent être protégées afin d'éviter la propagation du feu par les courts circuits. Les câbles doivent être classés au moins C2 et les passages des câbles ou chemin de câbles doivent être protégés et calfeutrés.

Des mesures de coupures des circuits électriques sont indispensables afin d'assurer l'intervention sans risques d'électrocution des forces de secours.

3.2 ASPECT INDUSTRIEL

Dans le milieu industriel, afin d'assurer une production énergétique maximale, les panneaux photovoltaïques sont installés sur des unités de stockage disposant d'une grande surface de couverture. De fait, les installations industrielles susceptibles où des panneaux photovoltaïques seront implantés sont essentiellement les entrepôts de stockage et les silos. L'objet de ce paragraphe est de recenser les contraintes imposées par la réglementation pour ces stockages vis-à-vis des caractéristiques de la toiture notamment ou des installations électriques.

Les rubriques concernées sont :

- Les rubriques 1510, 1530, 2662 et 2663 (déclaration, enregistrement et autorisation) et 1511 (enregistrement) pour les entrepôts de stockage,
- La rubrique 2160 pour les silos.

Le Tableau 2 de synthèse reprend les exigences réglementaires relatives aux façades et aux toitures pour les différentes rubriques et régimes mentionnées précédemment.

Ce tableau ne prend pas en compte les caractéristiques de l'isolant, les panneaux photovoltaïques se positionnant au dessus.

rubrique	régime	façade	toiture
1510	D	les parois extérieures sont construites en matériaux A2 s1 d0 ou en matériaux conformes aux dispositions de l'article 6 de l'arrêté du 5 août 2002	L'ensemble de la toiture hors poutres et pannes satisfait la classe et l'indice Broof (t3)
	E	les parois extérieures des bâtiments sont construites en matériaux A2 s1 d0	le système de couverture de toiture satisfait la classe et l'indice BROOF (t3) ;
	A	les murs extérieurs sont construits en matériaux M0, sauf si le bâtiment est doté d'un dispositif d'extinction automatique d'incendie	Par ailleurs, la toiture et la couverture de toiture satisfont la classe BROOF (t3)
1511	E	les parois extérieures des bâtiments sont construites en matériaux a minima B s3 d0	la couverture de toiture surmontant un comble satisfait la classe et l'indice BROOF (t3)
1530	D	les parois extérieures sont construites en matériaux A2 s1 d0 (respectivement M0 lorsque les matériaux n'ont pas encore été classés au regard des euroclasses)	L'ensemble de la toiture (éléments de support, isolant et étanchéité) satisfait la classe et l'indice Broof (t3)
	E	les parois extérieures sont construites en matériaux A2 s1 d0	le système de couverture de toiture doit satisfaire la classe et l'indice BROOF (t3) ;
	A	les parois extérieures sont construites en matériaux A2 s1 d0 (respectivement M0 lorsque les matériaux n'ont pas encore été classés au regard des euroclasses)	L'ensemble de la toiture (éléments de support, isolant et étanchéité) satisfait la classe et l'indice Broof(t3)
2662	D	murs extérieurs et portes pare-flamme de degré 1/2 heure	couverture sèche constituée exclusivement en matériaux M0 ou couverture constituée d'un support de couverture en matériaux M0, et d'une isolation et d'une étanchéité en matériaux classés M2 non gouttants
	E	les parois extérieures des bâtiments sont construites en matériaux A2 s1 d0	le système de couverture de toiture satisfait la classe et l'indice BROOF (t3)
2663	D	murs extérieurs et portes pare-flamme de degré 1/2 heure	couverture sèche constituée exclusivement en matériaux M0 ou couverture constituée d'un support de couverture en matériaux M0, et d'une isolation et d'une étanchéité en matériaux classés M2 non gouttants,
	E	les parois extérieures des bâtiments sont construites en matériaux A2 s1 d0	le système de couverture de toiture satisfait la classe et l'indice BROOF (t3)
2160			Les toitures et couvertures de toiture répondent à la classe Broof (t3).

Tableau 2 : Extraits d'articles mentionnant les exigences que doivent respecter la toiture et les façades

3.3 SYNTHÈSE DES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

De façon générale, la réglementation exige les caractéristiques suivantes indépendamment de la fonction assurée :

- Pour les façades, le produit utilisé doit être A2-s1,d0 selon les euroclasses et M0 selon les anciens critères. Un seul cas (1511) autorise des caractéristiques de parois moins performantes (B-s3,d0) en raison de l'obligation d'avoir des parois très isolantes. Il faut retenir que quelque soit les rubriques le matériau ne doit pas produire de chute d'éléments enflammés lorsqu'il est soumis à une agression thermique (critère d0).
- Pour les toitures, hors isolant qui ne concerne pas les panneaux photovoltaïques qui sont placés au dessus de la dernière couche, il est exigé pour toutes les rubriques soit un degré M0 pour les plus anciens arrêtés, soit une classe et l'indice BROOF (t3) pour les plus récents ;
- Il est précisé par ailleurs des dispositions générales par rapport aux installations électriques qui s'appliqueraient aux installations PV. La seule exigence supplémentaire concerne les silos pour lesquels, des mesures spécifiques doivent être prises pour se protéger de l'électricité statique et des courants vagabonds ainsi que de la foudre.

4. ANALYSE DES RISQUES LIES A L'IMPLANTATION DE CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

4.1 INVENTAIRE DES INCIDENTS/ACCIDENTS RECENSES DANS LA LITTERATURE ET ANALYSE DU RETOUR D'EXPERIENCE

Des différents accidents répertoriés, diverses causes possibles peuvent entrainer un départ de feu, puis l'incendie des panneaux voire de l'habitation. L'incendie des panneaux photovoltaïques peut être dû à une agression extérieure, à un défaut technique, à une erreur d'installation et de maintenance ou à d'autres éléments externes.

Date	Lieu	Configuration, Type de PV	Cause du sinistre	Blessés	Remarques et illustrations
11/2002	Burgdorf, Swiss	?	?	Pompier a subi un choc électrique à l'intérieur de la maison	
08/04/2008	Bremen, Allemagne	Maison	Onduleur	non	
28/02/2009	Saint-Pierre, France	Entrepôt, Société SCE	Feu d'entrepôt	non	
04/2009	Bakersfield, Californie	Panneaux de type silicium en configuration sur-imposé	Arc électrique	non	
21/06/2009	Bürstadt, Allemagne	Dépôt, Modèle Saturn 7: BP Solar	Hot Spots (surchauffe)	non	

					
18/10/2009	Bastia, France	Hangar	Foudre	non	Le feu est provoqué par l'impact de la foudre sur le toit du hangar contenant des bottes de foin
18/11/2009	Bascharage, Luxembourg	Maison	Incendie à l'intérieur de la maison	Pompier a subi un choc électrique avec l'onduleur sous tension situé à l'intérieur de la maison	
22/12/2009	Goldern, Allemagne	Grange	Inconnu	non	
01/01/2010	Allemagne Schwetzingen	Piscine	Une lanterne céleste a enflammé un tuyau en PVC	non	
05/01/2010	Schlotheim, Allemagne	Dépôt de 3200m ²	Paille dans le dépôt a pris feu	non	
14/01/2010	Val de Reuil, France	Panneau TENESOL	L'origine de ce feu est une faute de l'entreprise extérieure qui a enfreint les règles et consignes données	non	
20/03/2010	Old Greenbelt, Maryland USA	Panneaux de type sur-imposé (silicium)	Arc électrique, présence de feuilles mortes	non	
14/04/2010	Tours-Nord, France	Maison	Combles de l'habitation et panneaux complètement détruits	Habitants relogés	

28/04/2010	Dampiere-au-Temple (Marne)		Concernant l'origine du sinistre, tous les regards convergent vers ces panneaux d'où le feu semblait être parti.		La moitié de la toiture est couverte par ces installations. Des panneaux posés par des professionnels et contrôlés par EDF.
09/05/2010	Lahrer Scheffel, Allemagne	Ecole	Feu sur le toit d'un lycée : l'onduleur du panneau solaire s'enflamme	non	
26/05/2010	Saint-Antoine, Perdigon, France	Maison	L'installation a pris feu provoquant un incendie qui a détruit la toiture de la maison	non	
12/06/2010	Bastia, France	Grange	Foudre ?	non	

Tableau 3 : Accidents survenus en Europe

Un peu moins d'une vingtaine d'accident ont été répertorié dans la base de données. Ces accidents sont soit induits par le système photovoltaïque, soit ont impliqué les panneaux représentant une charge combustible potentielle. Les différentes causes d'incendie des panneaux photovoltaïques sont la présence possible d'arcs électriques de par l'intensité du courant produit par les installations, une agression externe de type départ d'incendie dans le bâtiment, impact de la foudre ou contact avec des éléments incandescents (lanterne céleste), ou encore une défaillance technique (panneaux, câbles, onduleur). Dans ces situations, les conséquences peuvent être importantes, tant du point de vue humain, touchant à la sécurité des pompiers, que du point de vue financier, allant jusqu'à la destruction totale du bâtiment.

Il ne se dégage toutefois pas de configuration plus sensible que d'autres. La répartition entre départ au niveau des équipements électriques et départ au niveau du bâtiment semble à peu près égale.

4.2 RECENSEMENT DES DIFFERENTES CONFIGURATIONS D'IMPLANTATION POSSIBLES EN INCLUANT LE SUPPORT ET LE TYPE D'HABITATION CONCERNEE

L'objectif de ce paragraphe est de présenter une cartographie des différentes configurations possibles afin de conduire l'analyse des risques de ces installations en se focalisant plus particulièrement sur le risque incendie.

Pour construire la cartographie, le système a été décomposé en dispositifs élémentaires:

- la typologie du système PV (inclinaison, disposition, structure porteuse, isolation, catégorie de panneaux),
- la technologie des panneaux (modèle, type, rendement),
- le cadre,
- la vitre,
- le type de fixation,
- le système d'étanchéité,
- l'isolation,
- la couverture,
- le type de charpente,
- le boîtier connectique,
- les connectiques inter-panneaux,
- le type de câble solaire,
- l'onduleur.

Ces différents éléments peuvent se regrouper selon les catégories suivantes :

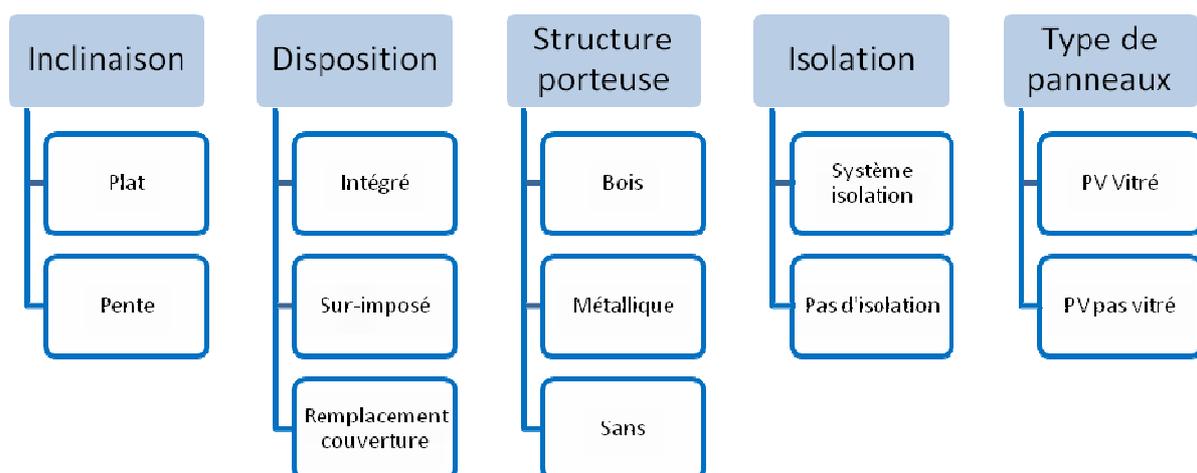


Figure 23 : Description du système

Pour au final, aboutir à plus de 15 systèmes identifiés au cours de notre inventaire. Ils varient en fonction de la configuration et du type de matériaux utilisés. Ils sont identifiés par rapport à leurs descripteurs représentés sur la Figure 23. A raison d'un descripteur pour les 5 critères de choix (Inclinaison, Disposition, structure porteuse, isolation types de panneaux), l'ensemble des combinaisons possibles définissent les 15 systèmes possibles. De ces systèmes, on en dénombre :

- 2 en mode de « sur-imposition », disposé au-dessus de la toiture
- 7 de type « imposition / intégration », intégré à la toiture
- et 6 en « remplacement de couverture »

L'ensemble de ces systèmes est reporté dans le tableau suivant :

Système n°	Caractéristiques, indicateurs descriptifs	Implantation		Exemple
		industriel	particulier	
1	Pente, Sur-imposé, Métallique, Vitré	✓	✓	
2	Plat, Sur-imposé, Métallique, Sans isolation, Vitré	✓		
3	Pente, Imposé, Bois, Isolation, Vitré		✓	
4	Pente, Imposé, Bois, Sans isolation, Vitré		✓	
5	Pente, Imposé, Bois, Isolation, Pas vitré		✓	
6	Pente, Imposé, Métallique, Isolation,		✓	

	Vitré			
7	Pente, Imposé, Métallique, Sans isolation, Vitré		✓	
8	Plat, Imposé, Bois, Isolation, Pas vitré	✓	✓	
9	Plat, Imposé, Bois, Sans isolation, Pas vitré	✓	✓	
10	Pente, Remplacement couverture, Bois, Isolation, Vitré		✓	
11	Pente, remplacement couverture, Bois, Sans isolation, Vitré		✓	
12	Pente, Remplacement couverture, métallique, Isolation, Vitré	✓	✓	
13	Pente, remplacement couverture, métallique, sans isolation, Vitré	✓		

14	Plat, remplacement couverture, métallique, sans isolation, Vitré	✓		
15	Plat, remplacement couverture, métallique, isolation, pas vitré	✓		

Tableau 4 : Identification des différents systèmes

Ces configurations ont été utilisées pour déterminer l'intervalle des différentes charges calorifiques associées à chacune d'entre elles, en retenant une configuration favorable et une configuration défavorable (cf. annexe 2).

4.3 RECENSEMENT DES CHARGES CALORIFIQUES POUR LES DIFFERENTES CONFIGURATIONS POSSIBLES

Pour les différentes configurations relatives à une installation industrielle et chez le particulier, le bilan calorifique de l'installation est réalisé. La contribution de chaque élément constitutif du dispositif photovoltaïque est évaluée, permettant ainsi de définir la configuration la moins favorable et la plus favorable. Le pouvoir calorifique global est représenté dans les tableaux de synthèse suivant.

Eléments	Pouvoir calorifique des éléments utilisés	Panneaux PV souple (remplacement couverture)	
		Configuration la moins favorable	Configuration la plus favorable
Structure porteuse	Bois : 17 MJ/kg (150 kg/m ³), 50kg/m ² Béton : classe M0	850 MJ/m ² (bois)	0 (béton)
Isolation	Polystyrène : 40 MJ/kg, densité 15-30 kg/m ³ (2.4 kg/m ² , ep. 120 mm) Laine de verre : 2 MJ/kg (16.3 kg/m ²) Laine de roche: 120 kg/m ³ , 0.5 MJ/kg (ep. 25 cm)	128 MJ/m ² (Polystyrène)	12.5 MJ/m ² (Laine de roche)
Membrane	Polyuréthane : 24-31 MJ/kg Polyamide : 19-37 MJ/kg Polystyrène : 31-41 MJ/kg Polyéthylène : 34-46 MJ/kg Membrane synthétique (ep. 4 mm): 3.5 kg/m ²	161 MJ/m ² (Polyéthylène)	70 MJ/m ² (Polyuréthane)
Boitier électrique	PVC : 15-21 MJ/kg (1400 kg/m ³) Alu : classe M0	1.5 MJ/m ² (PVC)	0 (Alu)
Fil, connectique	Câble solaire 1 MJ/m	1 MJ/m ²	1 MJ/m ²
Couverture	Bitume : 38 MJ/kg soit (7 kg/m ²) Tuile : classe M0 Tôle : classe M0	266 MJ/m ² (Bitume)	0 (Tôle)
Total		1407 MJ/m²	83.5 MJ/m²

Tableau 5 : Bilan calorifique pour une installation industrielle

Dans le tableau précédent, la part relative aux PV est de 11% dans la moins favorable et de 71% dans la plus favorable mais sa contribution n'excède pas 163 MJ/m², ce qui représente une valeur relativement faible (membrane PE de 4 mm). En fonction des différents éléments utilisés, une réduction significative du pouvoir calorifique total est observée. Le choix judicieux des composants notamment pour la structure porteuse, les boitiers électriques et la couverture du bâtiment permet de diminuer considérablement le pouvoir calorifique total, une réduction de 94% pour cette configuration est présentée.

Le tableau suivant présente les cas extrêmes qui peuvent être observés sur un habitat de particulier.

Eléments	Pouvoir calorifique	Panneaux PV rigide (remplacement couverture)	
		Configuration la moins favorable	Configuration la plus favorable
Structure porteuse	Bois : 17 MJ/kg (150 kg/m ³), 50kg/m ² Acier : classe M0 Béton : classe M0	850 MJ/m ² (Bois)	0 (Acier)
Isolation	Polystyrène : 40 MJ/kg, densité 15-30 kg/m ³ (2.4 kg/m ² , ep. 120 mm) Laine de verre : 2 MJ/kg (16.3 kg/m ²) Laine de roche : 120 kg/m ³ , 0.5 MJ/kg (ep. 25 cm)	128 MJ/m ² (Polystyrène)	12.5 MJ/m ² (Laine de roche)
Cadre Support arrière Boitier électrique	PVC : 15-21 MJ/kg (1400 kg/m ³) soit 6.25 kg/m ² Alu : classe M0	131 MJ/m ² (PVC)	0 (Alu)
Vitrage	Plexiglas PMMA : 25 MJ/kg (1900 kg/m ³)=12kg, soit 7.5 kg/m ² Verre : classe M0	187 MJ/m ² (Plexiglas)	0 (Verre)
Fil, connectique	1 MJ/m	1 MJ/m ²	1 MJ/m ²
Joint d'étanchéité	Caoutchouc : 24 MJ/kg (1000 kg/m ³) 0.6 kg/panneau ; 0.375 kg/m ²	9 MJ/m ²	9 MJ/m ²
Total		1306 MJ/m²	22.5 MJ/m²

Tableau 6 : Bilan calorifique pour une installation chez le particulier

Dans le tableau précédent, la part relative aux PV est de 25% dans la moins favorable et de 40% dans la plus favorable. Sa contribution est de 328 MJ/m² dans la configuration la moins favorable, du en grande partie à un vitrage qui serait réalisé en plexiglas et à un cadre qui serait en PVC.

Pour l'installation du particulier, le choix judicieux pour la structure porteuse et le type de panneaux photovoltaïques permet de réduire considérablement le pouvoir calorifique de l'installation en cas d'incendie. Une diminution de plus de 98% du bilan total est attendue pour la configuration la plus favorable.

4.4 ANALYSE DES RISQUES

Compte tenu de la diversité de configurations identifiées précédemment, une analyse des risques classiques de type APR ne peut pas être mise en œuvre de façon exhaustive. Le parti a donc été pris de procéder à une démarche similaire mais en recherchant plutôt les situations de dangers génériques.

Un groupe de travail s'est réuni, composé de personnes de l'INERIS et de personnels des services de secours. L'objectif de ce groupe était de déterminer pour chacun des éléments constituant le système PV, toutes les situations de danger potentielles liées à une défaillance du système PV qu'elle soit interne ou externe au système PV en identifiant les causes potentielles et les dispositifs de sécurité susceptibles de prévenir l'occurrence de ces situations de danger.

La recherche de ces situations de dangers s'appuie à la fois sur l'expérience des personnes en charge de l'intervention mais aussi sur le retour d'expérience évoqué précédemment et enfin sur les risques inhérents aux produits employés ou aux fonctions assurées (production d'électricité).

Par la suite, les différents moyens de prévention et de protection existants pour ces différentes situations de danger ont été recherchés, et lorsqu'aucun dispositif n'était identifié, des essais ont été réalisés pour essayer d'identifier la gravité de ces situations de danger.

Concernant les panneaux proprement dit, plusieurs événements ont été identifiés pouvant conduire à :

- un départ de feu provoqué par:
 - des travaux par point chaud lors d'une maintenance par exemple,
 - Un défaut de conception ou de montage qui conduit à une surchauffe sur le panneau (diode, mauvais contact, soudure),
 - Un impact de foudre peut à la fois endommager le panneau et provoquer son inflammation,
 - Un arc électrique peut être provoqué par un court-circuit au niveau du panneau (vieillessement),
 - Une erreur de montage des panneaux lors de leur installation
 - L'agression par un feu extérieur (feu d'artifice, brandons...)
 - L'agression par un feu venant de l'intérieur du bâtiment, feu de cellule ou feu de combles
- une détérioration du matériel, pouvant aboutir in fine à un risque d'électrisation pour le personnel d'intervention :
 - L'agression mécanique due à des conditions météorologiques extrêmes : Tempête, grêle)
 - L'agression mécanique due à la chute d'un objet (cheminée, branche d'arbre...) ou à l'intervention proprement dite.

Concernant les équipements électriques, boîtiers, onduleurs et connectique au PV, les risques identifiés pouvant aboutir à un départ de feu sont :

- La présence d'un point chaud (travaux)
- L'apparition d'un arc électrique, usure des connexions ou conditions météorologiques extrêmes.
- Agression par un feu extérieur au bâtiment
- Agression par un feu se développant dans le bâtiment
- Impact de foudre
- Choc mécanique qui peut conduire à une détérioration du matériel et donc in fine soit à un risque d'électrisation pour le personnel d'intervention soit à un départ de feu
- La présence d'éléments combustibles (feuilles,...) au contact direct d'éléments sous tension.

Les principales dispositions de prévention ou de protection existantes sont :

- Le respect des normes électriques qui sont rappelées ci-après,
- Un classement au feu des matériaux utilisés au contact des panneaux le plus performant possible et respectant a minima les exigences réglementaires détaillées au chapitre 2,
- Une détection incendie au niveau de l'onduleur et la présence de moyens d'extinction à proximité si la configuration le permet
- La présence d'un dispositif de coupure (mise en court-circuit ou d'interrupteur thermique) comme ceux décrits dans le paragraphe suivant,
- L'obligation d'avoir un permis de travail par point chaud pour les entreprises intervenant sur ces équipements ou à proximité de ces équipements,
- La mise en place de protection contre la foudre.

Cette liste n'est pas exhaustive et elle devra faire l'objet d'une analyse particulière notamment dans le cas des installations classées.

4.4.1 Exemple de barrières techniques possibles

Le problème majeur des installations PV est lié au fait que le procédé de transformation de l'énergie solaire en électricité est continu. Cette contrainte devient notamment un risque accru pour les forces d'intervention en cas de départ de feu et d'incendie. Les grandes installations industrielles peuvent atteindre une tension jusqu'à 1000V et un courant atteignant les 8A en courant continu. Une tension de l'ordre de 120V peut déjà avoir des effets mortels pour l'homme.

Pour répondre à cette exposition au risque électrique, les dispositifs de coupure ont bien été identifiés par les producteurs comme des éléments de sécurité importants et la recherche de dispositifs performants bat son plein actuellement sans avoir réussi pour l'instant à faire émerger un dispositif dont la fiabilité aurait été démontrée.

A titre d'exemple, deux dispositifs de coupure sont décrits par la suite sans préjuger de leur fiabilité.



Figure 24 : Thermo fusible pour PV

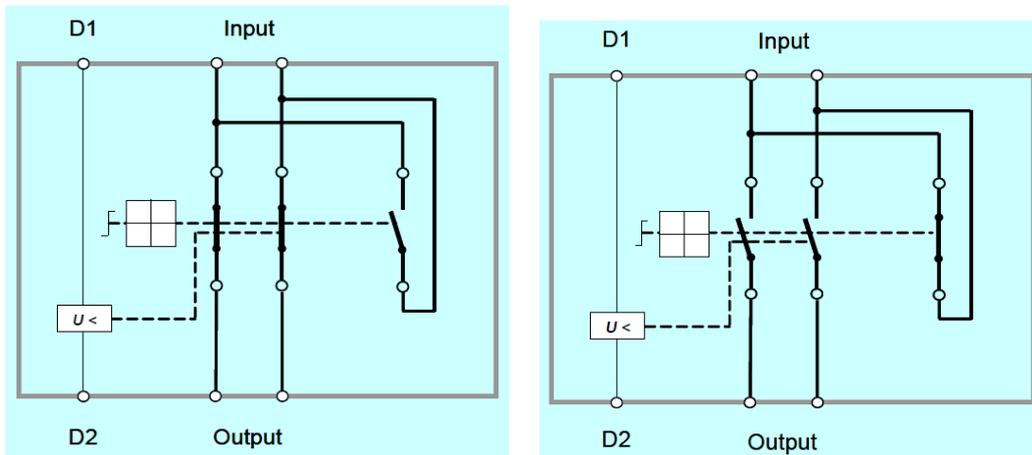
Le thermo fusible pour PV (voir Figure 24) se déclenche à partir d'une température de 250°C. Par le ressort intégré le contact est interrompu immédiatement pour éviter un arc électrique. Le contact peut être aussi interrompu sous l'application d'une force mécanique (coup de hache, marteau, etc).

La Figure 25 présente un interrupteur de secours PV qui est positionné à proximité des panneaux solaires. Il est actionné directement sur le toit ou à l'aide d'une télécommande en distance. Une fois actionnée les panneaux solaires sont mis en court circuit.



Figure 25: Interrupteur secours PV

Le principe de fonctionnement est précisé sur la Figure 26



b)

Figure 26: Interrupteur de secours PV en position normale a) et en position de sécurité b)

4.4.2 Normes applicables :

Le schéma ci-après précise l'imbrication des différentes normes existantes.

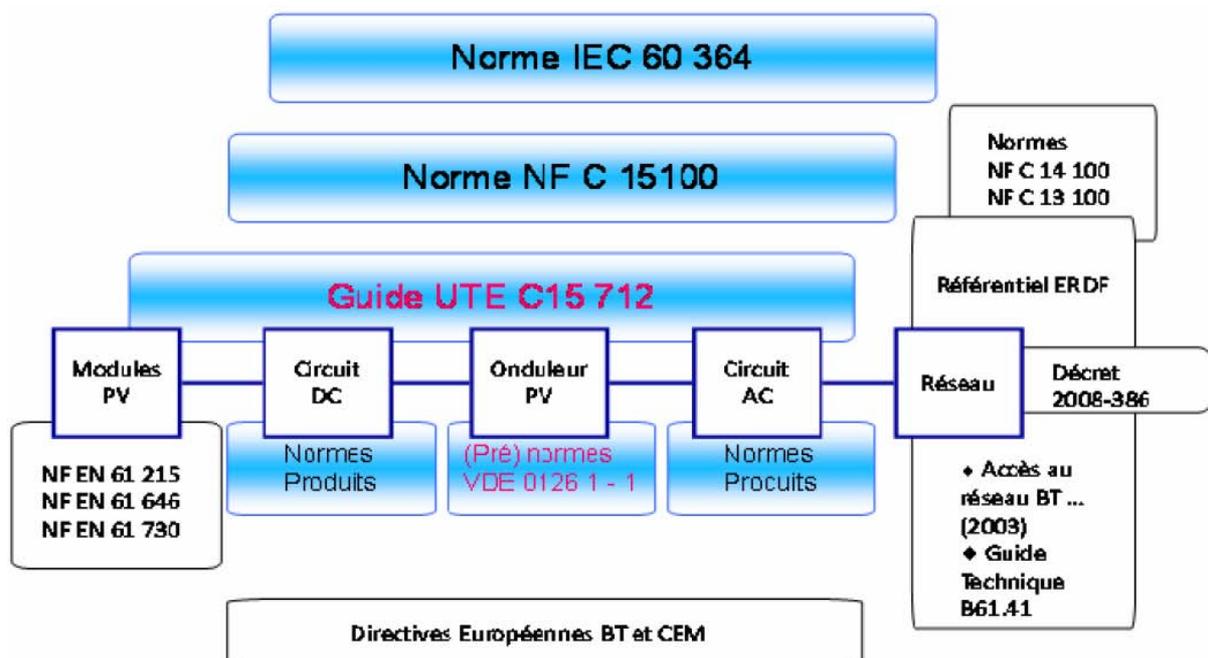


Figure 27 : affectation des normes existantes

4.4.2.1 Matériels

Pour les modules, le « Guide pratique à l'usage des bureaux d'études et installateurs – Spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens dans les installations photovoltaïque raccordées au réseau » édité par l'ADEME et le SER en décembre 2008, préconise :

- les modules doivent respecter les normes « CEI 61215 » et « CEI 61646 » selon leur conception.

- les modules doivent justifier d'une classe de sécurité électrique II (« CEI 61730-1 ou 2 », « NF EN 61140 » et « UL 1703 »).

4.4.2.2 Onduleur :

DIN VDE 0126-1-1 (« Dispositif de déconnexion automatique entre un générateur et le réseau public basse tension »)

Pour la sécurité de l'onduleur la norme de référence est IEC 60950

4.4.2.3 Câbles :

Les câbles de type U100R2V - H07RN-F sont employés suivant la norme UTE C 32 502,

Ces câbles ont les propriétés suivantes :

- Constitution de l'âme IEC 60228 Classe 5,
- Température ambiante IEC 60216-2 : +90°C (durée d'utilisation de 25 ans),
- Sans halogène (EN 50267-2-2),
- Résistance à l'ozone (EN 50396),
- Tenue aux intempéries et aux UV (HD 605/A1),
- Tenue à l'acide et à la saumure (EN 60811-2-1),
- Tenue à la flamme IEC 60332-1 et IEC 60332-3,
- Gaz émis IEC 60754-1 et IEC 60754-2,
- Fumées émises IEC 61034-2

4.4.2.4 Installation entre onduleur et compteurs :

NF C15-100 (« réglementation des installations électriques en [basse tension](#) en France »)

4.4.2.5 Installation du champ PV

Sécurité électrique du champ PV :

L'installation doit être conforme à la norme NF C 15-100 (« réglementation des installations électriques en France »)

L'installation doit suivre les guides :

UTE : Guide UTE C15-712 ADEME/SER : Guide « Protection contre les effets de la foudre dans les installations photovoltaïques raccordées au réseau »

ADEME : Guide « Rédaction du cahier des charges techniques de consultation à destination du maître d'ouvrage »

Depuis février 2008, le guide UTE C15-712 définit des règles essentielles de mise en œuvre des systèmes PV, sur le plan de la protection des biens et des personnes.

4.4.2.6 Guide C15-712 : mise en œuvre des installations PV

- 1 Introduction
 - 2 Domaine d'application
 - 3 Références normatives
 - 4 Définitions
 - 5 Description des installations PV
 - 6 Protection contre les chocs électriques
 - 7 Protection contre les surintensités
 - 8 Chute de tension
 - 9 Sectionnement et coupure
 - 10 Protection contre les surtensions transitoires
 - 11 Conditions d'installation des générateurs PV
 - 12 Signalisation
 - 13 Dossier Technique
- Annexes

Installateur : souscription à la charte de qualité QualiPV (appellation pour la qualité d'installation des systèmes solaires photovoltaïques raccordés au réseau.)

5. REALISATION D'ESSAIS AFIN D'EVALUER LE COMPORTEMENT VIS-A-VIS DU FEU

3 types d'essais ont été réalisés pour mieux appréhender le comportement des panneaux PV en situation d'incendie :

- Des essais à l'échelle du laboratoire (calorimètre de Tewarson) dont l'objectif principal était d'évaluer d'une part l'inflammabilité de certains produits et d'autre part leur propension à dégager des fumées toxiques.
- Des essais normalisés à l'aide d'un SBI afin de qualifier leur comportement des conditions expérimentales reconnues internationalement.
- Des essais à grande échelle afin d'évaluer le comportement de systèmes couramment rencontrés soit sur des sites industriels (entrepôts) soit sur des habitations individuelles.

5.1 ESSAIS AU CALORIMETRE DE TEWARSON

Le calorimètre de Tewarson permet de réaliser une approche expérimentale du comportement d'une substance en cas d'incendie à l'échelle du laboratoire. Cet équipement, reconnu en tant que norme américaine (ASTM E2058 et NFPA 287), est représenté sur la figure 6.

Cet appareillage permet une étude paramétrique du comportement des matériaux en condition d'incendie tant sur le plan des paramètres thermiques (vitesse de combustion, débit calorifique associé) que sous l'aspect chimique (composition des fumées). Il permet également de s'intéresser à la composition des fumées avec notamment la mesure en continue de O₂, CO, CO₂, NO_x, HCt, ainsi que de mesurer la vitesse de combustion.

L'apport de comburant peut être réalisé avec de l'air ambiant ou dans d'autres conditions (air appauvrie en oxygène, inertage effectué avec de l'azote, de l'argon).



Figure 28 : Essais de combustion d'une cellule amorphes (Unisolar)

5.1.1 Protocole des essais

Des échantillons de taille 100mm x 100mm de panneaux photovoltaïque de type amorphe 1) Unisolar collé sur une membrane d'étanchéité ou 2) First Solar comportant du Cd-Te entre 2 couches de verre ont été testés au calorimètre de Tewarson. Sous un régime de ventilation de 200 l/mn d'air et un flux radiatif imposé de 25 kW/m² puis de 50 kW/m² les échantillons ont subis des tests de comportement au feu à l'échelle de laboratoire. Les effluents gazeux ont été analysés afin de déterminer la composition des gaz à l'émission.

Lors de ces essais, les paramètres de combustion sont mesurés en continue : perte de masse, vitesse de combustion, chaleur dégagée ainsi que les taux d'émissions : O₂, CO, CO₂, NO, NO₂, HCl, HCN, HF, ...

Pour l'échantillon contenant du Cadmium, une recherche et une mesure de ce composant a été fait à la fois dans les résidus de combustion et dans les gaz de décomposition via un piégeage dans une solution par barbotage.

5.1.2 Résultats des essais

5.1.2.1 Essai avec couche mince Unisolar

D'un point de vue macroscopique, un délitement progressif des différentes couches est observé qui est visible notamment grâce à la présence de bulles dans l'échantillon. Après une phase de combustion plus vive qui occupe toute la surface de l'échantillon, les différentes couches incombustibles subsistent à la fin de l'essai (cf. Figure 29)

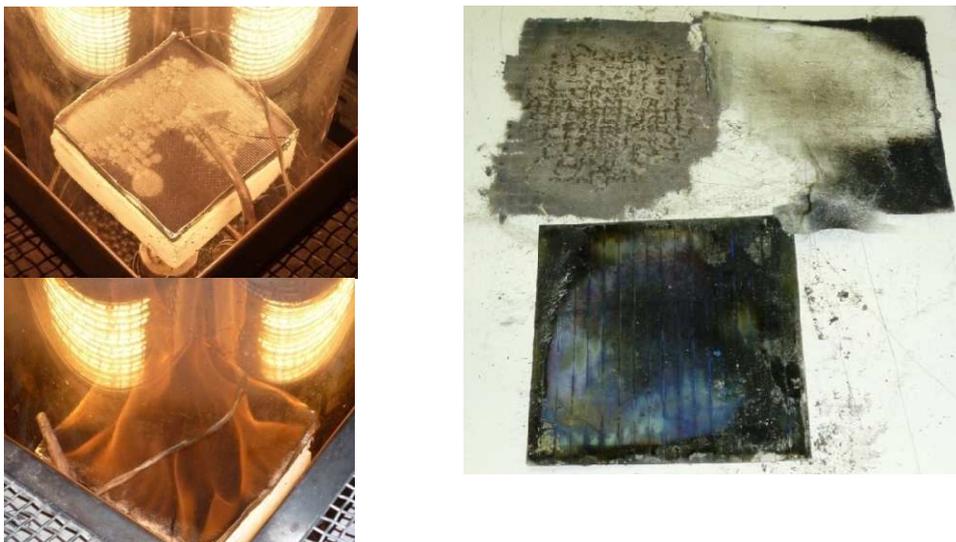
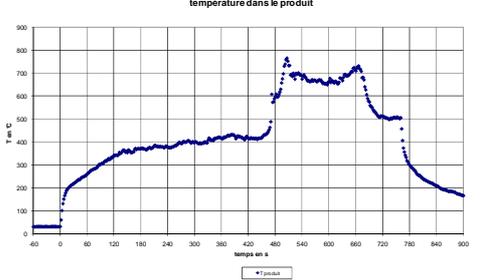
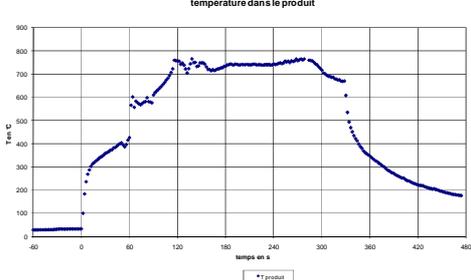
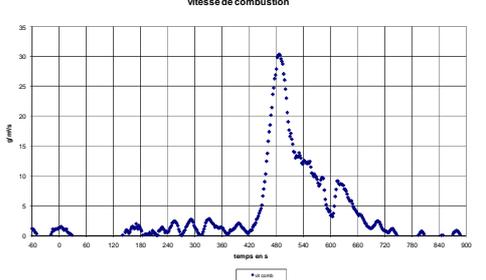
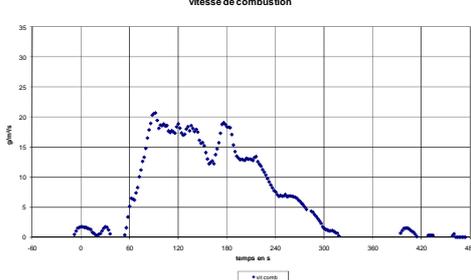
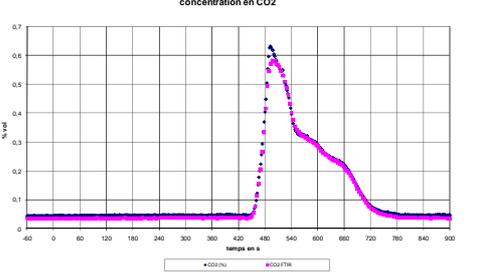
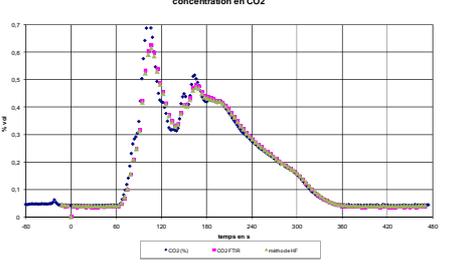
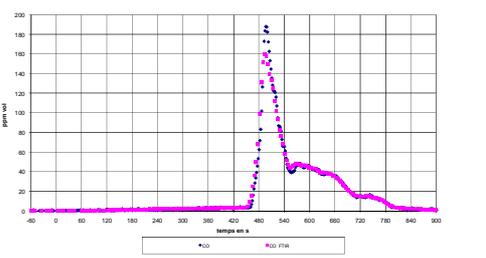
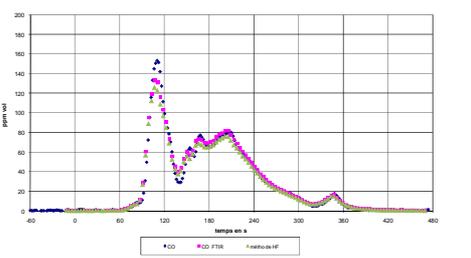
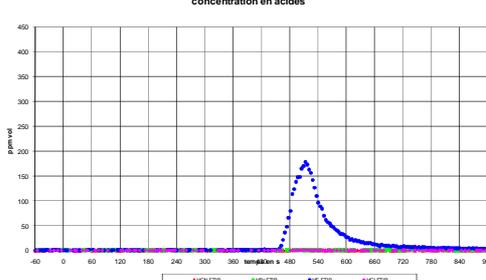
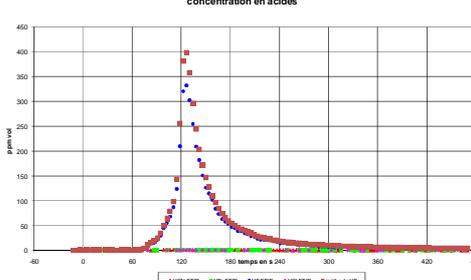


Figure 29 : Exemple de résidu de combustion d'une membrane PV

Concernant les différentes mesures effectuées, les différentes courbes sont reportées sur les figures suivantes pour les paramètres les plus significatifs :

Flux reçu	25 kw/m ²	50 kw/m ²
Température du produit	 <p>température dans le produit</p>	 <p>température dans le produit</p>
Vitesse de combustion	 <p>vitesse de combustion</p>	 <p>vitesse de combustion</p>
CO ₂	 <p>concentration en CO₂</p>	 <p>concentration en CO₂</p>
CO	 <p>concentration en CO</p>	 <p>concentration en CO</p>
acides	 <p>concentration en acides</p>	 <p>concentration en acides</p>

Avec un flux incident de 25 kW/m², une phase assez longue de pyrolyse est observée avant inflammation. Mais lorsque cette dernière intervient, elle conduit à une combustion plus vive. Dans les deux cas, une production significative d'HF est observée, elle est du même ordre de grandeur que la production de CO.

Par ailleurs, un tableau synthétise les maximums observés pour les 2 essais à 25 et 50 kW/m².

valeurs FTIR	25 kw/m ²	50 kw/m ²
taux d'émission mg/g		
CO ₂	2119,0	2315,4
CO	30,7	26,2
SO ₂	0,0	0,2
NH ₃	0,5	0,0
méthane	0,4	0,3
NO	1,5	2,4
NO ₂	0,1	0,2
N ₂ O	0,0	0,0
HF	21,4	21,5
HCN	0,2	0,3
HBr	0,2	0,1
HCl	0,1	0,0
acétaldéhyde	0,9	0,2
formaldéhyde	0,5	0,1
acroléine	0,2	0,0
éthène	0,6	0,9
propène	0,5	0,2
acétylène	0,0	0,1
H ₂ O	992,1	1230,1

Pour évaluer l'impact des fumées sur l'environnement, une estimation de la concentration des fumées en HF a été estimée à partir des données expérimentales. Pour un échantillon, la masse perdue est de 30 g soit 33 % de la masse initiale, ce qui représente environ 600 mg d'HF produit pour une surface de 0.01 m² pendant toute la durée de combustion de l'échantillon.

Si on considère une cellule de 6 000 m², cela représente 360 kg d'HF émis sur une période de 2h environ, ce qui correspond à la durée classique de la phase de combustion vive, cela représente donc un débit d'HF de 0.05 kg/s.

Pour une cellule de cette taille contenant des produits relevant de la rubrique 1510, le débit de fumées est de l'ordre de 10 000 kg/s, ceci signifie que la contribution de HF contenu dans les cellules PV augmente la concentration en HF de 5 ppm. En comparant cette valeur au SEI qui est de 200 ppm, il peut être considéré que l'impact toxique de la combustion des cellules PV est négligeable.

5.1.2.2 Essai avec des cellules contenant du Cd-Te

Les essais réalisés ont montré qu'il fallait un flux de 50kW/m² pour observer la combustion du produit. A l'heure de la rédaction de ce rapport, le résultat des analyses sur le devenir du Cadmium n'est pas disponible.

5.2 ANALYSE DES RESULTATS DES ESSAIS DE REACTION AU FEU

Le Tableau 7 résume le domaine d'utilisation, dans les bâtiments d'habitations et les ERP, de cinq types de panneaux photovoltaïques testés en réaction au feu selon la norme NF EN 13823 (essai SBI). Le domaine d'utilisation de ces panneaux est défini par rapport aux exigences réglementaires présentées précédemment.

Pour les cinq types de panneaux photovoltaïques étudiés sont donnés, dans le même tableau, les ordres de grandeur de l'énergie dégagée pendant une vingtaine de minutes dans les conditions d'un essai SBI. Ces quantités d'énergie représentent celles dégagées par les éléments photovoltaïques et leurs supports.

Par conséquent les seuils du C+D donnés dans ce tableau prennent en compte l'ensemble panneaux photovoltaïque-support.

Les domaines d'utilisation des PV donnés dans le Tableau 7 prennent en compte le classement en réaction au feu des assemblages testés et l'énergie dégagée. Il est clair que le montage des panneaux photovoltaïques sur des supports différents peut modifier à la fois leur classement et la quantité de l'énergie dégagée, et par conséquent, leur domaine d'utilisation.

Afin de déterminer l'apport énergétique des cellules photovoltaïques seules (sans prendre en compte la contribution de leurs cadres et de leurs supports), le pouvoir calorifique supérieur des encapsulants des cellules a été déterminé expérimentalement. Les résultats sont les suivants :

Panneaux photovoltaïques de référence PW500 et PWX500 :

- PCS(Moyen) Encapsulant du module PW 500 -1^{ère} couche = 30,778 MJ/kg,
- PCS(Moyen) Encapsulant du module PW 500 -2^{ème} couche = 31,295 MJ/kg.

Panneaux photovoltaïques de référence Ardoise Solesia :

- PCS(Moyen) Encapsulant ardoise SOLESIA = 32,787 MJ/kg.

Panneaux photovoltaïques de référence Uni Solar :

- PCS(Moyen) UNI SOLAR Zone bleue = 22,266 MJ/kg,
- PCS(Moyen) UNI SOLAR Zone noire = 31,727 MJ/kg.

Panneaux photovoltaïques de référence Solar Composite :

- PCS(Moyen) composite SOLAR COMPOSITE = 7,352 MJ/kg.

La connaissance du PCS et de la quantité d'encapsulant permet de définir l'apport énergétique propre d'un panneau photovoltaïque.

Les observations réalisées pendant la réalisation des essais SBI ont mis en évidence le fait que la combustion de toutes les éprouvettes (excepté le type PWX500 : modules polycristallin à base de cellules avec bi-verre et cadre aluminium) est accompagnée par des chutes de morceaux de verre enflammés.

Pour l'essai 6 (panneau du type PWX500) l'augmentation du flux incident de 30 kW/m² à 80 kW/m² ne conduit pas à un changement visible dans le comportement du panneau. L'augmentation de l'énergie dégagée est dédiée au brûleur.

Ces essais montrent qu'à cause des chutes enflammées l'installation des panneaux photovoltaïques (excepté le type PWX500 : modules polycristallin à base de cellules avec bi-verre et cadre aluminium) doit prendre en compte ce phénomène afin d'éviter une propagation rapide du feu.

Types de panneaux photovoltaïques	Classement par rapport à la réaction au feu		Energie dégagée après 20 minutes (MJ)	Le système photovoltaïque peut être utilisé pour :	Hauteur du C+D (mm)
PW500 cellules polycristallines (verre simple) + cadre aluminium	D-s2,d0	M3	75	ERP : façade avec C+D	≥1000
				ERP : toiture si les exigences de la résistance au feu de l'article CO 17 (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	
				Habitation : façade de 1 ^{ère} et 2 ^{ème} famille sans réserve	
				Habitation : façade de 3 ^{ème} et 4 ^{ème} famille avec réserve, en fonction de la hauteur et de la distance entre immeuble (voir réglementation)	≥600 (3 ^{ème} A) ≥800 (3 ^{ème} B et 4 ^{ème})
				Habitation : toiture avec support continue	
				Habitation : toiture sans support continue si les exigences de la résistance au feu (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	
PWX500 cellules polycristallines (bi-verre) + cadre aluminium	B-s1,d0	M1	6	ERP : façade avec C+D	≥1000
				ERP : toiture si les exigences de la résistance au feu (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	
				Habitation : façade de 1 ^{ère} et 2 ^{ème} famille sans réserve	
				Habitation : façade de 3 ^{ème} et 4 ^{ème} famille sans réserve	≥600 (3 ^{ème} A) ≥800 (3 ^{ème} B et 4 ^{ème})
				Habitation : toiture avec support continue	
				Habitation : toiture sans support continue si les exigences de la résistance au feu (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	
Ardoise Solesia cellules polycristallines sans cadre	D-s2,d2	M4	150	ERP : toiture si les exigences de la résistance au feu (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	
				Habitation : façade de 1 ^{ère} et 2 ^{ème} si l'article 12 de l'arrêté du 31/01/1986 est respecté	
				Habitation : toiture si les exigences de l'article 15 de l'arrêté du 31/01/1986 (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	
Uni Solar une triple couche de silicium amorphe sur tôle inoxydable	E,d2	M4	100	ERP : toiture si les exigences de la résistance au feu (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	
				Habitation : façade de 1 ^{ère} et 2 ^{ème} si l'article 12 de l'arrêté du 31/01/1986 est respecté	
				Habitation : toiture si les exigences de l'article 15 de l'arrêté du 31/01/1986 (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	
Solar Composite cellules polycristallines + cadre composite	C-s3,d1	M2	90	ERP : façade avec C+D	≥1000
				ERP : toiture si les exigences de la résistance au feu (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	
				Habitation : façade de 1 ^{ère} et 2 ^{ème} famille sans réserve	
				Habitation : façade de 3 ^{ème} et 4 ^{ème} famille sans réserve	≥800 (3 ^{ème} A) ≥1000 (3 ^{ème} B et 4 ^{ème})
				Habitation : toiture avec support continue	
				Habitation : toiture sans support continue si les exigences de la résistance au feu (de classe et d'indice de propagation) sont satisfaites	

Tableau 7: Domaine d'application de cinq types de panneaux photovoltaïques.

Le Tableau 8 présente les températures maximales mesurées au dos des éprouvettes testées au SBI à trois hauteurs du sol : 500, 750 et 1000 mm.

Types de panneaux photovoltaïques	N° d'éprouvette	Températures mesurées au dos des panneaux photovoltaïques (°C)		
		à 500 mm du sol	à 750 mm du sol	à 1000 mm du sol
PW500	1	430	725	184
	2	360-440	340	335
	3	360-400	365	385
PWX500	1	220	165	150
	2	224	160	124
	3	243	280	216
Ardoise Solesia	1	775		710
	2	730		690
Uni Solar	1	520	520	500
	2	326	408	500
Solar Composite	1	600-700		210
	2	285		240
	3	555		640

Tableau 8: Températures maximales mesurées au dos des panneaux photovoltaïques.

Les températures mesurées, données dans le Tableau 8, montrent que la contribution des panneaux photovoltaïques est plutôt faible. On constate que le système photovoltaïque avec des PV de type ardoise Solesia conduit à des températures mesurées plus élevées. Ceci est dû essentiellement à la contribution très importante des tasseaux en bois qui sont très rapprochés et qui sont, de plus, positionnés verticalement.

Ces niveaux de température, de l'ordre de 700 °C, montrent que le risque de propagation d'un incendie sur une charpente en bois d'une toiture est très élevé. Il est évident qu'en présence d'un support non-combustible, ou difficilement combustible, le risque serait bien plus faible.

Par conséquent, il est indispensable de réaliser d'autres essais pour ce type de panneau photovoltaïque avec d'autres types de supports afin de définir leur domaine d'utilisation. Les types d'essais nécessaires sont définis dans le chapitre 6 en fonction des exigences réglementaires pour chaque type de bâtiment.

5.3 ANALYSE DES RESULTATS DES ESSAIS DE RESISTANCE AU FEU – ESSAIS DE TOITURE ET DE VERRIERE

5.3.1 Liste des essais réalisés

Cinq types de panneaux photovoltaïques, testés au feu en conformité avec la norme XP ENV 1187 : "Méthodes d'essai pour l'exposition des toitures à un feu extérieur", ont été analysés. Tous les supports de la toiture sont en bois. La pente des éprouvettes est de 30°.

Les compositions des éprouvettes de ces essais sont les suivantes :

Type 1 : Module standard :

- cadre en bois
- attache en alu,
- tôle nervurée en aluminium avec un revêtement en sous face du type fibre de polyester,
- panneau photovoltaïque.

Le panneau photovoltaïque (PV) est constitué de :

- vitrage trempé d'épaisseur de 3,2 mm,
- intercalaire (encapsulant) EVA d'épaisseur de 0,4 mm,
- cellule monocristalline d'épaisseur de 0,20 à 0,22±0,02 mm,
- film polymère à base de PVF, PET, et EVA
- boîte de jonction électrique,
- cadre alu.

Type 2 : Module standard :

- cadre en bois
- tôle ondulée en aluminium,
- panneau photovoltaïque.

Le panneau photovoltaïque est constitué de :

- vitrage trempé d'épaisseur de 4 mm,
- intercalaire (encapsulant) EVA d'épaisseur de 0,5 mm,
- plaque de silicium d'épaisseur de 0,2 mm,
- encapsulant EVA d'épaisseur de 0,5 mm,
- peau intérieure PET et TEDLAR,

- boîte de jonction électrique,
- cadre alu.

Type 3 : Module standard :

- cadre en bois
- rails en aluminium,
- panneau photovoltaïque.

Le panneau photovoltaïque est constitué de :

- vitrage trempé d'épaisseur de 3,2 mm,
- intercalaire en résine EVA d'épaisseur de 0,2 à 1 mm,
- cellule en silicium polycristalline d'épaisseur de $0,23 \pm 0,04$ mm,
- intercalaire EVA d'épaisseur de 0,2 à 1 mm,
- film arrière en TEDLAR d'épaisseur de 0,17 mm,
- boîte de jonction électrique,
- cadre alu.

Type 4 : Module standard :

- cadre en bois
- écran de sous-toiture (fil anti-poussière) en polyéthylène d'épaisseur 0,4 mm
- traverses en bois sur lesquelles sont fixés les PV,
- panneau photovoltaïque.

Le panneau photovoltaïque est constitué de :

- vitrage trempé d'épaisseur de 4 mm,
- intercalaire en résine EVA d'épaisseur de 0,4 mm,
- cellule en silicium d'épaisseur de $0,20 \pm 0,04$ mm,
- intercalaire EVA d'épaisseur de 0,4 mm,
- film arrière en TEDLAR/PET/EVA d'épaisseur de 0,276 mm,
- boîte de jonction électrique,
- cadre "BAYFLEX" (composite moulé par injection autour d'une laminé photovoltaïque).

Il est à noter que les joints d'étanchéité entre les panneaux sont de type EPDM de section hors tout 53 x 23 (voir Figure 30).



Figure 30: Joint d'étanchéité entre deux panneaux.

Type 5: Module standard

- cadre en bois
- écran de sous-toiture (fil anti-poussière) en polyéthylène d'épaisseur 0,4 mm
- traverses en bois sur lesquelles sont fixés les PV,
- tôle nervuré,
- panneau photovoltaïque.

Le panneau photovoltaïque est constituée de :

- vitrage trempé d'épaisseur de 4 mm,
- intercalaire en résine EVA d'épaisseur de 0,4 mm,
- cellule en silicium d'épaisseur de $0,20 \pm 0,04$ mm,
- intercalaire EVA d'épaisseur de 0,4 mm,
- film arrière en TEDLAR/PET/EVA d'épaisseur de 0,276 mm,
- cadre "BAYFLEX" (composite moulé par injection autour d'une laminé photovoltaïque).

Il est à noter que les joints d'étanchéité entre les panneaux sont de type élastomère thermoplastique de section hors tout 62 x 24 (voir Figure 31).



Figure 31: Joint d'étanchéité entre deux panneaux.

5.3.2 Résultats observés

Il faut rappeler que ces éprouvettes sont soumises à un feu de deux brandons allumés de 28 grammes chacun, d'une ventilation à une vitesse de $3\pm 0,2$ m/sec et d'un rayonnement de $12,5$ kW/m².

En effet les cinq types d'éprouvettes testées sont constitués de modules standards. La différence entre eux réside principalement dans leur mise en œuvre.

Les essais des deux premiers types d'éprouvette montrent que les PV constitués de module standard (cadre en aluminium) posés sur des tôles métalliques ne présentent pas de danger pour la propagation d'un feu de l'extérieur vers l'intérieur d'un bâtiment.

Les essais de toiture du 3^{ème} type d'éprouvette conduisent également à un classement satisfaisant. En effet selon ces essais, ce type d'éprouvette ne présente pas de danger de propagation du feu dans un bâtiment via la toiture, même si les PV sont posés directement sur la charpente en bois de la toiture, sans présence de tôle au-dessous. La Figure 32 montre une vue de dessous, d'une éprouvette de type 3, sept minutes et 30 secondes après le démarrage de l'essai. On observe clairement la fusion des encapsulants au droit des flammes des brandons.



Figure 32: Vue de dessous d'une éprouvette de type 3 après 7 minutes et 30 secondes du démarrage de l'essai.

Les observations de cet essai nous permettent de conclure qu'au cas où un écran de sous-toiture en polyéthylène serait mis en œuvre au dessous des PV, le résultat de l'essai pourrait être différent.

On pourrait également avoir un résultat différent en situation de feu plus sévère. Les essais de réaction au feu, pour un feu légèrement plus sévère que celui des essais de toiture, ont mis en évidence des chutes de particules enflammées. Si ces chutes se produisaient en toiture dans le cas des éprouvettes de 3^{ème} type, une propagation rapide du feu pourrait se produire à l'intérieur du bâtiment.

Ce phénomène ne peut pas se produire pour les types 1 et 2, parce que la présence de tôle métallique au dessous des PV, même en aluminium, limite fortement la propagation du feu vers la structure de la toiture ou à l'intérieur du bâtiment.

La Figure 33 montre une vue de dessous d'une éprouvette de type 2, prise après l'essai de résistance au feu. Cette photo montre que même si dans ce cas le verre du PV n'est pas cassé, l'encapsulant du PV est partiellement brûlé. La présence de la tôle ondulée élimine évidemment la propagation du feu même si des gouttes enflammées tombaient sur elle. Si un écran de sous-toiture souple et inflammable était mis en œuvre, à la place de la tôle ondulée, le résultat de l'essai pourrait être négatif.



Figure 33: Vue de dessous du panneau photovoltaïque d'une éprouvette de type 2.

Les essais des éprouvettes du 4^{ème} type conduisent à des résultats négatifs. Ce type de configuration ne peut pas être utilisé dans les bâtiments d'habitation et les ERP. En effet la présence de joints EPDM alimente le feu initié par les brandons et ensuite le feu est transmis à l'intérieur de la toiture (Figure 34). Si ce type de PV était mis en œuvre sur des tôles ondulées la probabilité de propagation du feu à l'intérieur de la toiture est très faible.



Figure 34 : Vue de dessous d'une toiture sur laquelle a été installé une éprouvette de panneau photovoltaïque selon la configuration de type 4.

Les essais des éprouvettes du 5^{ème} type conduisent à des résultats satisfaisants. La différence entre ces éprouvettes et celles du 4^{ème} type réside dans le type de joint d'étanchéité placé entre les panneaux. Pendant ces essais il a été observé que le comportement au feu des joints de type élastomère thermoplastique est meilleur que celui de type EPDM.

Il faut toutefois noter que les observations effectuées après l'essai en sous face de la toiture démontre que l'écran de sous toiture a été percé par le flux reçu par la partie enflammée des panneaux (voir Figure 35).

On peut déduire qu'un flux plus important pourrait conduire facilement à l'inflammation de l'écran de sous toiture et ensuite de la charpente de la toiture.

Par conséquent même si le 5^{ème} type de panneau photovoltaïque est classé B_{roof} 30, il serait sécuritaire de ne pas l'utiliser dans les bâtiments de plusieurs étages.



Figure 35 : Vue de dessous d'une toiture sur laquelle a été installé une éprouvette de panneau photovoltaïque selon la configuration de type 5.

5.3.3 Essai de verrière

Une verrière résistante au feu de dimensions 3 m par 4 m est testée au feu en conformité avec la norme NF EN 1365-2 "Essais de résistance au feu des éléments porteurs, Partie 2 : Planchers et toitures". A la date de parution de ce rapport, les résultats ne sont pas disponibles. La description et les résultats seront fournis en annexe 5 de la prochaine version.

5.4 ESSAIS A GRANDE ECHELLE DE LA CONFIGURATION INDUSTRIELLE

5.4.1 Objectifs des essais

Après avoir évalué la réponse d'un échantillon de faible taille au calorimètre de Tewarson sans s'intéresser à sa capacité à maintenir une production de courant électrique, des essais à plus grande échelle ont été réalisés afin notamment de :

- Evaluer la propagation réelle des flammes sur la toiture qui est certifiée Broof(t3)
- Evaluer comment le signal électrique se dégrade en présence d'une flamme

- Evaluer si la présence de la flamme augmente la production d'électricité. Le protocole et les résultats sont présentés dans les deux paragraphes qui suivent.

5.4.2 Protocole

Deux tests ont été réalisés dans cette configuration avec les mêmes cellules PV. Le premier ne comportait que des cellules et le second comportait les mêmes cellules placées sur une étanchéité en bitume. Il est à noter que ce dernier échantillon a été fourni dans son intégralité par le fournisseur. La seule intervention de l'INERIS a consisté à l'instrumenter à l'aide de capteurs de températures et de fluxmètres. Les principales caractéristiques de ces essais sont données dans le tableau suivant.

Par ailleurs, l'agression thermique a été réalisée à l'aide d'une injection de gaz dans une boîte contenant du sable afin d'obtenir une flamme dont la puissance est maîtrisée au cours du temps ; et est donc reproductible.

Avec PV Unisolar seul	Avec système complet (PV + étanchéité en bitume)
<p>Une seule rangée Unisolar Posée sur de la laine de roche</p> <p>Pente de 5% (standard) Longueur 6 m Largeur 0.4 m</p>	<p>Deux rangées Unisolar Posée sur un bitume traité et de la laine de roche</p> <p>Pente de 5% (standard) Longueur 6 m Largeur 1 m : 2 x (0.4 m PV + 0.1 m de bitume)</p>
U, I et T et flux mesurés en continu	
Débit de propane : 4.8 g/s, ce qui donne une puissance de 200 kW environ qui produit une flamme peu fumigène d'une hauteur de 1 à 2 m	
Peu de vent et soleil « abondant »	
	

La configuration retenue pour les PV est très proche de celle rencontrée sur la toiture des entrepôts (pente faible, présence d'isolant en dessous du PV).

5.4.3 Résultats

Les résultats sont présentés par la suite en terme de comparaison entre les 2 différentes configurations sur le plan qualitatif et quantitatif (tension délivrée, température mesurée)

	Avec PV Unisolar seul	Avec système complet (PV + étanchéité en bitume)
Courant et tension mesurés		
On note une légère diminution de la puissance du courant délivré en raison de la destruction de quelques éléments		
Température mesurée sur les panneaux		
En raison de l'absence de propagation, des températures élevées n'ont été observées que sur le premier thermocouple. Ces températures ont été suffisantes pour détruire les cellules.		

		
	<p>La propagation est lente. C'est surtout le support qui brule</p>	<p>C'est le bitume qui s'avère le moins performant en termes de propagation</p>
		
		
	<p>Au final, seuls les deux premiers éléments sont atteints sur 22.</p>	<p>Les cellules ne contribuent pas au feu.</p>

En termes de réaction au feu, l'étanchéité (bitume) est moins performante que les cellules PV même si le bitume n'a que peu propagé le feu.

Les variations mesurées au niveau de la puissance électrique résultent à la fois de la destruction d'une partie des panneaux et de la présence de fumées qui ont réduit le flux solaire.

La puissance électrique délivrée est restée à un niveau relativement important.

Même en présence d'une étanchéité combustible à proximité, le produit s'est révélé très résistant dans cette configuration.

En utilisation industrielle, les PV couches minces (classé Broof(T3)) s'avèrent plus performants que l'étanchéité utilisée couramment sur le plan de la propagation au feu. **De ce point de vue, la présence de panneaux PV sur des entrepôts ne favorisera pas la propagation du feu.**

Côté intervention, ce caractère résistant constitue un handicap car les panneaux vont continuer à produire de l'électricité peut-être même après l'incendie sauf bien sûr si le feu se généralise à la totalité de la cellule.

5.5 ESSAIS SUR MAQUETTE HABITAT PARTICULIER

5.5.1 Objectifs des essais

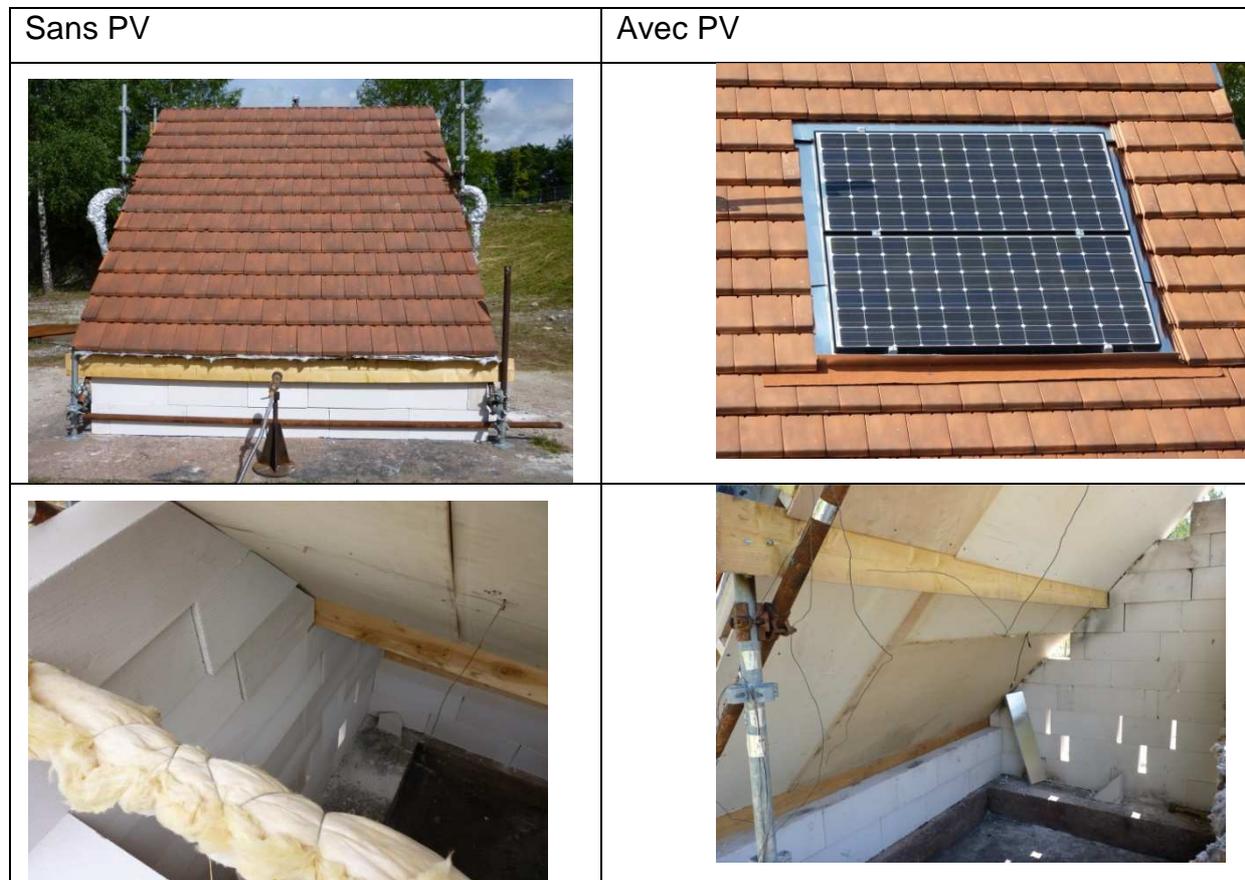
Pour l'essai de comportement au feu dans le cas d'une configuration type habitation particulier, les objectifs recherchés sont les suivants :

- Evaluer l'impact d'un incendie se développant au niveau de la toiture (court-circuit par exemple) sur les conditions de tenabilité dans les combles.
- Evaluer la résistance au feu du panneau installé lorsque ce dernier produit de l'électricité.

Pour ce faire, une partie de toiture a été construite en fermant la partie inférieure et en plaçant des thermocouples à l'intérieur de ce volume. La taille du volume est de 3 m par 3 m sur 3 m au point le plus haut. Tous les éléments de construction sont identiques d'un essai à l'autre (avec et sans panneau PV).

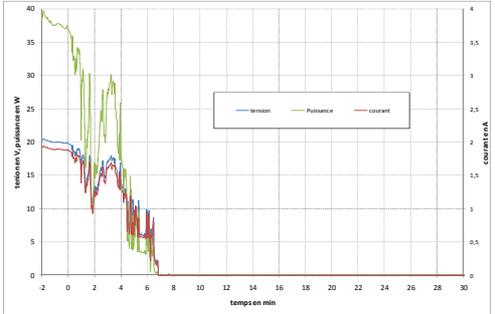
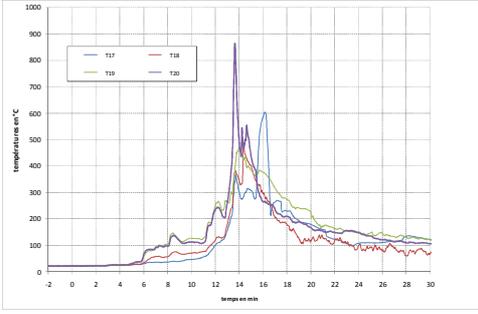
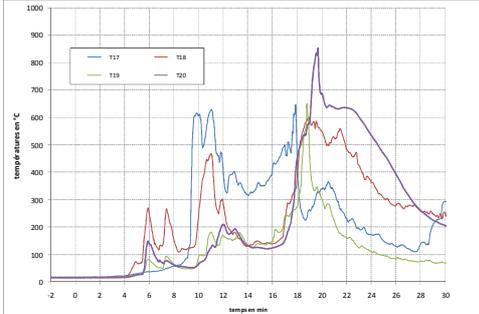
5.5.2 Protocole

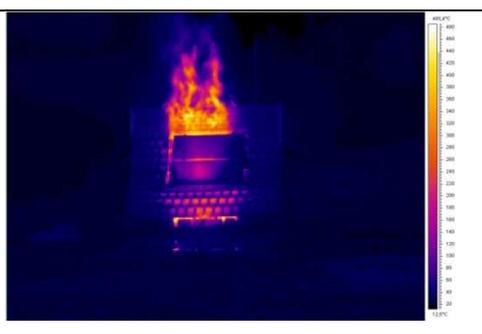
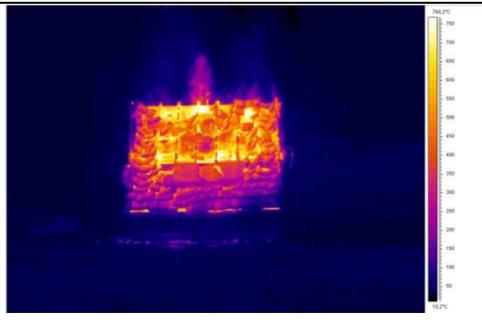
Les photos suivantes présentent la configuration de chacun des deux essais. Le brûleur a été appliqué pendant 120 s au niveau de la « gouttière ».





5.5.3 Résultats

	Sans PV	Avec système complet (PV + étanchéité)
Courant et tension mesurés	Non pertinent	
Température mesurée dans les « combles »		
	Sans panneau : 50°C au bout de 11 minutes	Avec panneau : 50°C au bout de 6 minutes
		

		
		
<p>Caméra infrarouge</p>		
		
		

La présence du panneau a eu un rôle négatif sur les températures observées à l'intérieur des « combles », des températures critiques pour les personnes ont été atteintes plusieurs minutes (5 minutes) plus tôt lorsqu'il y avait un panneau.

Ce comportement est dû exclusivement au fait que l'étanchéité utilisée était combustible (matériel recommandé par le fournisseur). Ceci signifie très clairement que les préconisations ne doivent pas être limitées au panneau PV lui-même mais à l'ensemble du dispositif modifiant l'installation existante.

Côté intervention, la puissance délivrée par les panneaux a chuté très rapidement au fur et à mesure de la dégradation des cellules. Le risque associé à ce type de panneau est donc moindre. En revanche de nombreux morceaux de verre sont tombés du toit comme le montre les photos suivantes :



5.6 ESSAIS EN LIEN AVEC L'INTERVENTION DES SERVICES DE SECOURS

Dans le cadre de cette étude, aucun essai spécifique n'a été réalisé dans la mesure où de nombreux travaux ont été réalisés par les services de secours eux-mêmes.

Il est à noter par exemple qu'un des résultats de ces tests a mis en évidence que l'éclairage artificiel utilisé par les services de secours en intervention nocturne n'entraînait pas de production d'électricité au niveau des systèmes de PV.

6. ELABORATION D'UN CAHIER DE RECOMMANDATIONS EN FONCTION DES DIFFERENTES IMPLANTATIONS :

Ce chapitre présente les différentes recommandations formulées par le CSTB et l'INERIS en vue de l'implantation de panneaux PV sur des bâtiments industriels ou non.

Ce chapitre comporte 5 paragraphes qui traitent respectivement de recommandations :

1. d'ordre général soit parce qu'elles s'appliquent à toutes les configurations d'implantation soit parce qu'elles s'appliquent à tous les systèmes PV,
2. pour les implantations en façade,
3. pour les implantations en toiture,
4. pour les équipements électriques,
5. pour faciliter l'intervention.

Le dernier paragraphe porte plus précisément sur les tests à réaliser pour tous les nouveaux systèmes.

6.1 ELEMENTS D'ORDRE GENERAL

Indépendamment de la configuration de l'implantation, il peut être estimé que :

1. Les panneaux photovoltaïques (PV) composés des modules standards, mis en œuvre avec des cadres métalliques ou des matériaux difficilement inflammables (classé au plus B-s3,d0 ou M1) et non déformables, ne contribuent que faiblement au développement du feu.
2. Lorsque les panneaux photovoltaïques sont intégrés au bâti, la meilleure conception pour éviter le risque de démarrage d'un incendie, causé par un court circuit électrique, est d'éviter le contact direct des panneaux photovoltaïques avec une structure ou écran facilement inflammable.

Indépendamment du système PV considéré, il peut être estimé que :

3. La mise en œuvre en couverture, des panneaux photovoltaïques en surimposition (au dessus des éléments de couverture existants), ne présente pas de danger en situation d'incendie, quelque soit le type de couverture.
4. Le système photovoltaïque lorsqu'il remplace un élément d'enveloppe du bâti génère plus de risques (effet de « couvercle », court-circuit, effondrement du panneau) que lorsqu'il est surimposé en cas d'incendie à l'intérieur du bâtiment.
5. La mise en œuvre en couverture, des panneaux photovoltaïques composés de modules standards en remplacement des éléments de la couverture

(tuiles par exemple) avec des éléments interposés tôles (en acier ou en aluminium) ondulées ou nervurées en dessous (placées directement sur la charpente/structure de la couverture), ne présente pas de danger en situation d'incendie externe, quelque soit le type de structure porteuse de la couverture.

6. Dans tous les cas, la mise en œuvre des PV sur un bâtiment existant exige la vérification de la stabilité à froid du bâtiment.

6.2 ELEMENTS CONCERNANT L'INSTALLATION EN FAÇADE

Pour toutes les installations autres qu'industrielles, il peut-être estimé que :

7. La mise en œuvre de tout type de PV sur des parois en béton ou sur des bardages métalliques en acier ne présente pas de danger en situation d'incendie. En effet, la contribution énergétique des PV est suffisamment faible pour ne pas affecter la résistance au feu de ces éléments de construction.

Il faut toutefois veiller à éviter l'effet de cheminée au dos des PV. Pour éviter cet effet cheminée les solutions techniques données dans l'IT 249 peuvent être utilisées, quelque soit le type de bâtiment.

8. Au cas où les panneaux photovoltaïques sont installés sur des parois, ou des bardages métalliques, il faut prendre en compte leur charge mécanique apportée. (cf. point 6 précédent).
9. La mise en œuvre en façade, de panneaux photovoltaïques qui respectent les exigences réglementaires relatives à la réaction au feu, doit éviter les chutes de particules enflammées (d0).
10. La mise en œuvre de panneaux photovoltaïques, sur des façades pour lesquelles la règle du C+D est exigée, doit respecter les exigences réglementaires en prenant en compte la contribution énergétique de ces panneaux.
11. La mise en œuvre en façade de panneaux photovoltaïques composés de bi-verre ne présente pas de risques particuliers en situation d'incendie.

Le cas particulier des brises soleil et des gardes corps

12. La mise en œuvre des panneaux photovoltaïques en brise soleil doit éviter la chute des gouttes enflammées. L'utilisation ou non d'un type de PV en brise soleil sera défini par le classement de réaction du PV par rapport aux chutes de gouttes enflammées, mais également par son classement vis-à-vis des exigences concernant les revêtements de façade. De plus, la

contribution énergétique des brises soleils sur la façade sera prise en compte telle que définie dans la réglementation respective au bâtiment ou les brises soleils sont installées.

13. La mise en œuvre des panneaux photovoltaïques en garde corps doit éviter la chute des gouttes enflammées. L'utilisation ou non d'un type de PV en garde corps sera défini par le classement de réaction au feu du PV par rapport aux chutes de gouttes enflammées, mais également par son classement vis-à-vis des exigences concernant les revêtements de façade. De plus, la contribution énergétique des garde corps sur la façade sera prise en compte telle que définie dans la réglementation respective au bâtiment ou les garde corps sont installés. La mise en œuvre des panneaux photovoltaïques en garde corps en premier lieu doit assurer son rôle de stabilité mécanique à froid.

Concernant les Installations Classées (IC)

14. La mise en œuvre de panneaux photovoltaïques sur les façades des installations classées doit respecter les exigences réglementaires par rapport à la réaction au feu. A ce titre, ils doivent être A2-s1,d0.

6.3 ELEMENTS CONCERNANT L'INSTALLATION EN TOITURE

Concernant l'installation de panneaux PV en toiture, pour toutes les installations autres que classées, il peut être estimé que :

15. La mise en œuvre des panneaux photovoltaïques sur support en terrasse ou couverture ne présente pas de risque si le revêtement de la couverture/terrasse est classé jusqu'à B-s3,d0 sinon, un essai de résistance au feu selon la norme XP ENV 1187 est nécessaire.
16. La mise en œuvre des panneaux photovoltaïques de type film sur support métallique sur des couvertures de pente inférieure à 30° ne présente aucun risque quelque soit le type de la couverture si elle-même respecte déjà les exigences réglementaires.

Concernant les Installations Classées IC

17. La mise en œuvre de panneaux photovoltaïques sur les couvertures des installations classées ne présente pas de risque supplémentaire en situation d'incendie si l'ensemble de la toiture (éléments de support, isolant et étanchéité et système PV) satisfait la classe et l'indice Broof (t3).

De façon générale, les solutions techniques à éviter en toiture sont :

18. la mise en œuvre directe, sur une charpente en bois équipée d'un écran de sous-toiture de composition organique, de :
 - a. PV constitué de cadres et joints en EPDM ou en matériaux facilement inflammables (non classé M1).
 - b. PV constitué de module standard ou composite difficilement combustible (B-s3,d0, ou M1), sans essai concluant selon la norme XP ENV 1187
 - c. PV constitué de film photovoltaïque, sans essai concluant selon la norme XP ENV 1187
19. la mise en œuvre de PV de type film photovoltaïque sur des toitures de pente supérieure à 30°.
20. la mise en œuvre de joints d'étanchéité facilement inflammables. Leur classement de réaction au feu doit être M0 ou M1, A2-s1,d0 ou au plus B-s3,d0.
21. les écrans de sous-toiture (couverture) qui s'enflamment facilement par un court circuit électrique.

6.4 ELEMENTS RELATIFS AUX EQUIPEMENTS ELECTRIQUES

22. La mise en œuvre des installations (onduleurs, câbles, ...) doit être conforme à la norme NFC 15100 et UTE C15-71261. Sa conformité fera l'objet d'une vérification par le consuel.
23. La mise en œuvre de matériels électriques (boîte de connexion, câbles, onduleurs, etc.) doit être conforme à des normes en vigueur. Les câbles doivent être de catégorie C2 et les installations ne doivent comporter que des canalisations fixes.
24. La mise en œuvre des câbles entre les PV et l'onduleur doit être effectuée dans des cheminements techniques protégés en situation d'incendie :
 - a. Ces cheminements doivent assurer un degré de coupe feu identique à celui de la stabilité au feu du bâtiment, ou sinon avec un minimum de 30 minutes (I30).
 - b. Ces cheminements ne doivent pas traverser les locaux à risque particuliers.
 - c. Les traverses des câbles et des chemins de câbles doivent être protégées (calfeutrées) pour assurer au minimum une durée de résistance au feu identique à celle de la paroi traversée.

25. La mise en œuvre des onduleurs doit être réalisée dans un volume au plus près des modules photovoltaïques, qui ne doit pas être accessible ni au public ni au personnel occupants non autorisés. La mise en sécurité de ce volume doit être réalisée en conformité avec la réglementation de mise en sécurité des locaux de service électrique du type du bâtiment concerné.
26. La mise en œuvre, pour les chemins de câbles, de conduits, de profilés, de goulottes et de cache-câbles, non propagateur de la flamme suivant leur norme en vigueur.
27. La mise en œuvre de connecteurs débrochables ou à blocage rotatif est à privilégier.
28. La mise en œuvre de système qui permette le fonctionnement des installations de sécurité lors d'un incendie :
 - a. système de coupure de type thermo fusible qui se déclenche à une température de l'ordre de 250°C,
 - b. système d'un interrupteur de secours positionné près des PV et qui peut être actionné à distance.

Certaines solutions techniques à éviter

29. Il faut éviter d'installer des canalisations électriques dans les mêmes gaines que les canalisations de gaz sauf si elles répondent aux prescriptions réglementaires en vigueur pour chaque type de bâtiment.

6.5 ELEMENTS RELATIFS A L'INTERVENTION

Manquent à ce jour les tests relatifs à l'impact d'un objet contendant sur un panneau PV lorsque ce dernier produit de l'électricité.

Concernant la signalisation, il faut retenir les points suivants :

30. La mise en œuvre de signalisations qui montrent l'emplacement des onduleurs afin de faciliter l'intervention des secours.
31. La mise en œuvre de pictogrammes dédiés aux risques photovoltaïque :
 - a. A l'extérieur du bâtiment à l'accès des secours,
 - b. Aux accès aux volumes et locaux abritant les équipements techniques relatifs à l'énergie photovoltaïque,
 - c. Sur les câbles DC tous les 5 mètres.
32. La mise en œuvre de signalisations qui montrent l'emplacement des onduleurs afin de faciliter l'intervention des secours.

33. La mise en œuvre de consignes de protection contre l'incendie sur lesquels sont indiqués la nature et les emplacements des installations photovoltaïques (façade, couverture, fenêtre, garde corps etc.).

Concernant l'accessibilité en toiture :

34. La mise en œuvre des panneaux photovoltaïques sur toute la surface d'une couverture doit prévoir des passages d'accès à la toiture pour les services de secours et les services de maintenance :

- a. Pour les bâtiments d'habitation, les ERP et les IGH la largeur des passages doit être supérieure ou égale à 900 mm. Ces passages seront situés sur la structure porteuse de la toiture (sur le faîtage du bâtiment) et sur la périphérie. Pour des bâtiments de grande longueur un passage intermédiaire doit être ajouté tous les 40 mètres.
- b. Pour les centres commerciaux de longueur supérieure à 75 m la largeur des passages doit être supérieure ou égale à 2400 mm et ils doivent être situés au niveau des éléments porteurs de la structure de la couverture.
- c. Pour les centres commerciaux de longueur inférieure à 75 m la largeur des passages doit être supérieure ou égale à 1200 mm et ils doivent être situés au niveau des éléments porteurs de la structure de la couverture.
- d. Pour tout type de centre commercial le passage périphérique doit être de largeur de 1800 mm et des passages intermédiaires tous les 40 m doivent être prévus.
- e. Pour tout type de bâtiment un passage de largeur de 1200 mm doit être prévu pour accéder aux exutoires de désenfumage.

6.6 PROCEDURE DE LA DEFINITION DES PERFORMANCES EN SITUATION D'INCENDIE DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES

Pour la validation des panneaux photovoltaïques aptes à être utilisés sur différentes parties d'un bâtiment il est indispensable de réaliser :

1. Des essais selon la norme NF EN 13501-1, NF EN13823 et NF EN ISO 11925-2 qui permettent de :
 - a. définir leur classement par rapport à la réaction au feu,
 - b. définir l'apport énergétique du panneau photovoltaïque,
 - c. observer son comportement au feu (développement rapide ou non du feu, verticalement ou horizontalement, chute de particules enflammées ou non etc.).

Pour rappel le classement relatif à la réaction au feu des éléments posés en façade ou en couverture doit respecter les exigences réglementaires en vigueur.

2. Des essais selon la norme NF EN ISO 1716 afin de définir le pouvoir calorifique supérieur des composants du panneau photovoltaïque.
3. Des essais de toiture selon la norme XP ENV 1187 qui permettent d'identifier le risque de propagation d'un feu de l'extérieur vers l'intérieur d'un bâtiment via la toiture. Pour rappel cette norme est utilisée en France pour la définition de la résistance au feu des toitures de tous les types de bâtiment.

Il est également indispensable de définir, selon la norme NF EN ISO 1716, le pouvoir calorifique supérieur (PCS) de tous les composants de panneaux photovoltaïque (du PV lui-même, mais aussi celui du boîtier et des câbles branchés dans son dos). Ceci permettra de calculer la masse combustible apportée par l'ensemble du PV. Sa connaissance est particulièrement indispensable pour les façades pour lesquelles l'application de la règle du C+D est exigée.

Pour s'assurer de l'absence d'impact toxique sur l'environnement en cas d'incendie d'une grande surface de panneaux PV, il est nécessaire de caractériser les fumées de combustion des modules et d'en déterminer la concentration en substances toxiques.

6.7 SYNTHÈSE DES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

Le tableau suivant reprend toutes les exigences réglementaires à satisfaire en fonction des bâtiments considérés et des propriétés des systèmes PV à implanter.

Domaine d'utilisation des systèmes photovoltaïques sur les façades et les couvertures des bâtiments de type : ERP, Habitation et IGH						
Classement réaction au feu par NF EN 13823		B-s1,d0 (M1)	C-s3,d1 (M2)	D-s2,d0 (M3)	D-s2,d2 (M4)	E,d2 (M4)
Type de bâtiment	Emplacement des systèmes photovoltaïques	Les articles CO 17, CO 20 et CO 21 : concernent les ERP, doivent être respectés Les articles 12, 13, 14 et 15 : concernent les bâtiments d'habitation, doivent être respectés L'article GH 14 : concernent les IGH, doit être respecté Oui : utilisation sans restriction Non : interdiction d'utilisation				
ERP	Façade avec exigence C+D	CO 20 + CO 21	CO 20 + CO 21	CO 20 + CO 21	Non	Non
	Façade sans exigence C+D	Oui	Oui	Non	Non	Non
	Couverture (classe et d'indice de propagation)	CO 17	CO 17	CO 17	CO 17	CO 17
Habitation	Façade de 1 ^{ère} et 2 ^{ème}	Oui	Oui	Oui	Article 12	Article 12
	Façade de 3 ^{ème} et 4 ^{ème}	Oui	Articles 13 et 14	Articles 13 et 14	Non	Non
	Couverture avec support continue	Oui	Oui	Oui	Article 15	Article 15
	Couverture sans support continue (classe et d'indice de propagation)	Article 15	Article 15	Article 15	Article 15	Article 15
IGH	Façade avec exigence C+D	GH 12 + GH 13	Non	Non	Non	Non
	Façade sans exigence C+D	GH 12 + GH 13	Non	Non	Non	Non
	Couverture (classe et d'indice de propagation)	GH 14	GH 14	GH 14	GH 14	GH 14
Mêmes exigences réglementaires pour tous les types d'IC considérées dans cette étude						
IC	Façade	M0 ou A2-s1,d0				
	Couverture	Broof(t3)				

Tableau 9 : synthèse des exigences réglementaires pour tous les bâtiments considérés dans l'étude.

Pour mémoire, le classement de réaction au feu des différents types de systèmes PV considérés dans cette étude sont rappelés dans le tableau ci-après. Il est important de préciser que ces classements ont été obtenus pour les produits testés et que cela ne préjuge en rien du classement de l'ensemble des systèmes PV du même type.

Systeme PV teste dans le cadre cette etude	Classement en reaction au feu
Module bi-verre avec cellules polycristallines et cadre aluminium	B-s1,d0 (M1*)
Module standard avec cellules polycristallines et cadre composite	C-s3,d1 (M2*)
Module standard avec cellules polycristallines et cadre aluminium	D-s2,d0 (M3*)
Ardoise avec cellules polycristallines sans cadre	D-s2,d2 (M4*)
Film photovoltaïque	E,d2 (M4*)
(*) Les classements M figurant entre parentheses dans ce tableau ont ete determine a l'aide du tableau de transposition (annexe 4 de l'arrete du 21 novembre 2002) et non experimentalement.	

Tableau 10 : rappel du classement en reaction au feu des systemes PV testes dans le cadre de cette etude

7. RÉFÉRENCES

Articles

R.W. Miles, K.M. Hynes, I. Forbes, "Photovoltaic solar cells: An overview of state-of-the-art cell development and environmental issues", *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 51 (2005), Pages 1-42.

Paul D. Moskowitz, Vasilis M. Fthenakis, "Toxic materials released from photovoltaic modules during fires: Health risks", *Solar Cells, Volume 29, Issue 1, June 1990*, Pages 63-71

Theocharis Tsoutsosa, Niki Frantzeskakib, Vassilis Gekasb, "Environmental impacts from the solar energy technologies" *Energy Policy* 33 (2005) Pages 289–296

P.D. Moskowitz, V.M. Fthenakis, L.D. Hamilton, J.C. Lee "Public health issues in photovoltaic energy systems: an overview of concerns", *Solar Cells, Volume 19, Issues 3-4, January 1987, Pages 287-299*

Calogine D., Weinberger B., Duplantier S. «Fire analysis of photovoltaic panels », 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2010

Ulrike Jahn, "Fire tests and fire risks" PERFORMANCE IP, Workshop BIPV, 30 October 2008, Nice, France

Quels risques pour les pompiers?, *Le Sapeur Pompier magazine N°1020*, Février 2010

Liang Ji International Photovoltaic Reliability Workshop II PV Fire: Experience and Studies Experience Studies Underwriters Laboratories Inc (UL) July 31, 2009 T A i. Tempe, Arizona, USA

BAROMÈTRE PHOTOVOLTAÏQUE SYSTÈMES SOLAIRES le journal du photovoltaïque N°1 – 2009

Nathalie VISTE, Fiche de visite d'inspection de l'Inspection des Installations Classées N/Réf. : UTE.2010.01.5022.NV.E1

Rapport d'essais de réaction au feu N° RA10-0371, selon la norme NF EN 13823 ET NF EN ISO 1716, CSTB, Novembre 2010.

Annexe 1 du rapport d'essais de réaction au feu N° RA10-0371, Graphiques SBI, CSTB, Novembre 2010.

Annexe 2 du rapport d'essais de réaction au feu N° RA10-0371, Photographies, CSTB, Novembre 2010.

Annexe 3 du rapport d'essais de réaction au feu N° RA10-0371, Courbes température, CSTB, Novembre 2010.

Rapport d'essais de résistance au feu N° RS10-127/A de toitures exposées à un feu extérieur, CSTB, Novembre 2010.

Textes réglementaires

Arrêté du 12 janvier 2010 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil telles que visées au 3° de l'article 2 du décret n°2000-1196 du 6 décembre 2000. Modifié par les arrêtés des 15 janvier 2010 et 16 mars 2010.

Arrêté du 31 janvier 1986, relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation

Arrêté du 25 juin 1980, relatif au règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public.

Arrêté du 18 octobre 1977, relatif au règlement de sécurité pour la construction des immeubles de grande hauteur et leur protection contre les risques d'incendie et de panique.

Arrêté du 10 septembre 1970, relatif à la classification des couvertures en matériaux combustibles par rapport au danger d'incendie résultant d'un feu extérieur

Cahier des Prescriptions Techniques communes 3560-V2 de mise en œuvre des systèmes d'isolation thermique de combles - Isolation thermique des combles : isolation en laine minérale faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Constat de Traditionalité de juin 2009.

Décret n°2010-301 du 22 mars 2010 modifiant le décret n°72-1120 du 14 décembre 1972 relatif au contrôle et à l'attestation de la conformité des installations électriques intérieures aux règlements et normes de sécurité en vigueur.

IT249 – Instruction Technique 249 relative aux façades

Normes, guides

CEI 61215 - Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre - Qualification de la conception et homologation (3ème tirage - 2009-02-01).

CEI 61646 - Modules photovoltaïques (PV) en couches minces pour application terrestre - Qualification de la conception et homologation des modules photovoltaïques en couche mince.

CEI 61730-1 et 2 : 2004 (01/10/2004) - Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) - Partie 1 : exigences pour la construction - Partie 2 : exigences pour les essais.

DTU 40.35 / NF P 34-205-1- Couverture en plaques nervurées issues de tôles d'acier revêtues de mai 1997.

DTU 43.1 / NF P 84-204-1-1 – Étanchéité des toitures-terrasses et toitures inclinées avec éléments porteurs en maçonnerie en climat de plaine de novembre 2004.

Guide pratique à l'usage des bureaux d'études et installateurs – Spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens dans les installations photovoltaïques raccordées au réseau » édité par l'ADEME et le SER en décembre 2008.

Guide UTE C 15-712 - Installations électriques à basse tension - Guide pratique - Installations photovoltaïques.

Inventaire des règlements de sécurité contre l'incendie applicables au photovoltaïque. Guide à l'usage des installateurs des bureaux d'études et des porteurs de projets, version du 18/06/2009.

Cahier du CSTB 3651-2 - Écrans souples de sous-toiture homologués.

NF C 14-100 : Installations de branchement à basse tension, 01 février 2008.

NF C 15-100 - Installations électriques à basse tension.

NF C 32-070 - Conducteurs et câbles isolés pour installations - Essais de classification des conducteurs et câbles du point de vue de leur comportement au feu (2ème tirage – 1er novembre 2004).

NF EN 61140 - Protection contre les chocs électriques - Aspects communs aux installations et aux matériels.

UL 1703 - UL Standard for Safety Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panel.

UTE 32-502 - Guide pour les câbles utilisés pour les systèmes photovoltaïques - Novembre 2008.

Guideline D.04 – Fire safety elements of solar photovoltaic systems.

Avis sur les mesures de sécurité à prendre en cas d'installation de panneaux photovoltaïques dans un établissement recevant du public, CCS du 5 novembre 2009.

EN 13501-1 – Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 1 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu.

EN 13823 – Essais de réaction au feu des produits de construction – Produits de construction à l'exclusion des revêtements de sol exposés à une sollicitation thermique provoquée par un objet isolé en feu.

EN ISO 1716 – Essais de réaction au feu des produits de construction – Détermination de la chaleur de combustion.

EN 11925-2 – Essais de réaction au feu – Allumabilité des produits de bâtiment soumis à l'incendie directe de la flamme – Partie 2 : essai à l'aide d'une source à flamme unique (ISO 11925-2-2002).

XP ENV 1187 - Méthodes d'essai pour l'exposition des toitures à un feu extérieur, avril 2003.

NF EN 1365-2 " Essais de résistance au feu des éléments porteurs, Partie 2 : Planchers et toitures", juin 2000.

8. LISTE DES ANNEXES

Annexe	Désignation précise	N°pages
1	Les systèmes de montage	33
2	Configurations critique et moins pénalisantes des systèmes photovoltaïques	5
3	Rapport d'essais de réaction au feu N°RA10-0371, selon la norme NF EN 13823 ET NF EN ISO 1716, CSTB, Novembre 2010.	
4	Rapport d'essai de résistance au feu N°RS10-127/A de toiture exposée à un feu extérieur, CSTB, Novembre 2010	
5	Rapport d'essai de résistance au feu N°RS10-xx d'une verrière, CSTB, Décembre 2010	

PREVENTION DES RISQUES ASSOCIES A L'IMPLANTATION DE CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES SUR DES BATIMENTS INDUSTRIELS OU DESTINES A DES PARTICULIERS

ANNEXE 1 : LES SYSTEMES DE MONTAGE

Demandeur de l'étude

MEEDDM
Grand Arche Paroi Nord
92055 PARIS LA DEFENSE
FRANCE

Convention 7252

CSTB-DER/EVALIE

Auteur	Vérificateur	Version	Date
Nadège BLANCHARD	Dhionis DHIMA	1	20/04/2010
			



Annexe - Fiche 1

Mise en œuvre en couverture inclinée **au dessus**
des éléments de couverture (surimposition ou apposition)

Couverture en petits éléments (tuiles ou ardoises)

Cette mise en œuvre consiste à placer les panneaux photovoltaïques au dessus de la couverture existante. Les termes de surimposition ou mise en apposition sont généralement utilisés. La fixation des panneaux photovoltaïques est réalisée sur des rails métalliques, eux-mêmes fixés sur des pattes de fixation, adaptées aux éléments de couvertures :

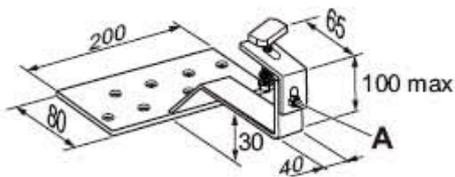


Figure F1/1 : Exemple de patte de fixation pour tuile mécanique (fixation sur chevrons)
-> acier inoxydable

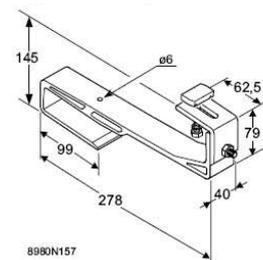


Figure F1/2 : Exemple de patte de fixation pour tuile mécanique (fixation sur planches supplémentaires, elles-mêmes fixées sur chevrons)
-> aluminium

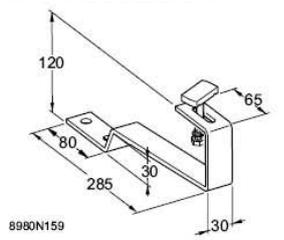


Figure F1/3 : Exemple de pattes de fixation pour tuile plate -> acier inoxydable

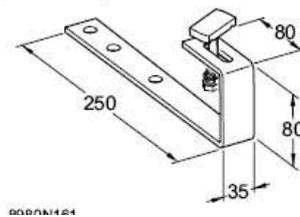


Figure F1/4 : Exemple de patte de fixation pour ardoises -> acier inoxydable

Leur fixation s'effectue soit sur les chevrons, soit sur des planches supplémentaires en retirant ponctuellement et momentanément les éléments de couvertures. Ces derniers sont ensuite reposés au dessus.

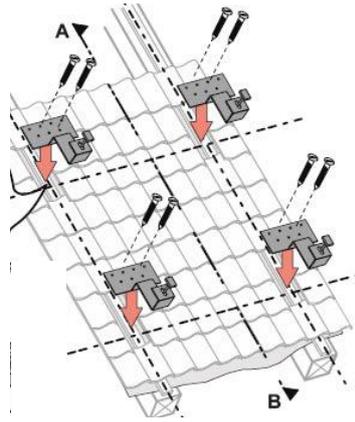


Figure F1/6 : Pose des pattes de pattes de fixation

Ces pattes de fixation accueillent ensuite des rails métalliques permettant la fixation des modules grâce à des fixations métalliques.

Couverture en plaques nervurées ou ondulées

Cette mise en œuvre consiste à placer les panneaux photovoltaïques au dessus de la couverture existante. Les termes de surimposition ou mise en apposition sont généralement utilisés. La fixation des panneaux photovoltaïques est réalisée sur des rails métalliques, eux-mêmes fixés sur des pattes de fixation adaptées aux éléments de couvertures :

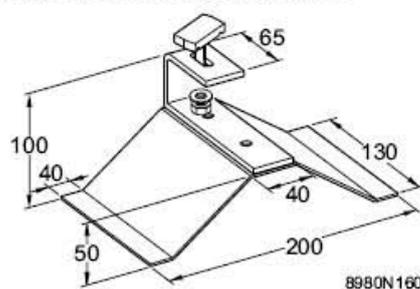


Figure F1/6 : Exemple de patte de fixation pour plaques nervurées issues de tôles d'acier revêtues - > acier inoxydable

La fixation de ces pattes s'effectue à l'aide de tiges filetées sur les chevrons de la toiture, au travers des plaques d'acier nervurées ou tôles ondulées.



Annexe - Fiche 2

Mise en œuvre en couverture inclinée sur **charpente bois** en remplacement de **tuiles ou d'ardoises**

GENERALITES

La mise en œuvre des systèmes photovoltaïques sur charpente bois en remplacement de tuiles ou d'ardoises est systématiquement réalisée au dessus d'un écran souple de sous-toiture souple, destiné à drainer les éventuels condensats générés en sous face des modules photovoltaïques jusqu'à l'égout.

Dans le cas de travaux neufs, la mise en œuvre de l'écran de sous-toiture est réalisée selon les préconisations du Cahier du CSTB 3651-2 dont les éléments utiles à cette étude sont rappelés ci-dessous.

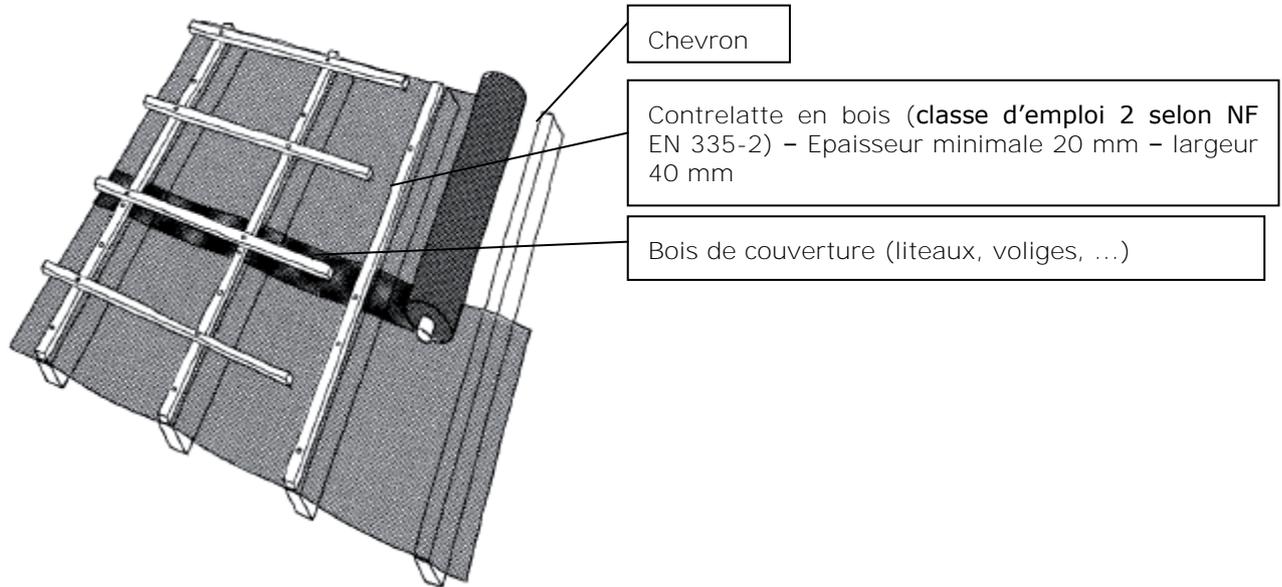
Dans le cas de travaux de rénovation, la mise en œuvre du système photovoltaïque nécessite l'ajout de cet écran de sous-toiture, soit sur la totalité du rampant installé selon les mêmes principes qu'en travaux neufs, soit exclusivement au droit du champ photovoltaïque.

La mise en œuvre d'un écran souple de sous-toiture se réalise selon l'un des principes suivants :

<p>Pose tendue sur support discontinu avec ventilation en sous-face de l'écran (comble perdu ventilé ou comble aménagé avec lame d'air ventilée entre l'isolant thermique de rampant et l'écran de sous-toiture).</p>		
<p>Pose sur support continu ventilé en sous-face (comble perdu ventilé ou comble aménagé avec lame d'air ventilée entre l'isolant thermique de rampant et le platelage).</p>		
<p>Pose tendue sur support discontinu sans ventilation en sous-face de l'écran (au contact de l'isolant thermique mis en œuvre conformément au e-Cahiers CSTB n° 3560 Isolation thermique des combles Isolation en laine minérale faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Constat de Traditionnalité).</p>		
<p>Légende</p>	<p>— Eléments de couverture</p> <p>— Ecran de sous - toiture</p> <p>.....> Lame d'air</p>	<p> Isolant thermique</p> <p> Pare-vapeur</p> <p> Platelage = support continu</p>

Figures F2/1 : Divers modes de mise en œuvre des écrans de sous toiture

L'isolation placée entre chevrons ou entre fermettes est réalisée avec de la laine de verre le plus souvent, laine de roche aussi, en épaisseur de 150 à 200 mm. Un guide CPT 3560/V2 du Groupe Spécialisé n° 20 récapitulatif de ces techniques est disponible sur http://tdb-atec.cstb.fr/fichiers/pdf_cpt/CPT_3560_V2.pdf.



Figures F2/2 : Description de la mise en œuvre d'un écran de sous toiture

Trois familles d'écrans souples de sous-toiture peuvent être distinguées :

- les bituminés qu'on peut ramener à une masse de bitume (280 g/m²) + une masse d'armature polypropylène (PP) ou polyéthylène téréphtalate (PET) (100 g/m²) et du talc (120g/m²)
 - > Pouvoir calorifique supérieur de l'ordre de 14 MJ/m²
- les écrans synthétiques, que l'on peut ramener à une masse de polypropylène (PP) ou polyéthylène (PE) d'environ 140 g/m².
 - > Pouvoir calorifique supérieur de l'ordre de 6 MJ/m².
- des écrans plus spécifiques, constitués de matériaux synthétiques à raison d'environ 300 g/m² sont également proposés.
 - > Pouvoir calorifique supérieur de l'ordre de 13 MJ/m².

Le tableau ci-dessous décrit plus précisément les écrans de sous-toiture souples sous Avis Techniques ou Homologation du CSTB :

Dénomination commerciale	Nature	Poids (g/m²)	Epaisseur (mm)
DELTA-FOL PVE	<ul style="list-style-type: none"> • Feuille PE-EVA (polypropylène vierge uniquement) • Armature polypropylène noire à maille serrées 11 fils/10 cm) • Non tissé polypropylène en fibres discontinues 	2 x 40 30 45	0,18 (sans l'armature)
Forst ATX Optimum Forst ATX Optimum N Forst ATX Optimum I	<ul style="list-style-type: none"> • Grille tissée de polypropylène • Feuilles de polyéthylène - 1ère feuille d'épaisseur 110 µm - 2ème feuille d'épaisseur 95 µm 	36 189	NC
Span-Flex® et Span-Alu®	<ul style="list-style-type: none"> • Film PE • Tissé en rubans de polypropylène • Film PE • Non Tissé en polypropylène • Feuille PET métallisée 	25 85 13 30 /	NC
Forst BTX Classic	<ul style="list-style-type: none"> • Armature polyester en g/m² ± 10 % en moyenne • Non tissé polypropylène en g/m² (présent sur les 2 faces) ± 10 % en moyenne • Bitume modifié par SBS + 10% en moyenne 	95 48 237	0,60 (± 5 % en moyenne ± 15 % en ponctuel)
Stamisol Eco	<ul style="list-style-type: none"> • Support non tissé polyester • Enduction polyacrylique 	90 ± 5 230 ± 15	NC
Stamisol DW	<ul style="list-style-type: none"> • Support non tissé polyester • Enduction polyacrylique 	115 ± 5 250 ± 15	NC
Delta-Vent S	<ul style="list-style-type: none"> • Non-tissé en polypropylène, plan, gris anthracite, avec une structure superficielle pointillée, non tissé PP en fibres discontinues • Feuille plane et lisse, fabriquée par procédé d'extrusion à filière plate, feuille PP • Non-tissé en polypropylène, plan, gris anthracite, avec une structure superficielle pointillée, non tissé PP en fibres discontinues 	70 30 40	0,4
Delta-Vent N	<ul style="list-style-type: none"> • Non-tissé en polypropylène, plan, gris anthracite, avec une structure superficielle pointillée, non tissé PP en fibres discontinues 	70	0,4

	<ul style="list-style-type: none"> • Feuille plane et lisse, fabriquée par procédé d'extrusion à filière plate, feuille PP • Non-tissé en polypropylène, plan, gris anthracite, avec une structure superficielle pointillée, non tissé PP en fibres discontinues 	30	
		20	
Permo Forte	<ul style="list-style-type: none"> • Voile supérieur non tissé polypropylène • Membrane PERMO® en polyéthylène • Grid (grille) en polypropylène • Voile inférieur non tissé et rubans de renfort polypropylène • Colle thermofusible hydrophobe 	80 32,5 32 20 11	0,87
FEL'X	<ul style="list-style-type: none"> • Non tissé polypropylène • Bitume élastomérique • Talc 	103 280 118	0,7
ESTB1	<ul style="list-style-type: none"> • Non tissé polypropylène • Bitume élastomérique • Talc 	103 280 118	0,7
ONDUTISS HDV R1	<ul style="list-style-type: none"> • Voile supérieur • Membrane • Voile intérieur 	60 30 12	0,38
ONDUTISS HDV R2	<ul style="list-style-type: none"> • Voile supérieur • Membrane • Voile intérieur 	70 30 70	0,60
FEL'X MULTI	<ul style="list-style-type: none"> • Non tissé • Bitume élastomérique • Armature polyester 	40 361 100	0,8
ONDUTISS SP	<ul style="list-style-type: none"> • Grille de polypropylène • Liant : bitume oxydé • Armature polyester 	25 125 100	0,7
ONDUTISS STD	<ul style="list-style-type: none"> • Anti adhérent 2 faces : talc • Bitume 	50 / 100 /50 150	0,7

MULTIVAP 200	<ul style="list-style-type: none"> • Face supérieure polypropylène verte • Couche centrale polypropylène • Face intérieure polypropylène blanche 	80 32 20	0,54
STRATEC II	<ul style="list-style-type: none"> • Film PP gris • Film PP HPV • Non tissé PP blanc 	70 25 50	0,60
STRATEC Réflex	<ul style="list-style-type: none"> • Non tissé PP réfléchissant (métallisation par dépôt chimique sous vide) • Film PP HPV • Non tissé PP gris 	50 25 70	0,60
DELTA® –FOL PVE	<ul style="list-style-type: none"> • Feuille plane et lisse, fabriquée par procédé d'extrusion à filière plate, feuille PE-EVA • Armature noire en polypropylène à maillage serré • Non tissé en polypropylène plan gris à fibres discontinues, avec une structure superficielle pointillée 	95 30 40	0,2
DELTA® – VITAXX et DELTA® –VITAXX PLUS	<ul style="list-style-type: none"> • Non tissé en polypropylène en fibres discontinues, plan, noir avec une structure superficielle pointillée • Feuille plane et lisse, fabriquée par procédé d'extrusion à filière plate, feuille polypropylène • Colle • Armature noire en polypropylène • Non tissé en polypropylène en fibres discontinues, plan noir avec une structure superficielle pointillée 	70 30 10 30 20	0,4
DUPONT™ TYVEK® TOITURE 60	<ul style="list-style-type: none"> • Tyvek 1580B/1589B PEHD de Basell • Colle UNEX EVA T2/MA de Dakota Coatings • SBPP Fleece (4 producteurs différents) 	82 16 50	0,42
DEF'X MULTI	<ul style="list-style-type: none"> • Non tissé polypropylène • Co-polymère • Armature 	30 135 35	0,25
DEF'X R1	<ul style="list-style-type: none"> • Film LDPE co-polymère • Co-polymère 	44 39	0,10

	<ul style="list-style-type: none"> • Armature 	17	
DEF'X R3T	<ul style="list-style-type: none"> • Film LDPE co-polymère • Co-polymère • Armature 	50 60 35	0,24
JUTADACH 150 R2	<ul style="list-style-type: none"> • Face supérieure polypropylène verte • Couche centrale polypropylène • Face inférieure polypropylène blanche 	90 32 27	0,60
JUTADACH MASTER	<ul style="list-style-type: none"> • Face supérieure polypropylène verte • Couche centrale polypropylène (blanche et grise) • HDPE grille • Adhésif • Face inférieure polypropylène blanche 	40 32 31 17 40	0,70
KORATECH ST 150	<ul style="list-style-type: none"> • Face supérieure polypropylène rouge • Couche centrale polypropylène • Face inférieure polypropylène noir 	90 32 27	0,60
KORATECH ST 160	<ul style="list-style-type: none"> • Face supérieure polypropylène rouge • Couche centrale polypropylène • HDPE grille • Adhésif • Face inférieure polypropylène noir 	40 32 31 17 40	0,70
PROTECT ZYTEC	<ul style="list-style-type: none"> • Non tissé polypropylène (bleu clair) • Film microporeux • Non tissé polypropylène (blanc) • Colle thermoplastique 	100 28 20 12	0,65
PROTECT VPTEC	<ul style="list-style-type: none"> • Non tissé polypropylène (bleu clair) • Film microporeux • Non tissé polypropylène (blanc) • Colle thermoplastique 	100 28 20 12	0,65

Tableau F2 : Ecrans de sous-toiture sous Avis Technique ou Homologation

Annexe - Fiche 2a

Mise en œuvre en couverture inclinée sur **charpente bois** en remplacement **de tuiles ou d'ardoises sans élément interposé** entre la charpente et le champ photovoltaïque

- **Pose sur support discontinu**

Le terme de support discontinu signifie d'aucun élément continu n'est installé en sous-face du champ photovoltaïque. Celui-ci repose par conséquent sur les chevrons et bois de couverture.

- Pose en partie courante



La mise en œuvre de ces systèmes en partie courante signifie que les modules photovoltaïques sont implantés en lieu et place des éléments de couverture mais que certains d'entre eux sont conservés autour du champ photovoltaïque.

Les éléments décrits ci-dessous reposent alors au dessus de l'écran souple de sous-toiture et sont fixés sur les bois de couverture (cf. ci-dessus), à savoir au minimum 20 mm au dessus de l'écran de sous-toiture.

Le schéma éclaté suivant (système PREMIUM de la société SCHUCO) est utilisé ici pour présenter le principe des systèmes généralement proposés. A ce titre, les éléments 10 et 11 ont été ajoutés à ce schéma. La nomenclature associée se veut générique afin de présenter les composants principaux du système de montage et, pour chacun d'entre eux, les alternatives pouvant être proposées par d'autres sociétés.

Exemple de closoir (système Watea de la société Photowatt) positionné en partie inférieure du champ photovoltaïque afin de permettre la ventilation des panneaux en sous face :

10

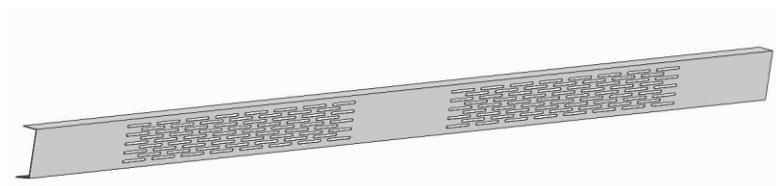


Figure F2a/1 : Closoir

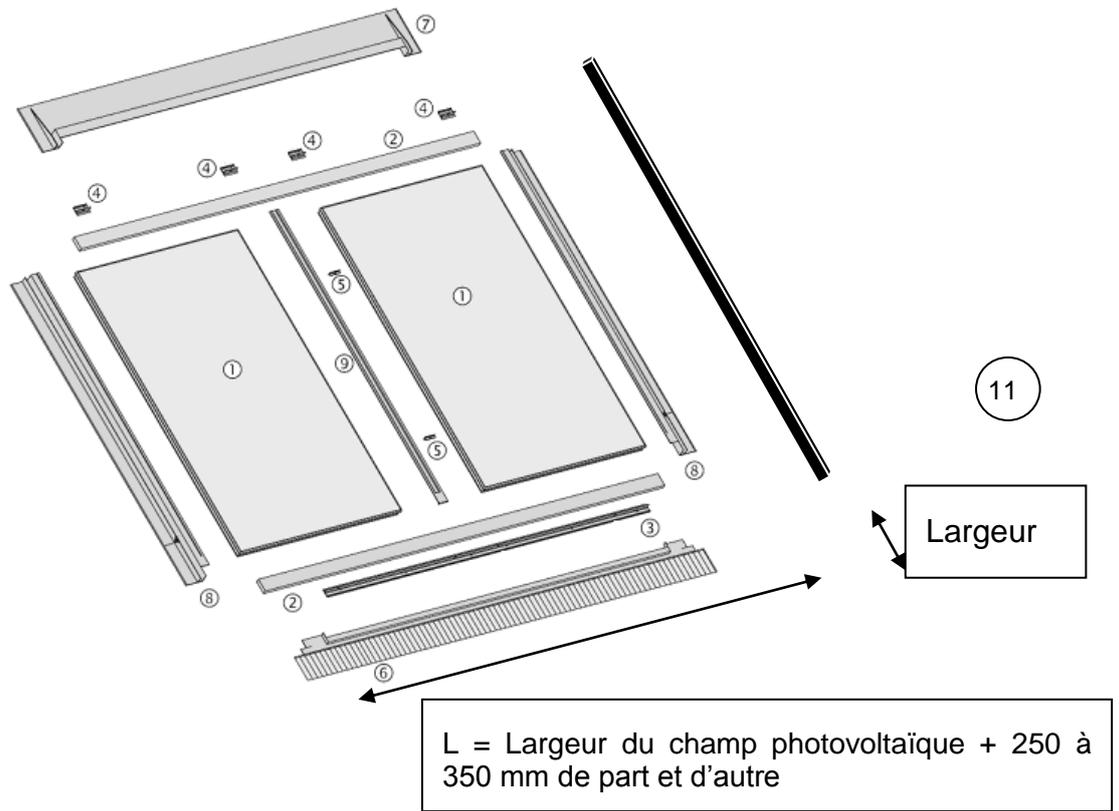


Figure F2a/2 : Schéma éclaté d'un champ photovoltaïque

	Nature	Caractéristiques
1 – Module photovoltaïque	Cf. annexe 1	
2 – Liteaux (planches) complémentaires au bois de couverture existants	Bois classe d'emploi 2 (selon NF EN 335-2) avec humidité inférieure à 20%	Epaisseur minimale : 18 mm Longueur : largeur du champ photovoltaïque Largeur : 50 à 100 mm
3 et 4– Modes de fixation inférieure et supérieure	Rails de fixation en aluminium	
	Fixation ponctuelle en : - acier inoxydable - aluminium + visserie en alliage métallique (acier inoxydable ou zinc/alu, ...)	
5 – Entretoises et 9 – Profilés inter-modules	Aluminium généralement EN AW 6060 T6	
6 – Bande d'étanchéité inférieure	Bande de zinc + « jupe plomb »	
	Bande de plomb plissé	Largeur : 150 à 350 mm Ep. : 0.5 à 2 mm Fusion à env. 327 °C
	Ubiflex : Poly Alpha Oléfines Amorphe et une grille de renfort étirable en aluminium pur à 99,5%.	Largeur = 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 ou 1000 mm Ep. : 3.5 mm Poids : 3,1 kg/m ² Tenue en t° : - 30 à 90°C
	Wakaflex : Polyisobutylène (PIB) armé d'une résille en aluminium souple et stabilisé – Bande latérale de butyle	Largeur : 140, 280 ou 560 mm Ep : 2.7 à 3 mm Poids : 3,1 kg/m ² Tenue en t° : - 40 à 100°

7 et 8– Raccordements supérieurs et latéraux aux éléments de couverture	<p>Acier galvanisé d'épaisseur généralement supérieure à 0.5 mm revêtu par exemple de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - polyester : 10 à 100 µm - polyuréthane 35 à 100 µm - polyfluorure de vinylidène (PVDF) : 35 à 60µm - polychlorure de vinyle (PVC) : 100 à 200 µm - film colaminé polyéthylène téréphtalate (PET) : 45 à 50 µm - film colaminé complexe polypropylène (PP)/ polyéthylène téréphtalate (PET) : environ 150 µm 	<p>Longueur : celle du champ photovoltaïque avec recouvrement entre eux, le cas échéant, d'au moins 100 mm</p> <p>Largeur > 500 mm</p>
	<p>Aluminium d'épaisseur généralement supérieure à 0.5 mm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - généralement EN AW 6060 T - Thermolaqué polyester sous label QUALICOAT: de 60 à 80 µm 	
10 - Closoir	Idem raccordements supérieurs et latéraux	<p>Longueur : largeur du champ photovoltaïque</p> <p>Hauteur > 20 mm</p>
11 – Bande de calfeutrement compressive (il s'agit de bande habituellement utilisée pour le calfeutrement entre encadrement de baie et dormant de la menuiserie)	Mousse de polyuréthane à cellules ouvertes modifié avec un imprégnant à base d'acrylate	Section d'environ 20 mm x 7 mm
12 – Joint inter-module (mis en œuvre sur la tranche des modules pour calfeutrement entre modules)	Mousse de polyuréthane à cellules ouvertes imprégné à cœur de résines synthétiques ininflammables	Section d'environ 20 mm x 7 mm
Tableau F2a : Composants des systèmes de montage en couverture inclinée sans interposition d'un élément entre la charpente et le champ photovoltaïque		

Un système proposé actuellement sur le marché se distingue des systèmes décrits ci-dessus par la fabrication en usine d'un cadre support monobloc destiné à recevoir un module photovoltaïque :

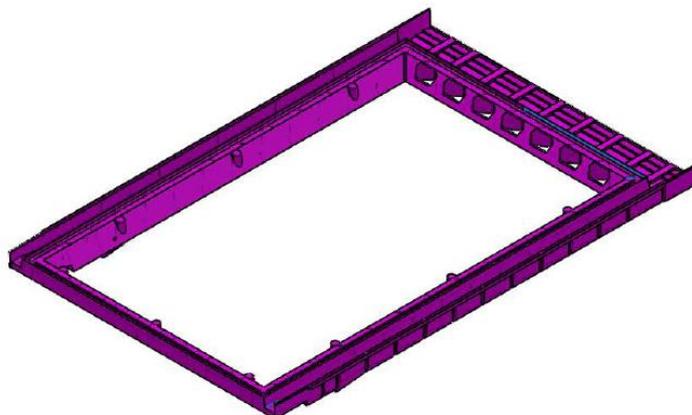


Figure F2a/3 : Exemple de cadre support monobloc de modules photovoltaïques

Ce cadre est composé en matériau composite DuPont™ Rynite®. L'étanchéité longitudinale est assurée par l'emboîtement des cadres entre eux alors que l'étanchéité transversale se fait au moyen de profilés extrudés en DuPont™ Rynite® qui, par clipsage, recouvrent et réunissent deux cadres entre eux. Le champ photovoltaïque est uni et étanchéifié avec le reste de la toiture traditionnelle par des abergements en acier galvanisé et des éléments de fixation en acier inoxydable sur les quatre côtés.

- Pose en couverture complète



La mise en œuvre de ces systèmes peut également être réalisée sur l'ensemble de la couverture (c'est-à-dire champ photovoltaïque mis en œuvre jusqu'à l'égout, faitage et rives du bâtiment).

Dans ce cas, la couverture ne présente aucune pénétration (cheminée, ...).

Les éléments constitutifs du pourtour du champ photovoltaïque décrits ci-dessus (bande d'étanchéité inférieure, raccords supérieurs et latéraux, closoir) ne font alors plus partie du système.

Annexe - Fiche 2b

Mise en œuvre en couverture inclinée sur **charpente bois** en remplacement de **tuiles ou d'ardoises sans élément interposé** entre la charpente et le champ photovoltaïque

- **Pose sur support continu**

Le terme de support continu signifie qu'un platelage/voligeage en bois massif d'épaisseur minimale 18 mm, formant une surface continue, est installé sur les chevrons entre les bois de couvertures. L'écran souple de sous toiture est alors placé au dessus de ce platelage/voligeage.

- Pose en partie courante



La mise en œuvre de ces systèmes en partie courante signifie que les modules photovoltaïques sont implantés en lieu et place des éléments de couverture mais que certains d'entre eux sont conservés autour du champ photovoltaïque.

La mise en œuvre au dessus de ce platelage/voligeage ne diffère ensuite pas de celle décrite dans la fiche précédente (fiche 2a/partie courante).

- Pose en couverture complète



La mise en œuvre de ces systèmes peut également être réalisée sur l'ensemble de la couverture complète (c'est-à-dire champ photovoltaïque mis en œuvre jusqu'à l'égout, faîtage et rives du bâtiment).

Dans ce cas, la couverture ne présente aucune pénétration (cheminée, ...).

Cette mise en œuvre ne diffère de la fiche 2a/couverture complète que par la présence, en sous face de l'écran de sous-toiture, d'un support continu en bois massif d'épaisseur minimale 18 mm.

Annexe - Fiche 2c

Mise en œuvre en couverture inclinée sur **charpente bois** en remplacement de **tuiles ou d'ardoises avec élément interposé** entre la charpente et le champ photovoltaïque

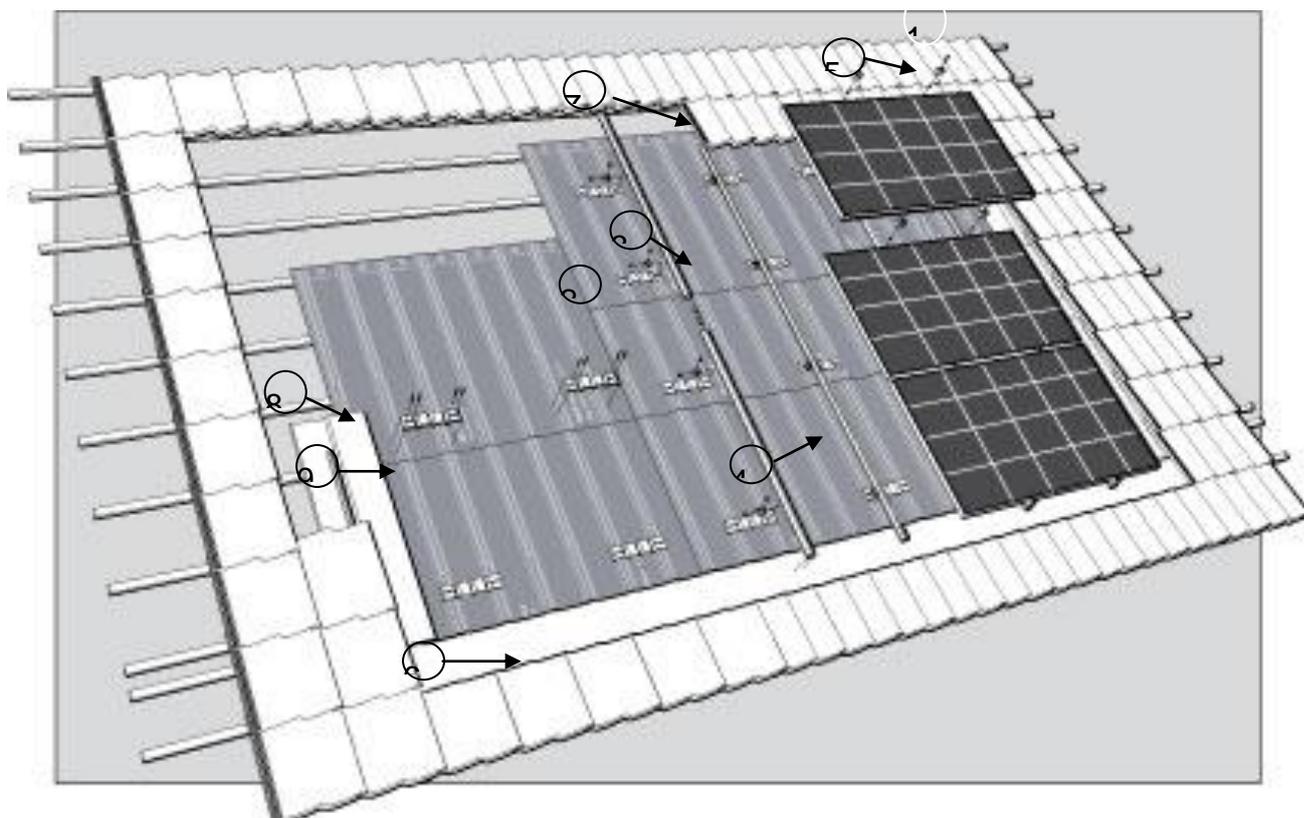
- Pose en partie courante



La mise en œuvre de ces systèmes en partie courante signifie que les modules photovoltaïques sont implantés en lieu et place des éléments de couverture mais que **certains d'entre eux** sont conservés autour du champ photovoltaïque.

La mise en œuvre du système est réalisée directement sur la structure porteuse, isolée ou non, sans présence d'écran de sous-toiture. Les « bacs » supports interposés entre la charpente et le champ photovoltaïque peuvent être de natures différentes (cf. tableau ci-après).

Le schéma éclaté suivant (système InterSole SE de la société Renusol Solar Mounting Sytem) est utilisé ici pour présenter le principe des systèmes généralement proposés. La nomenclature associée se veut générique afin de présenter les composants principaux du système de montage et, pour chacun d'entre eux, les alternatives pouvant être proposées par d'autres sociétés.



	Nature	Caractéristiques (mm)
1 – Module photovoltaïque	Cf. annexe 1	
2 – Élément interposé	Plaques nervurées traditionnelles selon DTU 40.35 issues de tôles d'acier galvanisé revêtu par exemple de : <ul style="list-style-type: none"> - polyester : 10 à 100 µm - polyuréthane 35 à 100 µm - polyfluorure de vinylidène (PVDF) : 35 à 60 µm - polychlorure de vinyle (PVC) : 100 à 200 µm - film colaminé polyéthylène téréphtalate (PET) : 45 à 50 µm - film colaminé complexe polypropylène (PP)/ polyéthylène téréphtalate (PET) : environ 150 µm 	
	Plaque Aluzinc® (55% aluminium / 43.6 % zinc/1.6% silicium)	
	Plaque en matériau de synthèse	Ex : Polyéthylène haute densité (PEHD) <ul style="list-style-type: none"> - masse volumique : environ 1.04 kg/m² - réaction au feu selon EN 13501-1 : 2002 : E
	Voligeage en bois + membrane polymère	Ex : OSB 3 / Triply d'épaisseur mini 18 mm + tissu polyester enduction PVC d'épaisseur de l'ordre de 0.5 mm, présentant une tenue à la chaleur à 70° C pendant 24 h)
3 – Cavaliers d'accueil des rails de fixation modules	Fixation ponctuelle (type cavaliers) en : <ul style="list-style-type: none"> - acier inoxydable - acier prélaqué polyfluorure de vinylidène aluminium + Equerre + Rondelle d'étanchéité en élastomère rigide selon NF P 85-301 + visserie en alliage métallique (acier inoxydable ou zinc/alu, ...)	<ul style="list-style-type: none"> - Epaisseur acier > 0.5 mm - Epaisseur revêtement > 25 microns
4 – Rails de fixation des modules	Rails en : <ul style="list-style-type: none"> - acier inoxydable - aluminium + visserie en alliage métallique (acier inoxydable ou zinc/alu, ...)	
5 – Fixation ponctuelle des	Bride en acier inoxydable	

modules sur les rails	+ visserie en alliage métallique (acier inoxydable ou Aluzinc [®] , ...)	
6 – Bande d'étanchéité inférieure	Bande de zinc + « jupe plomb »	
	Bande de plomb plissé	Largeur : 150 à 350 mm Ep. : 0.5 à 2 mm Fusion à env. 327 °C
	Ubiflex : Poly Alpha Oléfines Amorphe et grille de renfort étirable en aluminium pur à 99,5%.	Largeur = 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 et 1000 mm Ep. : 3.5 mm Poids : 3,1 kg/m ² Tenue en t° : - 30 à 90°C
	Wakaflex : Polyisobutylène (PIB) armé d'une résille en aluminium souple et stabilisé – Bande latérale de butyle	Largeur : 140, 280 ou 560 mm Ep : 2.7 à 3 mm Poids : 3,1 kg/m ² Tenue en t° : - 40 à 100°C
7 et 8 – Raccordements supérieurs et latéraux aux éléments de couverture	Acier galvanisé d'épaisseur généralement supérieure à 0.5 mm revêtu par exemple de : - polyester : 10 à 100 µm - polyuréthane 35 à 100 µm - polyfluorure de vinylidène (PVDF) : 35 à 60 µm - polychlorure de vinyle (PVC) : 100 à 200 µm - film colaminé polyéthylène téréphtalate (PET) : 45 à 50 µm - film colaminé complexe polypropylène (PP)/ polyéthylène téréphtalate (PET) : environ 150 µm	Longueur : celle du champ photovoltaïque avec recouvrement entre eux, le cas échéant, d'au moins 100 mm Largeur > 500 mm
	Aluminium d'épaisseur généralement supérieure à 0.5 mm : - généralement EN AW 6060 T - Thermolaqué polyester sous label QUALICOAT: de 60 à 80 µm	
9 – Profilés inter-modules	Aluminium	
10 - Closoir	Idem raccordement supérieurs et latéraux	Longueur : largeur du champ photovoltaïque Hauteur > 20 mm
Tableau F2c : Composants des systèmes de montage en couverture inclinée avec interposition d'un élément entre la charpente et le champ photovoltaïque		

- Pose en couverture complète



Source : <http://www.3i-plus.com>

La mise en œuvre de ces systèmes peut également être réalisée sur l'ensemble de la couverture complète (c'est-à-dire champ photovoltaïque mis en œuvre jusqu'à l'égout, faitage et rives du bâtiment).

Dans ce cas, la couverture ne présente aucune pénétration (cheminée, ...).

Les éléments constitutifs du pourtour du champ photovoltaïque décrits ci-dessus (bande d'étanchéité inférieure, raccordements supérieurs et latéraux, closoir) ne font alors plus partie du système.

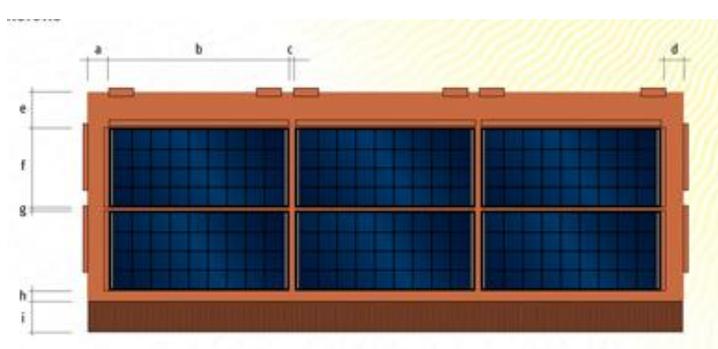
Annexe - Fiche 2d

Mise en œuvre en couverture inclinée sur **charpente bois** en remplacement de **tuiles** « **Tuiles photovoltaïques** »

Certains systèmes sont des éléments préfabriqués en usine associant un support et un (des) module(s) photovoltaïque(s). Ces éléments, généralement appelés « tuiles photovoltaïques »

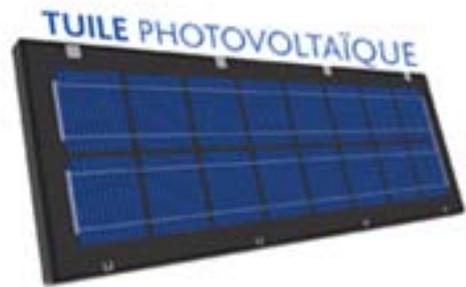
(cf. exemple ci-dessous), **s'embroient** et/ou se superposent ensuite entre eux pour **constituer les éléments de couvertures en lieu et place de tuiles ou d'ardoises**.

Quelques exemples sont présentés ci-dessous :



Source : <http://www.terrealsolaire.com>

Elément support en acier galvanisé prélaqué



Source : <http://www.panneau-solaire-tuile-photovoltaïque.fr>

Elément support en aluminium EN **AW 1050** revêtu d'une poudre polyester



Source : <http://www.batiproduitsmaison.com> (Solatuile)

Elément support en matériau de synthèse
(Classement de réaction au feu : M3)

Annexe - Fiche 3

Mise en œuvre en couverture inclinée sur **charpente bois ou métallique** en remplacement de **plaques nervurées ou ondulées**

GENERALITES

La mise en œuvre des systèmes photovoltaïques sur charpente bois ou métallique en remplacement de plaques nervurées ou plaques ondulées peut être réalisée sur deux types principaux de conception de toiture :

- avec une lame d'air ventilée avec l'air extérieur en sous face des plaques remplacées,
- avec une isolation en sous face des plaques remplacées. Ces toitures se caractérisent très généralement par l'absence d'une lame d'air ventilée entre la sous face de la couverture et l'isolation. Lorsqu'une lame d'air existe, elle n'est pas ventilée avec l'extérieur. L'isolation est généralement réalisée soit à l'aide d'un feutre tendu, soit avec deux lits de laine de verre croisés, pour une épaisseur de 80 à 200 mm.

Pour ce type de bâtiments, la couverture peut aussi être réalisée avec des caissons chevrons ou des panneaux sandwich, l'isolation étant réalisée généralement en polyuréthane, polystyrène extrudé ou polystyrène expansé le plus souvent, plus rarement en laine de roche ou autre laine végétale, en épaisseurs d'isolant de 100 à 200 mm.

Annexe - Fiche 3a

Mise en œuvre en couverture inclinée sur **charpente bois ou métallique** en remplacement de **plaques nervurées ou ondulées sans élément interposé** entre la charpente et le champ photovoltaïque

- Pose en partie courante



Source : batiactu.com

La mise en œuvre de ces systèmes en partie courante signifie que les modules photovoltaïques sont implantés en lieu et place des éléments de couverture mais que certains d'entre eux sont conservés autour du champ photovoltaïque.

Cette mise en œuvre est à rapprocher de la fiche 2a/partie courante (mise en œuvre sur charpente bois en remplacement de tuiles ou d'ardoise sur support discontinu). Les changements portent principalement sur :

- . les raccordements avec les éléments de couvertures adjacents dont la géométrie doit être adaptée à la forme nervurée ou ondulée des éléments environnants,
- . les fixations métalliques des rails dans la charpente qui doivent être adaptées à la nature de celle-ci (bois ou métallique).

- Pose en couverture complète



Source : <http://www.mecosun.fr>

La mise en œuvre de ces systèmes peut également être réalisée sur l'ensemble de la couverture complète (c'est-à-dire champ photovoltaïque mis en œuvre jusqu'à l'égout et jusqu'aux rives du bâtiment).

Dans ce cas, la couverture ne présente aucune pénétration (cheminée, ...).

Cette mise en œuvre ne diffère de la description ci-dessus que par l'absence complète d'élément de couverture, cette dernière étant en effet totalement recouverte de panneaux photovoltaïques.

Annexe - Fiche 3b

Mise en œuvre en couverture inclinée sur **charpente bois ou métallique** en remplacement de **plaques nervurées ou ondulées avec élément interposé** entre la charpente et le champ photovoltaïque

- Pose en partie courante

La mise en œuvre de ces systèmes en partie courante signifie que les modules photovoltaïques sont implantés en lieu et place des éléments de couverture mais que **certains d'entre eux sont conservés autour du champ photovoltaïque.**

Cette mise en œuvre est à rapprocher de la fiche 2c/partie courante. Les changements portent principalement sur :

- . les raccordements avec les éléments de couvertures adjacents dont la géométrie doit être adaptée à la forme nervurée ou ondulée des éléments environnants. **Dans ce cas d'éléments de couverture environnant nervurés ou ondulés, la réalisation de ces raccordements est généralement facilitée grâce à une géométrie de l'élément interposé identique à la géométrie des éléments environnants.** La jonction se réalise alors par recouvrement des éléments entre eux, sans pièce complémentaire,
- . les fixations métalliques des rails dans la charpente qui doivent être adaptées à la nature de celle-ci (bois ou métallique).

- Pose en couverture complète



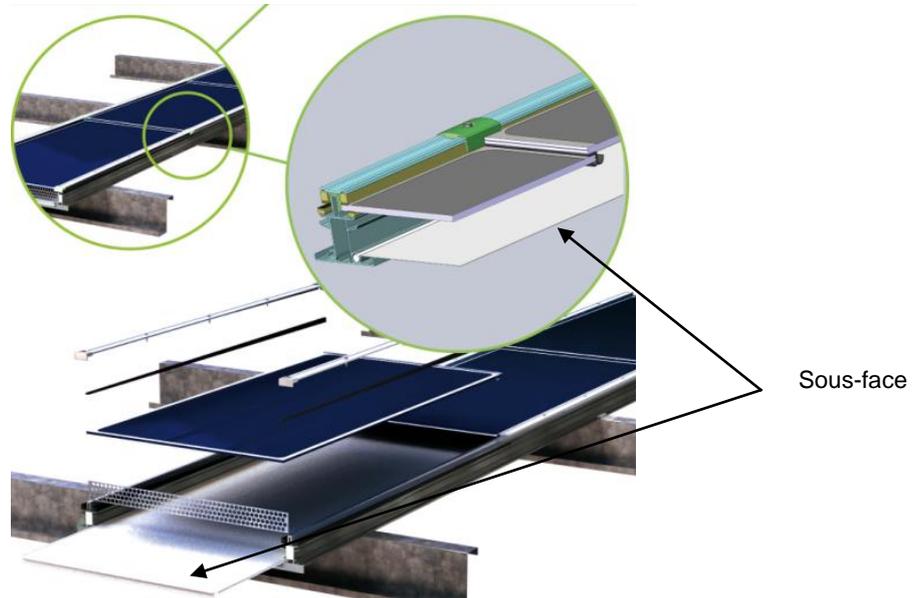
Source : <http://www.3i-plus.com>

La mise en œuvre de ces systèmes peut également être réalisée sur l'ensemble de la couverture complète (c'est-à-dire champ photovoltaïque mis en œuvre jusqu'à l'égout et jusqu'aux rives du bâtiment).

Dans ce cas, la couverture ne présente aucune pénétration (cheminée, ...).

Cette mise en œuvre ne diffère de la description ci-dessus que par **l'absence complète d'élément de couverture, cette dernière étant en effet totalement recouverte de panneaux photovoltaïques.**

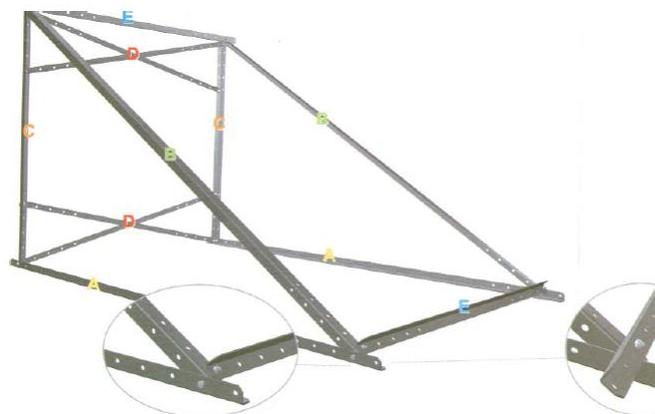
Certains systèmes sont proposés avec une sous-face positionnée entre les rails support des modules. Cette sous-face peut être métallique ou en matériau de synthèse (ex : PVC).



Annexe - Fiche 4

Mise en œuvre en toiture-terrasse / Pose sur support

Les modules photovoltaïques sont posés sur des supports constitués d'un kit de profilés métalliques, fixés entre eux.



Le tout est positionné sur une toiture-terrasse selon les préconisations du DTU 43.1, c'est-à-dire :

- soit posé sur un ou plusieurs massifs émergents en maçonnerie, solidaires de l'élément porteur,
- soit solidarisé à un ou plusieurs massifs en béton posés sur le revêtement d'étanchéité ou sa protection. Chaque massif doit alors reposer sur un matériau résilient (polystyrène expansé de classe F, polystyrène extrudé, ...).

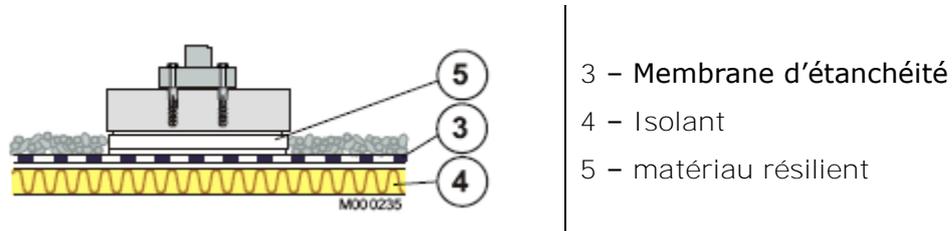


Figure F4 : exemple de massif posé sur revêtement d'étanchéité

La fixation des modules photovoltaïques est ensuite réalisée à l'aide de fixations métalliques.

Le cheminement des câbles est en général effectué grâce à des chemins de câbles métalliques

(cf. fiche 9 ci-après). Cependant, comme présenté sur cette même fiche 9, des chemins en matériaux synthétiques sont également proposés.

Annexe - Fiche 5a

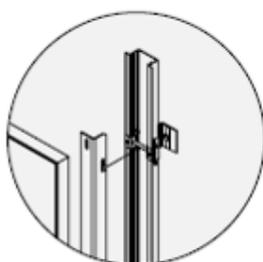
Mise en œuvre en **façade**/ Paroi **opaque**

Mise en œuvre en bardage

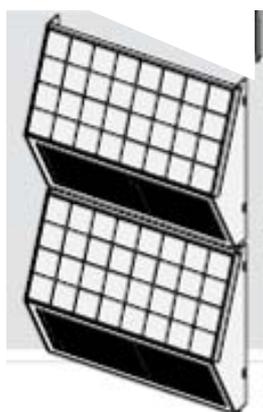


Source : <http://solarcentury.fr>

Dans le cas d'une installation photovoltaïque en façade opaque, les panneaux photovoltaïques constituent généralement le parement d'un bardage avec lame d'air ventilée en sous face des panneaux. Une isolation, généralement en laine minérale, peut également être présente entre la paroi support et cette lame d'air ventilée.

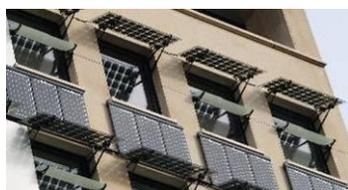


La fixation des panneaux solaires est réalisée à l'aide d'éléments métalliques (équerres ou fixations ponctuelles) sur rails métalliques conçus spécifiquement ou sur ossature plus traditionnelle de bardage (métallique ou bois).



Afin d'orientés les panneaux de manière plus optimale, les parements peuvent également être positionnés non parallèles à la paroi. La structure permettant l'orientation des modules photovoltaïques est très généralement en matériau métallique.

Mise en œuvre en allège



Source : www.cofamenal.fr

Dans le cas d'une installation photovoltaïque pour constituer une allège, les modules photovoltaïques sont mis en place en lieu et place des éléments classiquement utilisés.



Annexe - Fiche 5b

Mise en œuvre en **façade**/Façade en **verre**

Dans le cas d'une installation photovoltaïque pour constituer une façade en verre, les vitrages photovoltaïques sont mis en place en lieu et place des éléments verriers classiquement utilisés. Pour répondre aux exigences en termes de sécurité lié à cet usage, les modules se doivent d'être des vitrages photovoltaïques utilisant un composant feuilleté de sécurité.

Leur maintien est assuré selon les mêmes dispositions constructives que celles utilisées pour les façades en verre non photovoltaïques.



Annexe - Fiche 6

Mise en œuvre en **verrière**

Dans le cas d'une installation photovoltaïque pour constituer une verrière, les vitrages photovoltaïques sont mis en place en lieu et place des éléments verriers classiquement utilisés. Pour répondre aux exigences en termes de sécurité lié à cet usage, les modules se doivent d'être des vitrages photovoltaïques utilisant un composant feuilleté de sécurité.

Leur maintien est assuré selon les mêmes dispositions constructives que celles utilisés pour les façades en verre non photovoltaïques.

Annexe - Fiche 7

Mise en œuvre **garde corps**

Garde corps de balcon



Dans le cas d'une installation photovoltaïque pour constituer un balcon, les modules photovoltaïques sont mis en place en lieu et place des éléments de remplissage classiquement utilisés. Pour répondre aux exigences en termes de sécurité lié à cet usage, les **modules se doivent d'être des vitrages photovoltaïques** utilisant un composant feuilleté de sécurité.

Leur maintien est assuré selon les mêmes dispositions constructives que celles utilisées pour les balcons non photovoltaïques

Garde corps en toiture -terrasse



Source : <http://www.danialu.com>

Les systèmes proposés à ce jour sont principalement des gardes corps destinés aux toitures-terrasses inaccessibles. Les modules photovoltaïques sont mis en place en lieu et place des éléments de remplissage classiquement utilisés.

Leur maintien est assuré grâce à une ossature constituée de profils/rails métalliques.



Annexe - Fiche 8

Mise en œuvre en **brise soleil**

Dans le cas d'une installation photovoltaïque en brise soleil, les modules photovoltaïques sont mis en place sur des structures généralement métalliques fixées sur la façade. Pour répondre aux exigences en termes de sécurité lié à cet usage, les modules se doivent d'être des vitrages photovoltaïques utilisant un composant feuilleté de sécurité.

Leur maintien est assuré grâce à une ossature constituée de profils/rails métalliques.



Annexe - Fiche 9

Mise en œuvre de **films rapportés** sur **membranes d'étanchéité**

Dans ce type de mise en œuvre, les systèmes photovoltaïques sont directement collés sur des systèmes d'étanchéité de toiture-terrasse inaccessibles habituels. Ces toitures-terrasses sont généralement constituées, de l'intérieur vers l'extérieur du bâtiment :

- d'un élément porteur en :
 - maçonnerie,
 - béton cellulaire autoclavé,
 - bois et panneaux dérivés du bois,
 - ou tôles d'acier nervuré.
- d'un isolant :
 - perlite expansée,
 - verre cellulaire,
 - laine minérale de classe de compressibilité C,
 - ou polystyrène expansé de classe de compressibilité B à 80°C.
- d'un revêtement d'étanchéité :
 - en feuilles de bitume polymère polypropylène atactique (APP) ou styrène-butadiène-styrène (SBS) armées,
 - en polyoléfines flexibles (FPO), non armés, armés et/ou sous-facés,
 - en caoutchouc-éthylène-propylène-diène (EPDM) non armés, armés et/ou sous-facés,
 - ou en polychlorure de vinyle (PVC) non armés, armés et/ou sous-facés.

Le collage des films photovoltaïques sur le revêtement est soit réalisé in situ, soit réalisé en usine.

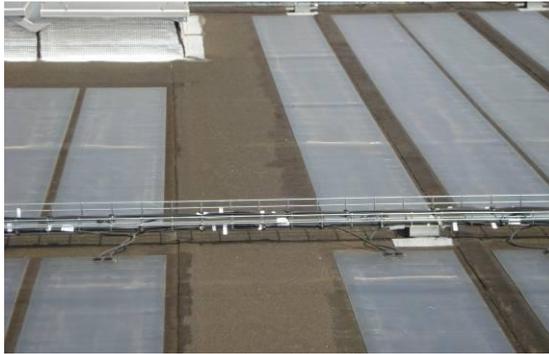
A ce jour, les films photovoltaïques largement utilisés sont ceux de la société Uni Solar Ovonic.

La mise en œuvre in situ se réalise grâce à un film pelable en copolymère éthylène polypropylène présent en sous-face.

L'association en usine est quant à elle réalisée selon des systèmes propres à chaque fabricant (ex : collage à chaud grâce à l'interposition d'un film hot-melt en Ethyl Vinyl Acétate (EVA)).

Une fois les films photovoltaïques collés, les câbles sont acheminés grâce à des chemins de câbles pouvant être réalisés de diverses manières :

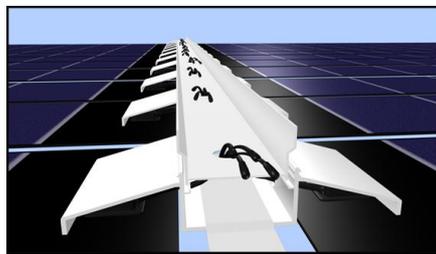
- cheminement **en surface** de la toiture via des chemins de câbles métalliques.



Source : Solardis

Figure F9/1 : Chemins de câbles métalliques en toiture

- Cheminement des câbles en surface de toiture via des chemins de câbles en matériaux de synthèse:



Source : AGT

Figure F9/2 : Chemins de câbles en matériau synthétique en toiture



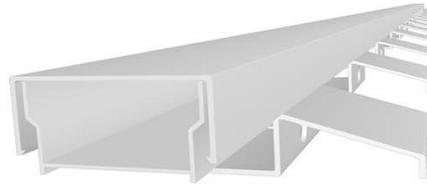
WM20-PVC

MODÈLE

Intégré au bâtiment le système en PVC est conçu pour la gestion de câbles des systèmes photovoltaïques AGT Flexlight. Le système AGT Protège et organise les câbles électriques. Il se compose de trois éléments. L'embase la goulotte et le couvercle qui se glisse ensemble. Le système AGT est livré en section de 6 mètres et 15 embases.

CARACTÉRISTIQUES

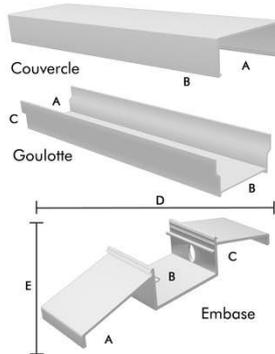
- Léger
- Assemblage facile
- Durable
- Adhère fermement



Couvercle	Dimensions extérieur	Millimètres
A	Largeur	87,37
B	Hauteur	45,21

Plateau	Dimensions intérieur	Millimètres
A	Largeur	73,66
B	Largeur	63,50
C	Hauteur	45,21

Aile	Dimensions intérieur	Millimètres
A	Largeur	102,36
B	Largeur	71,12
C	Largeur	105,41
D	Largeur	282,19
E	Hauteur	59,18



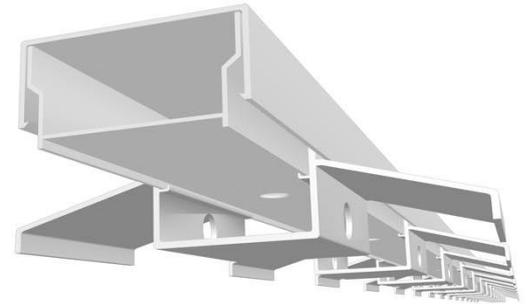
CERTIFICATIONS
 IEC61537

DONNÉES TECHNIQUES

WM20-PVC

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Résistance à la traction (kPa)	d-638	42 750
Résistance en flexion (kPa)	d-790	72 400
Module d'élasticité en flexion (kPa)	d-790	2 620 000
Résilience en flexion IZOD (entailles de 3,175 mm)	d-256	8.00
Masse volumique	d-792	1.43
Déflexion de la chaleur à 1800 kPa	d-648	167.00
Température de fusion recommandée	360°	182°



COMPOSANTS	pois ou % de VOL	VLE établie par l'ACGIH	OSHA
Polymères acryliques établis	<15%	S/O	S/O
Carbonate de calcium	<10%	10mg\m3	15mg\m3
Dioxyde de titane	<10%	10mg\m3	10mg\m3
Complexe d'organoétain	<5%	0,1mg\m3	0,1mg\m3
Chlorure de vinyle	<0,001%	5ppm	1ppm

WM20-PVC

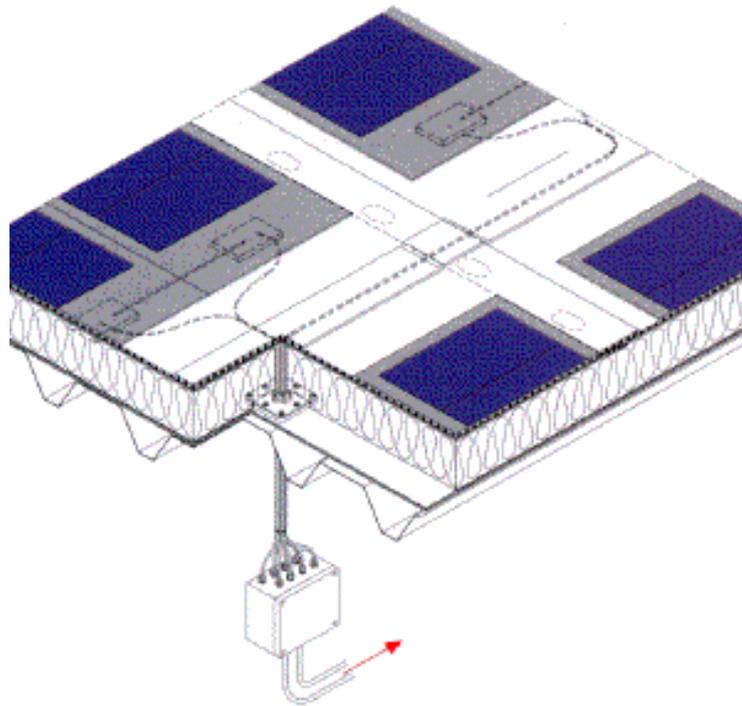


ADVANCED GREEN TECHNOLOGIES
 www.AGT.com
 001.954.816.935

© Copyright 2009 Advanced Green Technologies WM20PVC

Figure F9/3 : Fiche technique du chemin de câble WM20-PVC

➤ Cheminement des câbles en sous face des membranes :



<http://www.toit-plat.com/meuleman/evalon-v-solar.shtml>

Figure F9/4 : Chemin de câble en sous face de l'étanchéité



<http://www.toit-plat.com/meuleman/evalon-v-solar.shtml>

Figure F9/5 : Création des réservations pour cheminement des câbles en sous face de l'étanchéité



Source :
<http://produits.batiactu.com/publi/rheinzing-et-l-environnement>

Annexe - Fiche 10

Mise en œuvre **de films rapportés** sur supports autres que membranes d'étanchéité

Les systèmes principalement proposés consistent à associer les films photovoltaïques à des bacs métalliques (aluminium, acier galvanisé, zinc).

Le collage des films photovoltaïques sur le revêtement est très généralement réalisé en usine à l'aide de produit de collage présent en sous face du film photovoltaïque (ex : copolymère à base d'éthylène et de propylène).



**ANNEXE 2 :
Configurations les moins favorables et les moins pénalisantes des
systèmes photovoltaïques en terme de charge calorifique**

Client : MEEDDM

INERIS : S. Duplantier, D. Calogine, B. Weinberger

Systèmes	Configuration La moins favorable		Configuration La moins pénalisante		Configuration courante	Configuration à venir
	Feu	Electrique	Feu	Electrique		
1 Pente, Sur-imposé, métallique, Vitré	-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0	-Boitier métallique connectique pv -Boitier onduleur métallique -Onduleur IP<67 -Pas de norme pour câblage	-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2	-Onduleur IP>=67 -Norme câblage NF EN 50363	-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium	-CIGS-CIS -Norme câblage
2 Plat, Sur-imposé, métallique, sans isolation, Vitré	-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Membrane polymère / Bac PVC		-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier	-Onduleur IP>=67 -Norme câblage NF EN 50363	-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium	
3 Pente, imposé, Bois, Isolation, Vitré	-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Isolation polystyrène - Membrane polymère / Bac PVC		-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier - Laine de roche/verre	-Onduleur IP>=67 -Norme câblage NF EN 50363	-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium	
4 Pente, imposé,	-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère		-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre		-Silicium - Onduleur IP 54-55	

Bois, sans isolation, Vitré	-classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Membrane polymère / Bac PVC		-classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier		-vitre verre trempé -cadre aluminium	
5 Pente, imposé, Bois, Isolation, pas vitré	-CIGS-CIS -Fixation Colle -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Membrane bitumineux		-Silicium -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier		-Silicium - Onduleur IP 54-55 - Système tuile PV	
6 Pente, imposé, métallique, Isolation, Vitré	-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Membrane polymère / Bac PVC		-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier		-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium	
7 Pente, imposé, métallique, sans isolation, Vitré	-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Isolation polystyrène - Membrane polymère / Bac PVC		-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier - Laine de roche/verre		-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium	
8 Plat, imposé, Bois,	-CIGS-CIS -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Isolation polystyrène		-classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Laine de roche/verre		-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium	

Isolation, pas vitré	- Membrane polymère / bitumeuse				
9 Plat, imposé, Bois, sans isolation, pas vitré	-CIGS-CIS -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Membrane polymère / bitumeuse		-classe inflammabilité connectique pv UV94- V2		-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium
10 Pente, remplacement couverture, Bois, Isolation, Vitré	-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Isolation polystyrène - Membrane polymère / Bac PVC		-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier - Laine de roche/verre		-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium
11 Pente, remplacement couverture, Bois, sans isolation, Vitré	-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0		-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2		- Technologie ? -Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé
12 Pente, remplacement couverture, métallique, Isolation, Vitré	-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Isolation polystyrène - Membrane polymère / Bac PVC		-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier - Laine de roche/verre		-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium

<p>13</p> <p>Pente, remplacement couverture, métallique, sans isolation, Vitré</p>	<p>-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Membrane polymère / Bac PVC</p>		<p>-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier</p>		<p>-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium</p>	
<p>14</p> <p>Plat, remplacement couverture, métallique, sans isolation, Vitré</p>	<p>-CIGS-CIS -cadre polymère -vitre polymère -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Membrane polymère / Bac PVC</p>		<p>-Silicium -Cadre métallique -Vitre verre -classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 - Bac acier</p>		<p>-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium</p>	
<p>15</p> <p>Plat, remplacement couverture, métallique, isolation, pas vitré</p>	<p>-CIGS-CIS -classe inflammabilité connectique pv UV94-V0 - Isolation polystyrène - Membrane polymère / bitumeuse</p>		<p>-classe inflammabilité connectique pv UV94- V2 -Laine de roche/verre</p>		<p>-Silicium - Onduleur IP 54-55 -vitre verre trempé -cadre aluminium</p>	

Page blanche

PREVENTION DES RISQUES ASSOCIES A L'IMPLANTATION DE CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES SUR DES BATIMENTS INDUSTRIELS OU DESTINES A DES PARTICULIERS

Convention 7252

ANNEXE 3

RAPPORT D'ESSAIS DE REACTION AU FEU N° RA10-0371 SELON LES NORMES EUROPEENNES NF EN 13823 ET NF EN ISO 1716

Valable 5 ans

Ce rapport d'essais atteste uniquement des caractéristiques de l'objet soumis aux essais et ne préjuge pas des caractéristiques de produits similaires. Il ne constitue pas une certification de produits au sens de l'article L 115-27 du code de la consommation et de la loi du 3 juin 1994.

En cas d'émission du présent rapport par voie électronique et/ou sur support physique électronique, seul le rapport sous forme de support papier signé par le CSTB fait foi en cas de litige. Ce rapport sous forme de support papier est conservé au CSTB pendant une durée minimale de 10 ans.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Il comporte 67 pages.

A la demande de :

MEEDDM
Grand Arche Paroi Nord
92055 PARIS LA DEFENSE
FRANCE

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT

SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2

TÉL. (33) 01 64 68 84 12 | FAX. (33) 01 64 68 84 79 | www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

Sommaire

OBJET	3
TEXTES DE REFERENCE.....	3
NATURE DE (S) L'ESSAI (S).....	3
PROVENANCE ET IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS.....	4
DESCRIPTION SOMMAIRE	5
DESCRIPTIF ESSAI SBI	12
CONFIGURATION DES EPROUVETTES	13
OBSERVATIONS - RESULTATS	19
MOYENNE DES DIFFERENTS PARAMETRES SUR 2 OU 3 EPREUVES	24
ANALYSE DES COURBES DE DEBIT CALORIFIQUE.....	26
MESURE DU POUVOIR CALORIFIQUE SUPERIEUR	32

ANNEXE 1 : Graphiques SBI – Courbes de débit calorifique, vitesse de développement du feu et débit de fumées. 34

ANNEXE 2 : Photographies des produits avant et après essais de Réaction au Feu. 48

ANNEXE 3 : Courbes de températures mesurées aux dos des produits pendant les essais SBI. 62

OBJET

Les essais rapportés par le présent document ont pour but de déterminer le comportement des produits, conformément aux essais prescrits par les normes européennes relatives à la réaction au feu des produits de construction à l'exclusion des revêtements de sol.

TEXTES DE REFERENCE

Les essais ont été réalisés selon les normes :

NF EN 13823 « Essais de réaction au feu des produits de construction - Produits de construction à l'exclusion des revêtements de sol exposés à une sollicitation thermique provoquée par un objet isolé en feu ».

NF EN ISO 1716 « Essais de réaction au feu des produits de construction – Détermination de la chaleur de combustion ».

NF EN 13238 « Essais de réaction au feu des produits de construction - Mode opératoire du conditionnement et règles générales de sélection des substrats ».

NATURE DE (S) L'ESSAI (S)

- Détermination du comportement au feu des produits de construction exposés à une sollicitation thermique provoquée par un objet isolé en feu (S.B.I. en anglais).
- Détermination de la chaleur de combustion.

PROVENANCE ET IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS

Date(s) de livraison : De mi-juillet à début octobre 2010

Conditionnement selon NF EN 13238 : 2 semaines

Date(s) d'essai : 16 septembre 2010 au 14 octobre 2010

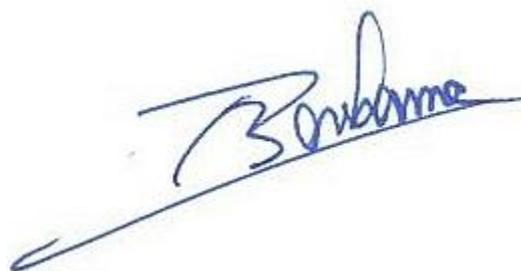
Matériau présenté par : **MEEDDM
Grand Arche Paroi Nord
92055 PARIS LA DEFENSE
FRANCE**

N° Identification : **ES541100774
ER-557-090024-558-STR
Commande n° 26021910**

Les résultats d'essai ne concernent que le comportement des éprouvettes d'un produit dans les conditions particulières de l'essai ; ils ne sont pas destinés à être le seul critère d'évaluation du danger d'incendie présenté par le produit en utilisation.

Champs-sur-Marne, le 17 novembre 2010

**Le Responsable de l'activité
Réaction au Feu**



Martial BONHOMME

DESCRIPTION SOMMAIRE

Systèmes photovoltaïques constitués d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement.

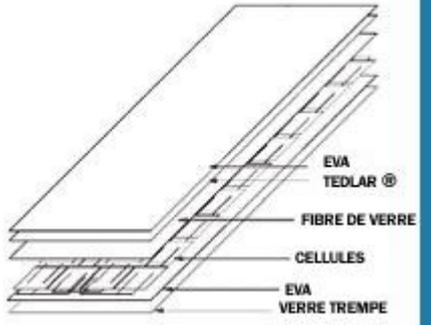
5 systèmes différents ont été évalués dans le cadre de cette étude.

Pour chaque système, mise en œuvre sur tasseaux bois avec lame d'air et plaque de silico-calcaire.

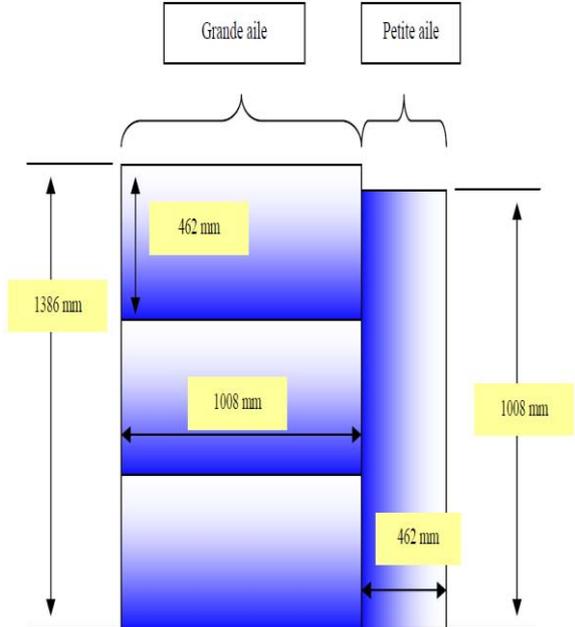
Liste et caractéristiques des systèmes essayés en pages suivantes.

Système n°1

Module photovoltaïque de référence **PW 500** fabriqué par la société PHOTOWATT.
Modules polycristallins à base de cellules 4 pouces avec cadre aluminium.

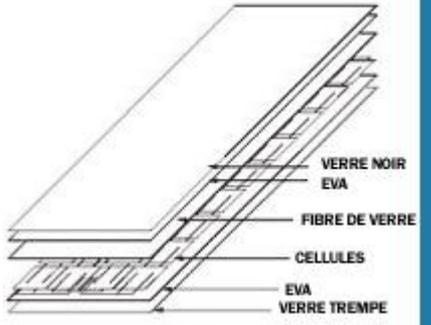
 <p>Verre simple Une face en verre (3,2 mm) et une face en Tedlar®. Le module présente un cadre aluminium.</p>	 <p>PHOTOWATT International 33 rue Saint Honoré Z.I. Champfleuri 38300 BOURGOIN JALLIEU FRANCE Tel : +33 (0)4 74 93 80 20 Fax : +33 (0)4 74 93 80 40</p>
--	---

Montage des éléments pour essais SBI :

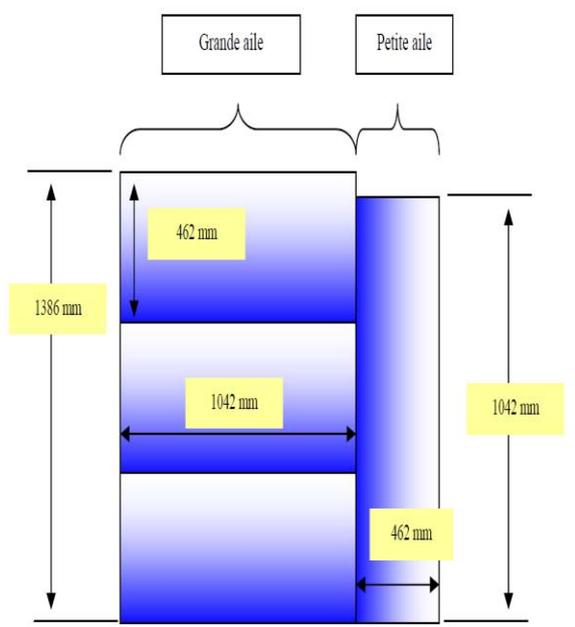
<ul style="list-style-type: none"> AVEC MODULES PW500 de dimension 1008mm x 462 mm (référence interne PHOTOWATT F3647/040) 	
---	---

Systeme n°2

Module photovoltaïque de référence **PWX 500** fabriqué par la société PHOTOWATT.
Modules polycristallins à base de cellules 4 pouces avec bi-verre et cadre aluminium.

 <p>Bi-verre Les deux faces en verre (3,2 mm) améliorent la solidité du module. Le module présente un cadre aluminium.</p>	 <p>PHOTOWATT International 33 rue Saint Honoré Z.I. Champfleuri 38300 BOURGOIN JALLIEU FRANCE Tel : +33 (0)4 74 93 80 20 Fax : +33 (0)4 74 93 80 40</p>
--	---

Montage des éléments pour essais SBI :

<ul style="list-style-type: none"> AVEC MODULES PWX500 de dimension 1042mm x 462 mm (référence interne PHOTOWATT F506-0XX) 	
---	--

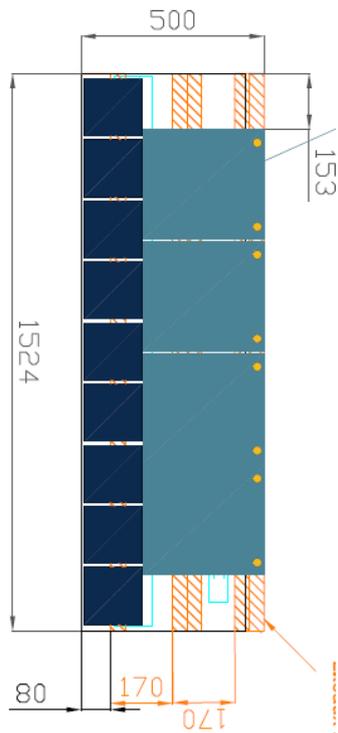
Système n° 3

Ardoise référence **SOLESIA** fabriquée par la société ETERNIT.

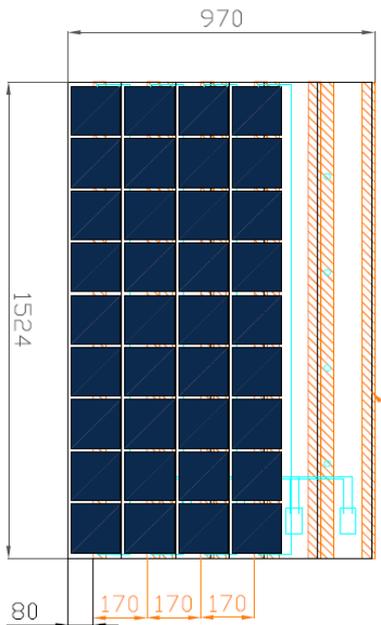
	 <p>ETERNIT COMMERCIAL Direction Commerciale et Marketing Rue de l'Amandier - BP 33 78540 VERNOUILLET FRANCE Tél : +33 (0)1 39 79 61 58 Fax : +33 (0)1 39 79 62 44</p>
<p>L'ardoise Solesia est composée de 9 cellules polycristallines de 156 x 156 mm. Celles-ci sont enclavées dans de l'EVA (Ethyl Vinyl Acétate) entre une couche de verre trempé hautement transparent pour la partie supérieure et en face arrière un polymère haute performance (Tedlar) de couleur noire.</p>	

Montage in situ :

--	--



Grande aile :



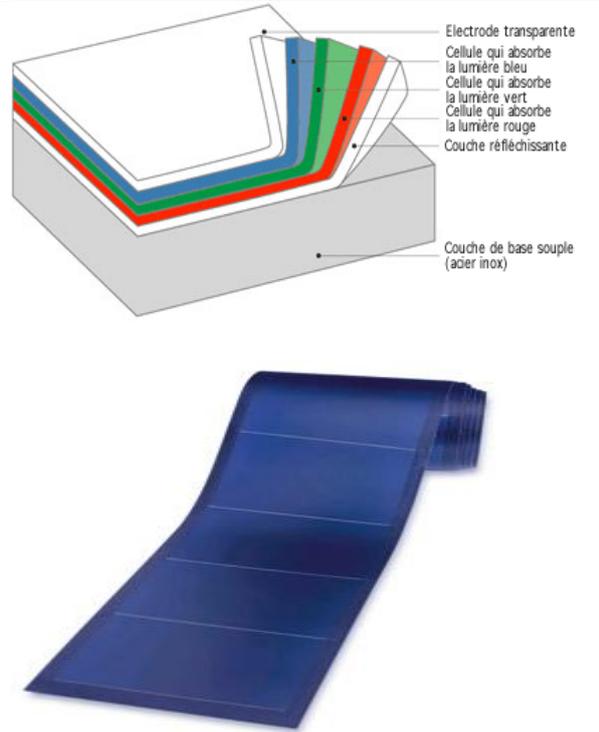
Vue d'ensemble :



Système n° 4

Panneau solaire photovoltaïque couche mince de référence **UNI SOLAR** fabriqué par la société UNI-SOLAR.

Une triple couche de silicium amorphe déposée, à des épaisseurs micrométriques, sur une fine lame souple d'acier inoxydable.

 <p>Bandes de 5,5 m x 0,4 m. Masse surfacique : environ 3,5 kg/m².</p>	<p>UNI-SOLAR.</p> <p>UNI SOLAR Tour Albert 1er 65 avenue de Colmar 92507 RUEIL-MALMAISON Cedex FRANCE Tel : +33 (0)1 74 70 46 24 Fax : +33 (0)1 41 39 00 22</p>
---	---

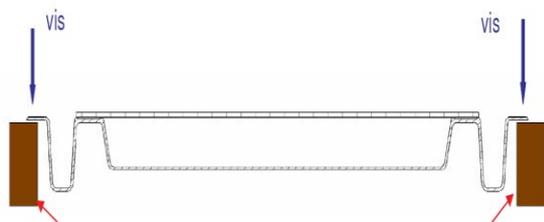
Montage des éléments pour essais SBI :

	<p>Panneau adhésivé sur tôle métallique.</p>
---	--



SOLAR COMPOSITES

Parc Tertiaire Technopôle
Rue Léonard de Vinci
53810 CHANGE
FRANCE
Tél : +33 (0)2 43 02 30 30
Fax : +33 (0)2 43 64 29 46



Module photovoltaïque sur cadre composite
(résine polyester/ fibres de verre).
Module de 1350 mm de haut par 700 mm de
large et 70 mm d'épaisseur.
Masse surfacique du composite (hors module) :
environ 3,5 kg/m² (épaisseur 3 mm).

Montage in situ :





DESCRIPTIF ESSAI SBI ESSAI POUR PRODUITS DE CONSTRUCTION EXPOSES A UNE SOLLICITATION THERMIQUE PROVOQUEE PAR UN OBJET ISOLE EN FEU (OIF OU SBI) (NF EN 13823)

On utilise un appareil d'essai constitué d'un chariot, d'un bâti, de brûleurs, d'une hotte... Une éprouvette, constituée de deux ailes verticales formant un angle droit, est exposée à la flamme d'un brûleur placé au pied de l'angle formé par les 2 ailes ("brûleur principal"). La flamme est due à la combustion de gaz propane injecté au travers d'un lit de sable de manière à produire un débit calorifique de $(30,7 \pm 2,0)$ kW.

La performance de l'éprouvette est évaluée sur une durée de 20 minutes. Les critères de performance sont les suivants : production de chaleur, production de fumée, propagation horizontale du front de flamme et chute de gouttelettes ou débris enflammés.

Une courte période avant allumage du brûleur principal est nécessaire pour mesurer le débit calorifique du brûleur seul; cette mesure est réalisée en utilisant un brûleur identique, placé à distance de l'éprouvette ("brûleur auxiliaire").

Certaines mesures sont réalisées automatiquement, d'autres résultent de l'observation visuelle. Le conduit d'extraction est équipé de capteurs destinés à mesurer la température, l'atténuation de la lumière, les fractions molaires O_2 et CO_2 , ainsi qu'une pression différentielle induite par le débit des effluents gazeux qui s'écoulent dans le conduit d'extraction. Ces grandeurs sont enregistrées automatiquement et exploitées pour calculer le débit volume, le débit calorifique (RHR en anglais) et le débit de fumée (RSP en anglais).

La propagation horizontale du front de flamme et la chute de gouttelettes ou particules enflammées font l'objet d'une observation visuelle et sont notées sur la fiche d'enregistrement.

Définitions complémentaires :

THR_{600s} : quantité de chaleur due à la combustion de l'éprouvette pendant les 600 premières secondes d'exposition à la flamme du brûleur

LFS_{edge} : propagation de flamme latérale le long de la grande aile de l'éprouvette jusqu'à la rive externe de cette dernière à une hauteur comprise entre 500 et 1000 mm durant les premières 1500 secondes

TSP_{600s} : quantité de fumée produite par l'éprouvette pendant les 600 premières secondes d'exposition à la flamme du brûleur

FDP : chute au sol de gouttelettes / particules enflammées hors de la zone du brûleur

FIGRA : Indice de vitesse de développement du feu

SMOGRA : Indice de vitesse de développement des fumées

CONFIGURATION DES EPROUVETTES

L'assemblage de l'éprouvette est réalisé conformément aux normes NF EN 13823, paragraphe 5.2.2 avec pose de tasseaux bois (section 40 x 50 mm) et densité d'environ 700 kg/m³ (panneau de particules standard).

Schéma de principe

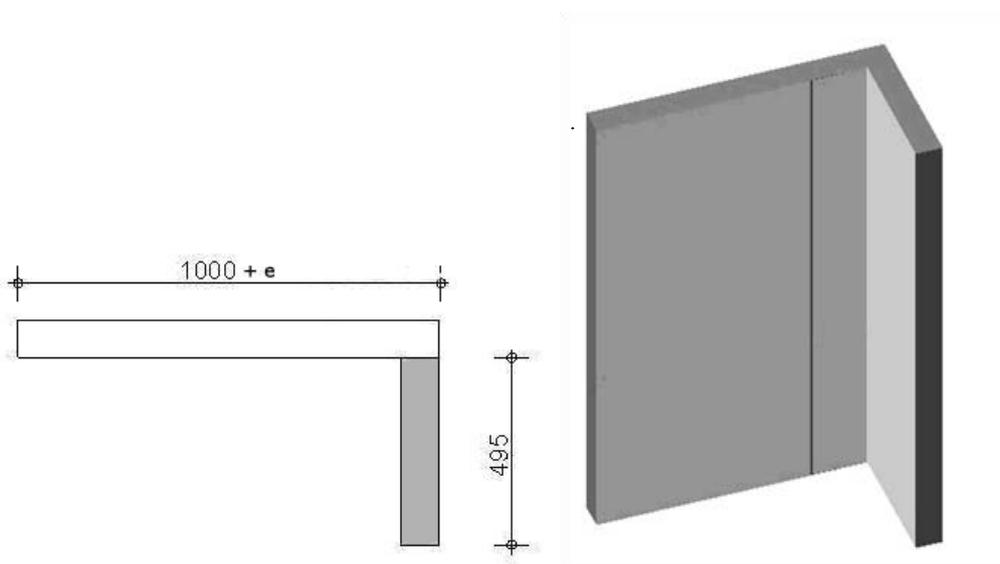
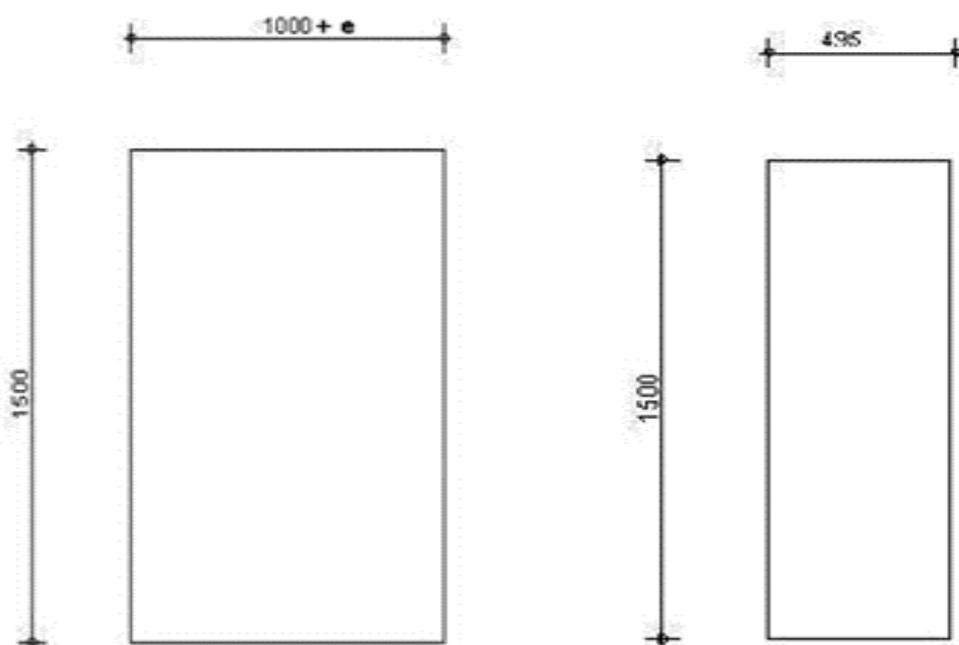
Petite aile (grisée) :

495 mm x (1500 ± 5) mm

Grande aile :

(1000 + e ± 5) mm x (1500 ± 5) mm

Avec e= épaisseur du produit



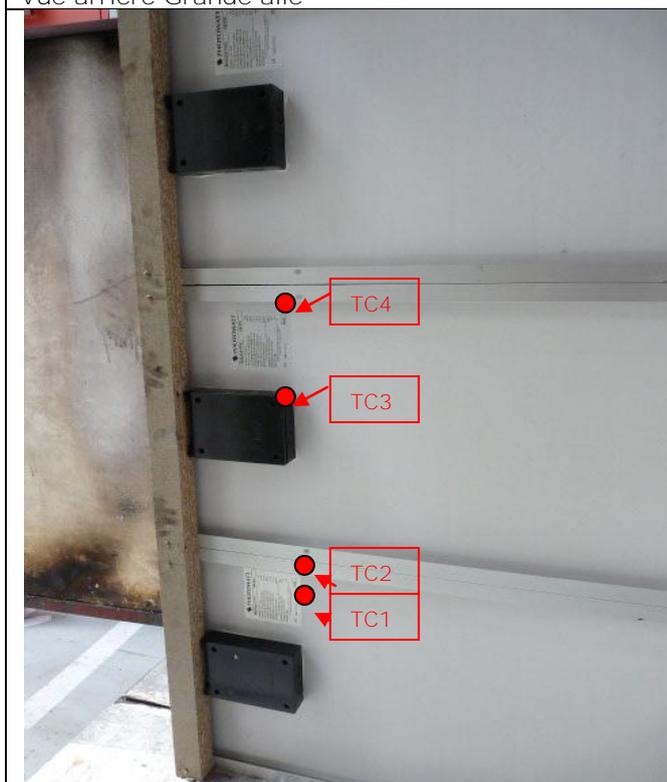
Montage des modules sur tasseaux bois avec lame d'air de 80 mm et plaque de silico calcaire.
3 modules sur grande aile et 1 module sur petite aile.



Vue arrière Grande aile



Vue arrière Petite aile



Emplacement thermocouples

TC1 : à 200 mm de l'angle, 500 mm de hauteur sur le produit à la jonction avec le profilé.
TC2 : à 200 mm de l'angle, 500 mm de hauteur dans le profilé, pas de contact avec le produit.
TC3 : à 200 mm de l'angle, environ 750 mm de hauteur sur le boîtier (petit côté).
TC4 : à 200 mm de l'angle, 1000 mm de hauteur dans le profilé, pas de contact avec le produit.



Vue face maquette SBI

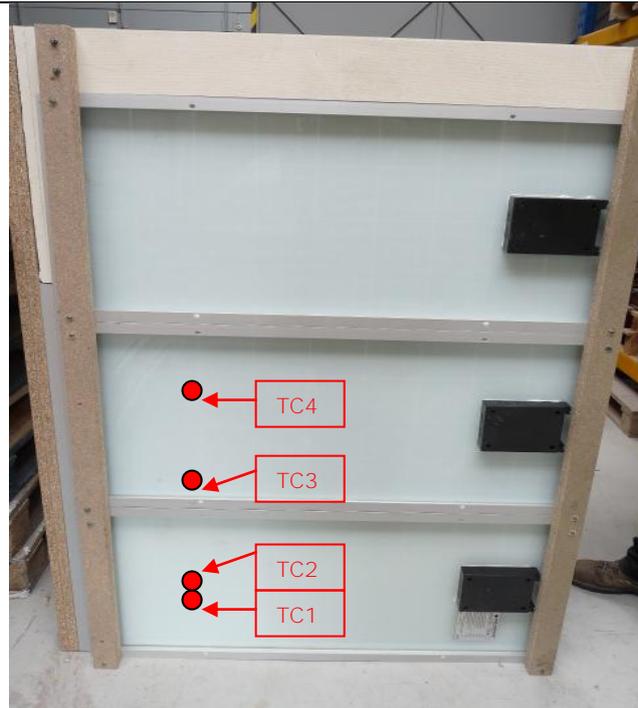
Montage des modules sur tasseaux bois avec lame d'air de 80 mm et plaque de silico calcaire.
3 modules sur grande aile et 1 module sur petite aile.



Vue arrière Grande aile



Vue arrière Petite aile



Emplacement thermocouples

TC1 : à 200 mm de l'angle, 500 mm de hauteur sur le produit à la jonction avec le profilé.
TC2 : à 200 mm de l'angle, 500 mm de hauteur dans le profilé, pas de contact avec le produit.
TC3 : à 200 mm de l'angle, environ 750 mm de hauteur sur le produit (verre).
TC4 : à 200 mm de l'angle, 1000 mm de hauteur dans le profilé, pas de contact avec le produit.



Vue face maquette SBI

EPROUVETTES 7 à 8 : SYSTEME n°3 - ARDOISE SOLESIA

Montage des ardoises sur tasseaux bois avec lame d'air de 80 mm et plaque de silico calcaire.



Vue arrière Grande aile



Vue arrière Petite aile



Emplacement thermocouples

TC1 : à 200 mm de l'angle, 500 mm de hauteur sur le produit à la jonction avec le tasseau.
 TC2 : à 200 mm de l'angle, 500 mm de hauteur sur le bord du tasseau, pas de contact avec le produit.
 TC3 : à 400 mm de l'angle, environ 500 mm de hauteur sur le bord du tasseau, pas de contact avec le produit.
 TC4 : à 200 mm de l'angle, 1000 mm de hauteur sur le bord du tasseau, pas de contact avec le produit.



Vue face maquette SBI

EPROUVETTES 9 à 10 : SYSTEME n°4 - COUCHE MINCE UNI SOLAR

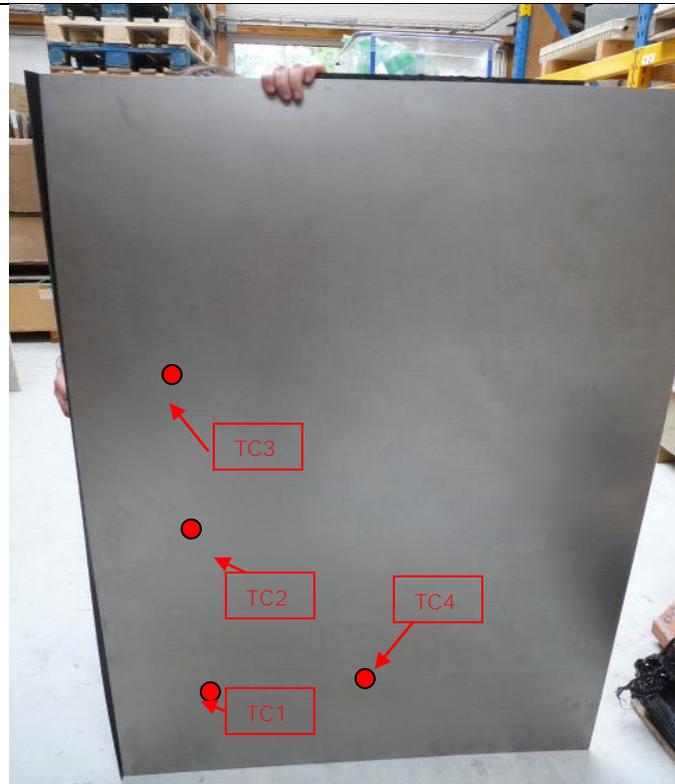
Collage des laminés sur tôle métallique de 1 mm d'épaisseur. Montage des tôles avec lame d'air de 80 mm et plaque de silico calcaire.



Vue arrière Grande aile



Vue arrière Petite aile



Emplacement thermocouples

TC1 : à 200 mm de l'angle, 500 mm de hauteur sur la tôle.
TC2 : à 200 mm de l'angle, 750 mm de hauteur sur la tôle.
TC3 : à 200 mm de l'angle 1000 mm de hauteur sur la tôle.
TC4 : à 500 mm de l'angle, 500 mm de hauteur sur la tôle.



Vue face maquette SBI

EPROUVETTES 11 à 13 : SYSTEME n°5 - SOLAR COMPOSITE

Montage des modules sur tasseaux bois avec lame d'air de 80 mm et plaque de silico calcaire.



Vue arrière Grande aile



Vue face Grande aile



Emplacement thermocouples

- TC1 : à 200 mm de l'angle, 500 mm de hauteur sur composite.
- TC2 : à 100 mm de l'angle, 500 mm de hauteur sur bord composite.
- TC3 : à 200 mm de l'angle 1000 mm de hauteur sur composite.
- TC4 : à 500 mm de l'angle, 500 mm de hauteur sur composite.



Vue face maquette SBI

OBSERVATIONS - RESULTATS

SYSTEME n°1

Eprouvette 1 :

Date de l'essai : 16/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10080068.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
PW 500	175,0	175,0	19,2	Non atteint	35,9	276,6

Eprouvette 2 :

Date de l'essai : 22/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10080073.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
PW 500	162,7	162,7	13,9	Non atteint	8,8	65,7

Eprouvette 3 :

Date de l'essai : 23/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10090002.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
PW 500	196,6	196,6	25,6	Non atteint	7,8	102,0

Commentaires communs aux 3 épreuves :

Avec démarrage du brûleur principal à 300 s

400/410 s : bris du verre sur la petite aile.

560 s : inflammation de l'encapsulant.

640 s : chute de morceaux de verre sur la petite aile.

700 s : ouverture importante sur la petite aile et la grande aile. Tasseaux bois de l'angle enflammés.

800 s : propagation des flammes sur le dos du verre (inflammation de l'encapsulant).

890/900 s : chutes de plusieurs morceaux de verre.

Entre 900 et 1000 s : chutes de particules enflammées (inflammation au sol inférieures à 10 s).

1200 s : flammes à l'extrémité de la petite aile (propagation sur environ 450 mm latéralement).

1350 s à 1500 s : petite aile complètement enflammée. Inflammation du tasseau de l'extrémité. Forte propagation latérale grande aile.

SYSTEME n°2

Eprouvette 4 :

Date de l'essai : 17/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10080069.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
PWX 500	12,7	12,7	1,5	Non atteint	1,0	20,9

Eprouvette 5 :

Date de l'essai : 22/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10080072.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
PWX 500	13,6	13,6	2,0	Non atteint	0,0	18,2

Eprouvette 6 :

Date de l'essai : 23/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10090001.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
PWX 500	88,2*	88,2*	2,1	Non atteint	0,0	20,3

Commentaires communs aux 3 épreuves :

Avec démarrage du brûleur principal à 300 s

420/440 s: bris du verre sur la petite aile et la grande aile.

530 /540 s : inflammation de l'encapsulant au dos du verre.

650 s : toujours inflammation de l'encapsulant. Pas de chutes de verre.

Après essai, second verre (au dos) intact pour les éprouvettes 4 et 5.

Pour l'éprouvette n°6, à 960 s, augmentation de la puissance du brûleur de 30 kW à environ 80 kW. Peu de différence de comportement. Second verre (au dos) brisé après essai.

*ces valeurs de FIGRA sont liées à l'augmentation de la puissance du brûleur et non à la combustion du produit.

SYSTEME n°3

Eprouvette 7 :

Date de l'essai : 21/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10080070.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
Ardoise SOLESIA	401,4	401,4	48,9	Non atteint	16,5	189,8

Eprouvette 8 :

Date de l'essai : 24/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10090004.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
Ardoise SOLESIA	331,3	331,3	34,8	Non atteint	11,8	103,1

Commentaires communs aux 2 épreuves :

Avec démarrage du brûleur principal à 300 s

500/510 s : bris du produit dans l'angle.

500/530 s : démarrage de l'inflammation sur la petite aile et la grande aile.

560 s : tasseaux enflammés dans l'angle.

620/ 640 s : chute de morceaux sur le brûleur de la petite aile et inflammation importante.

720 s : chute de particules incandescentes.

830 s : chute de particules enflammées (inflammation au sol supérieure à 10 s).

1020/1040 s : chutes de morceaux de produits. Forte inflammation. Tasseaux aux extrémités des ailes enflammés.

1160/1200 s : chute de la petite aile et grande partie de la grande aile.

Après essai, éprouvettes détruites à 90 %.

SYSTEME n°4

Eprouvette 9 :

Date de l'essai : 21/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10080071.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
Couche mince UNI SOLAR	1379,0	1379,0	79,3	Non atteint	61,6	379,4

Eprouvette 10 :

Date de l'essai : 23/09/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10090003.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
Couche mince UNI SOLAR	1118,3	1118,3	41,6	Non atteint	42,0	120,4

Commentaires communs aux 2 épreuves :

Avec démarrage du brûleur principal à 300 s

370/375 s : inflammation dans l'angle.

450/470 s : propagation latérale sur la petite aile (propagation sur environ 300/400 mm latéralement).

700 s : chutes de particules non enflammées.

760 s : décollement d'une bande sur la grande aile dans l'angle.

735 s : chute de particules enflammées (inflammation au sol supérieure à 10 s).

800/840 s : forte inflammation avec propagation latérale. Petite aile complètement enflammée.

Propagation sur grande aile jusqu'à 800 mm latéralement.

Après essais, bandes laminées détruites à 90 %.

SYSTEME n°5

Eprouvette 11 :

Date de l'essai : 13/10/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10100002.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
SOLAR COMPOSITE	191,4	191,4	13,7	Non atteint	28,3	397,7

Eprouvette 12 :

Date de l'essai : 14/10/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10100003.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
SOLAR COMPOSITE	246,4	246,4	13,7	Non atteint	30,3	424,0

Eprouvette 13 :

Date de l'essai : 14/10/2010

Nom du fichier informatique : C:\SBICALC\DATA\10100004.CSV

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
SOLAR COMPOSITE	149,1	149,1	13,0	Non atteint	29,9	405,4

Commentaires communs aux 3 épreuves :

Avec démarrage du brûleur principal à 300 s

400/410 s : bris de verre.

480/500 s : inflammation sur la grande aile (à la jonction du module et du moule composite).

500 s : dégagement gazeux en partie haute de la petite aile (sur coté extérieur) ; gaz provenant de la lame d'air ventilé créé par le moule.

600/650 s : inflammation importante dans l'angle avec une hauteur de flamme supérieure à 1500 mm.

700 s : fusion visible de l'encapsulant. Propagation latérale.

840 s : chutes de particules non enflammées.

A partir de 1000 s : augmentation du débit calorifique (liée sans doute à la combustion de la résine polyester).

1050 à 1200 s : chutes de morceaux de verre.

1025 s : (éprouvette n°12) : chute de particules enflammées (inflammation au sol inférieure à 10 s).

1450 s : (éprouvette n°11) : chute de particules enflammées (inflammation au sol inférieure à 10 s).

Après essais, modules détruits sur environ 400 mm de large avec fortes inflammations persistantes.

MOYENNE DES DIFFERENTS PARAMETRES SUR 2 OU 3 EPREUVES

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
PW 500	178,1	178,1	19,6	Non atteint	17,5	148,1

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
PWX 500	38,2	38,2	1,9	Non atteint	0,3	19,8

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
Ardoise SOLESIA	366,3	366,3	41,8	Non atteint	14,1	146,4

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
Couche mince UNI SOLAR	1248,6	1248,6	60,4	Non atteint	51,8	249,9

DESIGNATION	FIGRA 0,2 W/s	FIGRA 0,4 W/s	THR _{600s} MJ	LFS _{edge}	SMOGRA m ² /s ²	TSP _{600s} m ²
SOLAR COMPOSITE	195,6	195,6	13,5	Non atteint	29,5	409,0

Rappel des limites de classement selon la norme NF EN 13501-1

CLASSEMENT DES PRODUITS :	EQUIVALENCE REGLEMENTAIRE :
<p>Les produits essayés présentent un comportement du type :</p> <p>D-s2,d0 pour le système 1 - Référence PW 500</p> <p>B-s1,d0 pour le système 2 - Référence PWX 500</p> <p>D-s2,d2 pour le système 3 - Référence ardoise SOLESIA</p> <p>E, d2 pour le système 4 - Référence couche mince UNI SOLAR</p> <p>C-s3,d1 pour le système 5 - Référence SOLAR COMPOSITE</p>	

ANALYSE DES COURBES DE DEBIT CALORIFIQUE

Légende

HRR Prod.	: débit calorifique du produit en kW
HRR(30)	: moyenne du débit calorifique du produit en kW sur 30 s
THR	: énergie totale dégagée par le produit en MJ
FIGRA	: indice de vitesse de développement du feu en W/s

Système n°1 : PW 500

	<p><u>Epreuve 1</u></p> <p>Remarque : sur cette épreuve les boîtiers de raccordement sont disposés au droit de l'angle intérieur.</p> <p>390 s : bris de verre. 550 s : début d'inflammation importante de l'encapsulant. 700 s : combustion de l'encapsulant et des tasseaux bois de l'angle. 1000 s : inflammation persistante à 1500 mm de hauteur. 1200 s : forte inflammation de toute la surface de la petite aile et du tasseau de l'extrémité de la petite aile.</p>
	<p><u>Epreuve 2</u></p> <p>Remarque : sur cette épreuve les boîtiers de raccordement sont à l'extrémité opposée à l'angle.</p> <p>410 s : bris de verre. 560 s : début d'inflammation importante de l'encapsulant. 690 s : combustion de l'encapsulant et des tasseaux bois de l'angle. 800 s : inflammation persistante à 1500 mm de hauteur. 1500 s : forte inflammation de toute la surface de la petite aile.</p>
	<p><u>Epreuve 3</u></p> <p>Remarque : sur cette épreuve les boîtiers de raccordement sont à l'extrémité opposée à l'angle.</p> <p>410 s : bris de verre. 560 s : début d'inflammation importante de l'encapsulant. 640 s : combustion de l'encapsulant et des tasseaux bois de l'angle. 700 s : bris de verre important sur les 2 ailes. 800 s : forte inflammation de toute la surface de la petite aile et du tasseau de l'extrémité de la petite aile.</p>

Nota : les échelles des graphiques ci-dessus ne sont pas identiques.

Système n°2 : PWX 500

	<p><u>Epreuve 1</u></p> <p>440 s : bris de verre. 540 s : début d'inflammation de l'encapsulant.</p>
	<p><u>Epreuve 2</u></p> <p>430 s : bris de verre. 540 s : début d'inflammation de l'encapsulant.</p>
	<p><u>Epreuve 3</u></p> <p>420 s : bris de verre. 530 s : début d'inflammation de l'encapsulant.</p> <p>Attention : à 960 s, augmentation de la puissance du brûleur de 30 kW à environ 80 kW.</p>

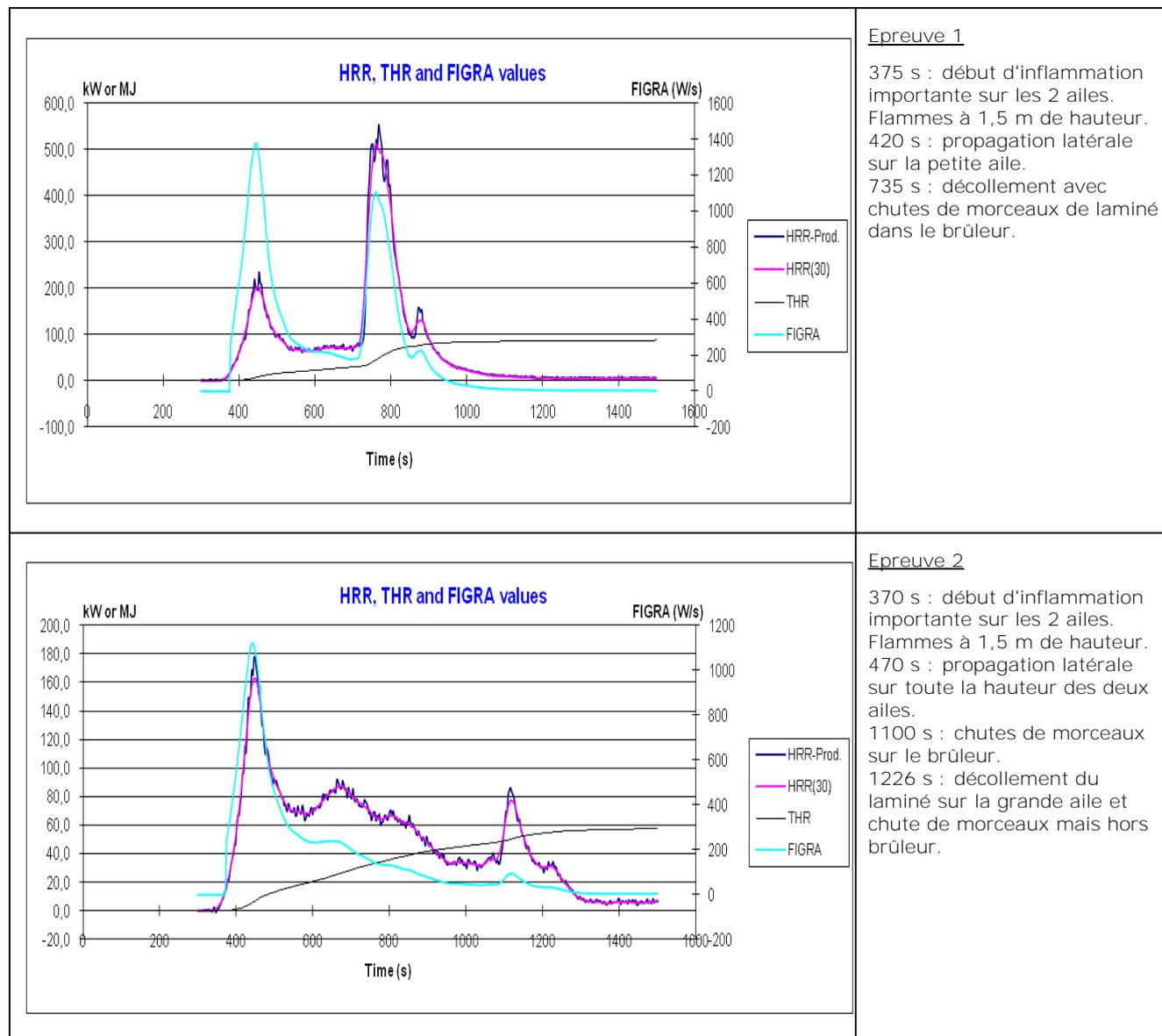
Nota : les échelles des graphiques ci-dessus ne sont pas identiques.

Système n°3 : ardoise SOLESIA

	<p><u>Epreuve 1</u></p> <p>530 s : début d'inflammation importante de l'encapsulant et des tasseaux bois. 620 s : explosion d'éléments de la petite aile avec combustion de l'encapsulant et des tasseaux bois de l'angle. 800 s : flammes à 1,5 m de hauteur. 1020 s : explosion d'éléments de la grande aile. Inflammation de plusieurs tasseaux.</p>
	<p><u>Epreuve 2</u></p> <p>500 s : début d'inflammation importante de l'encapsulant et des tasseaux bois. 640 s : explosion d'éléments de la petite aile avec combustion de l'encapsulant et des tasseaux bois de l'angle. 865 s : explosion d'éléments de la grande aile. Flammes à 1,5 m de hauteur. 1045 s : explosion d'éléments de la grande aile. Inflammation de plusieurs tasseaux.</p>

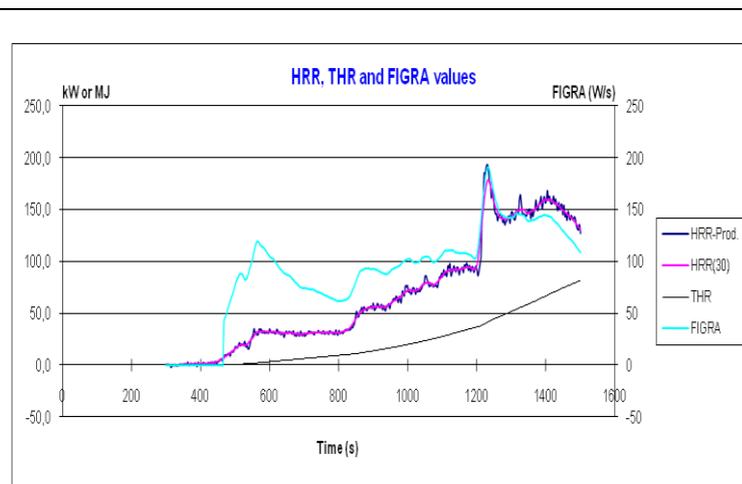
Nota : les échelles des graphiques ci-dessus ne sont pas identiques.

Système n°4 : couche mince UNISOLAR



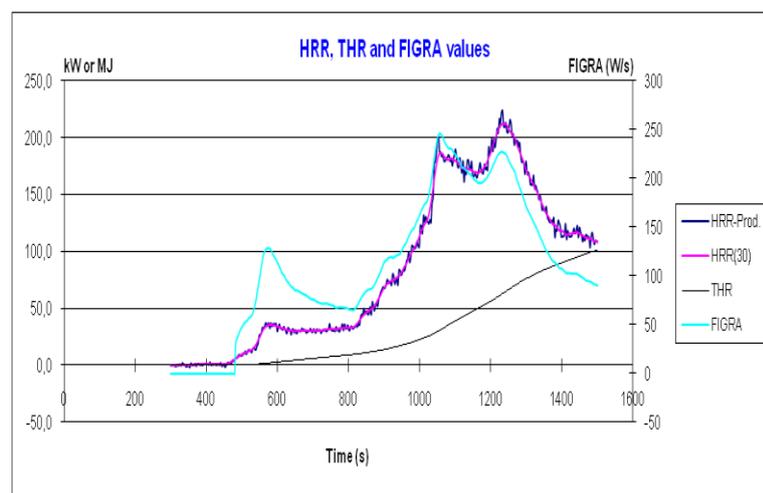
Nota : les échelles des graphiques ci-dessus ne sont pas identiques.

Système n°5 : SOLAR COMPOSITE



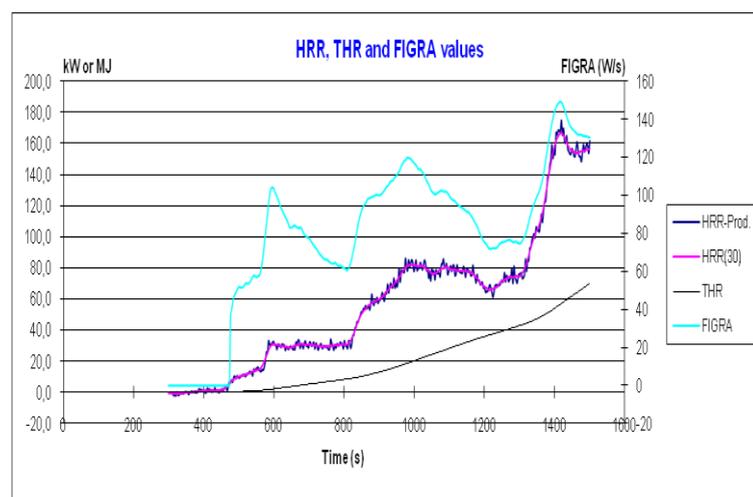
Epreuve 1

410 s : bris de verre.
480 s : légère inflammation à la jonction module/composite au niveau de l'angle (grande aile).
650 s : inflammation importante dans l'angle avec hauteur de flamme à 1,5 m.
840 s : chute de morceaux de verre sur la petite aile. Inflammation avec propagation latérale.
1220 s : chute importante de morceaux de verre sur la petite aile. Forte inflammation du composite (résine polyester) et en partie des tasseaux de l'angle.



Epreuve 2

420 s : bris de verre.
500 s : légère inflammation à la jonction module/composite au niveau de l'angle (grande aile).
545 s : explosion du verre de la petite aile. Inflammation importante dans l'angle avec hauteur de flamme à 1,5 m. Effluents gazeux visible en haut, à droite de la petite aile (effet cheminée).
800 s : chute de morceaux de verre sur la petite aile. Inflammation avec propagation latérale.
1050 s : chute importante de morceaux de verre sur petite aile. Forte inflammation du composite (résine polyester) et en partie des tasseaux de l'angle.
1200 s : forte inflammation du composite (résine polyester) et de l'encapsulant sur une grande partie de la surface (écoulement de matière fusible enflammée).



Epreuve 3

410 s : bris de verre.
480 s : légère inflammation à la jonction module/composite au niveau de l'angle (grande aile).
550 s : explosion du verre de la petite aile. Inflammation importante dans l'angle avec hauteur de flamme à 1,5 m. Effluents gazeux visible en haut, à droite de la petite aile (effet cheminée).
840 s : chute de morceaux de verre. Inflammation avec propagation latérale.
1050 s : chute importante de morceaux de verre sur la petite aile. Forte inflammation du composite (résine polyester) et en partie des tasseaux de l'angle.
1300 s : forte inflammation du composite (résine polyester) et de l'encapsulant sur une grande partie de la surface (écoulement de matière fusible enflammée).

Nota : les échelles des graphiques ci-dessus ne sont pas identiques.

**MESURE DU POUVOIR CALORIFIQUE SUPERIEUR
DETERMINATION DES PERFORMANCES D'INCOMBUSTIBILITE DES PRODUITS DE
CONSTRUCTION HOMOGENES ET DES COMPOSANTS SUBSTANTIELS OU NON
SUBSTANTIELS DES PRODUITS DE CONSTRUCTION HETEROGENES
MESURE DU POUVOIR CALORIFIQUE SUPERIEUR SELON NF EN ISO 1716**

*En vue des essais, le matériau est réduit à l'état pulvérulent.
Les essais sont effectués à la bombe calorimétrique.*

Notations :

$M_{produit}$ = Masse de l'échantillon

M_{acide} = Masse d'acide benzoïque

Formule de calcul du P.C.S. (Pouvoir Calorifique Supérieur) en MJ/kg

E = équivalent en eau du calorimètre

T_i = température initiale du calorimètre

T_f = température finale du calorimètre

$\Delta T = T_f - T_i$

$$PCS_{produit} = \frac{(E \times \Delta T) - (M_{acide} \times PCS_{acide})}{M_{produit}}$$

Les résultats des mesures sont consignés dans les tableaux ci-dessous.

SYSTEMES n°1 et 2

Ces résultats sont utilisables pour les produits PW 500 et PWX 500

Encapsulant des modules PW 500 et PWX 500	Epreuve 1	Epreuve 2
$M_{produit}$ (g)	0,4978	0,5004
ΔT (°C)	1,735	1,752
PCS en MJ/kg	30,707	30,849

PCS_{Moyen} Encapsulant des modules PW 500 et PWX 500 = **30,778 MJ/kg**

2 feuilles d'EVA (épaisseur 0,38 mm et masse volumique de 838 kg/m³).

Quantité de matière organique : environ 318,5 g/m² x 2 soit environ 19,6 MJ/m² au total.

Envers polymère du module PW 500	Epreuve 1	Epreuve 2
$M_{produit}$ (g)	0,4978	0,5035
ΔT (°C)	1,761	1,796
PCS en MJ/kg	31,165	31,426

PCS_{Moyen} envers polymère du module PW 500 = **31,295 MJ/kg**

Polymère (épaisseur 0,17 mm et masse surfacique de 243 g/m²).

Quantité de matière organique : 243 g/m² soit environ 7,6 MJ/m² au total.

SYSTEME n°3

Encapsulant ardoise SOLESIA	Epreuve 1	Epreuve 2
M _{produit} (g)	0,4987	0,4961
ΔT (°C)	1,884	1,856
PCS en MJ/kg	32,594	32,980

PCS_{Moyen} **Encapsulant ardoise SOLESIA = 32,787 MJ/kg**

Quantité de matière organique estimée : EVA + TEDLAR, 2 feuilles EVA + 1 couche TEDLAR soit environ 960 g/m² d'où environ 31,5 MJ/m².

SYSTEME N°4

UNI SOLAR zone bleue	Epreuve 1	Epreuve 2
M _{produit} (g)	0,5018	0,5038
ΔT (°C)	1,230	1,319
PCS en MJ/kg	21,525	23,006

PCS_{Moyen} **UNI SOLAR zone bleue = 22,266 MJ/kg**

UNI SOLAR zone noire	Epreuve 1	Epreuve 2
M _{produit} (g)	0,5038	0,4982
ΔT (°C)	1,820	1,785
PCS en MJ/kg	31,887	31,566

PCS_{Moyen} **UNI SOLAR zone noire = 31,727 MJ/kg**

Quantité de matière organique : environ 2430 g/m² (adhésif + encapsulants) soit dans le cas défavorable environ 77 MJ/m².

SYSTEME N°5

SOLAR COMPOSITE	Epreuve 1	Epreuve 2
M _{produit} (g)	0,5011	0,5023
ΔT (°C)	1,935	1,896
PCS en MJ/kg	7,669	7,034

PCS_{Moyen} **SOLAR COMPOSITE = 7,352 MJ/kg**

Quantité de matière organique du composite (hors module) : environ 3500 g/m² (Résine + 25 % de renfort verre) soit environ 25,7 MJ/m².

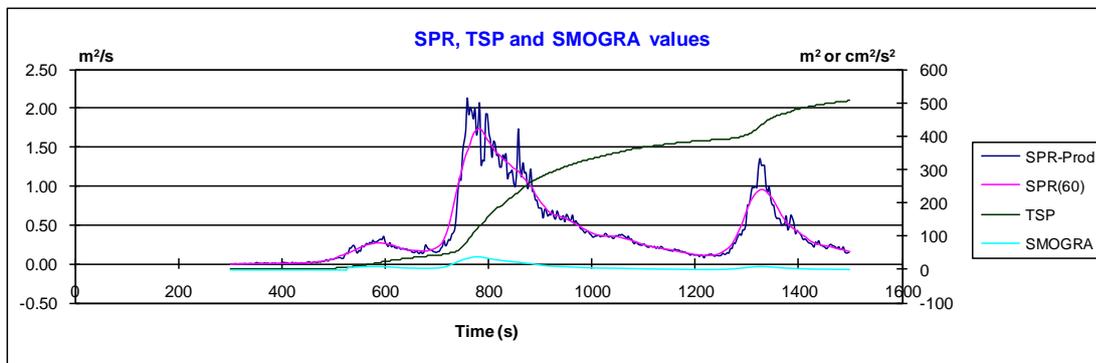
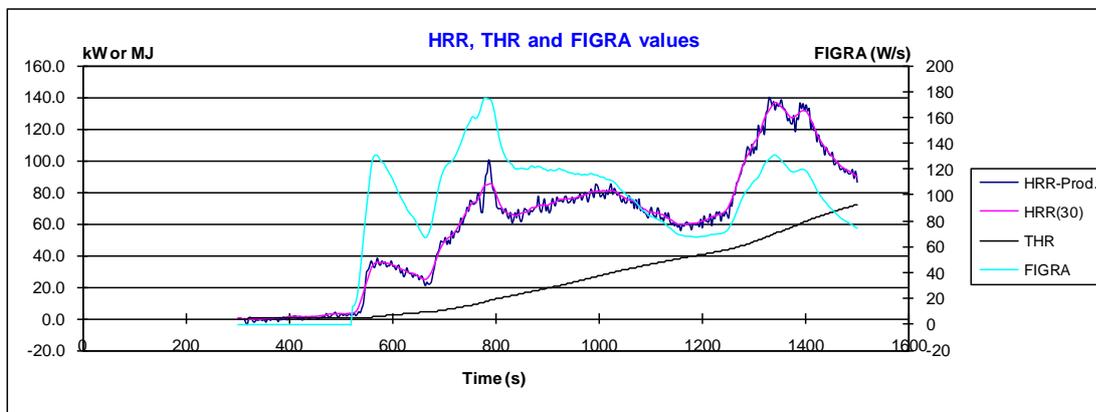
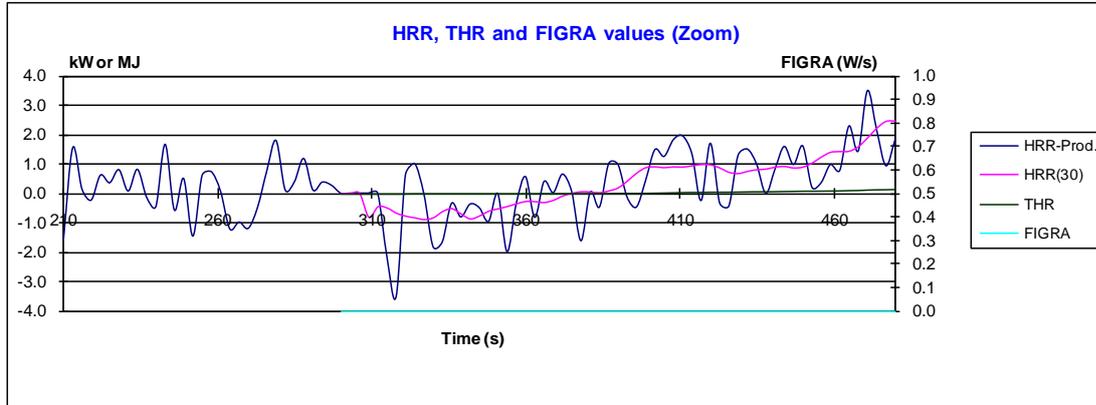
ANNEXE 1 AU RAPPORT D'ESSAIS N° RA10-0371

GRAPHIQUES SBI

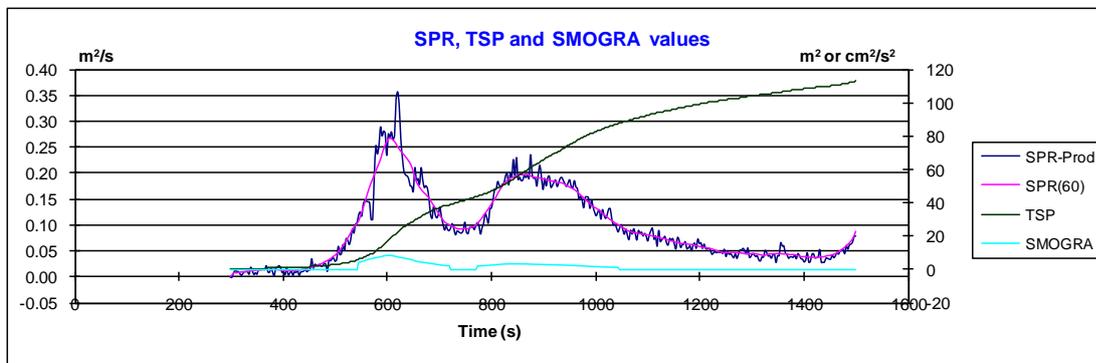
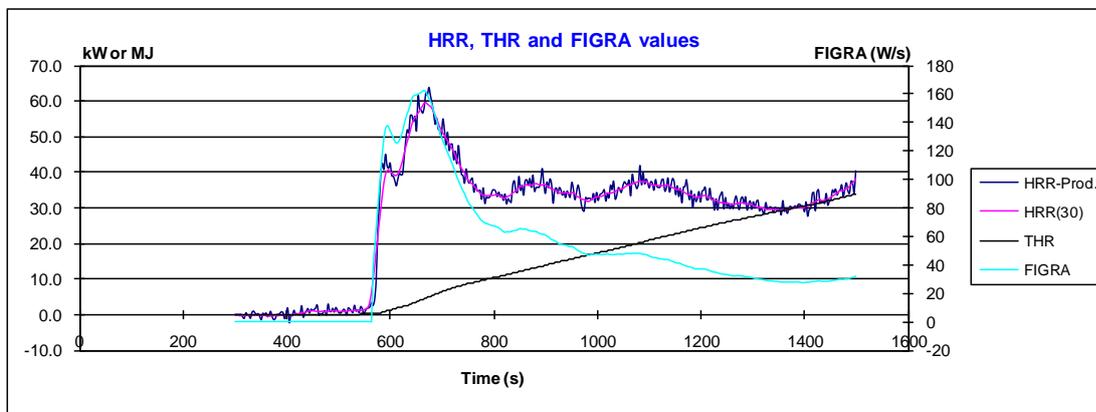
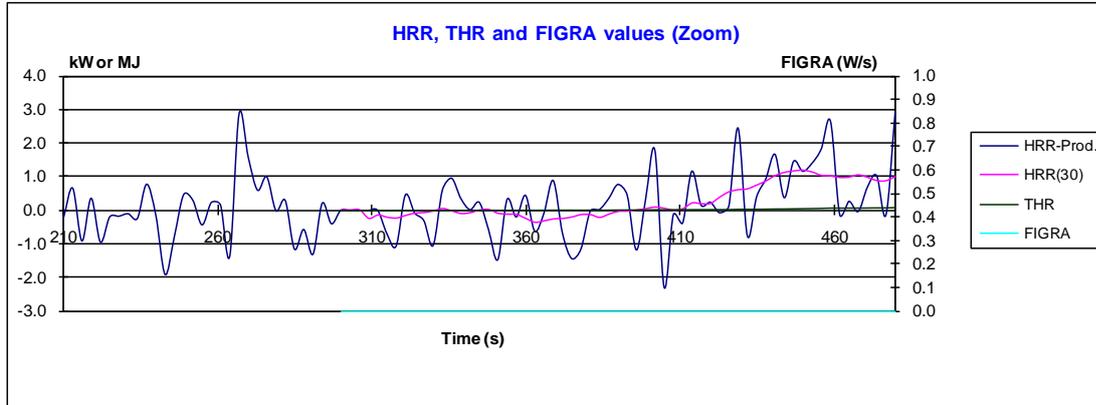
**Courbes de débit calorifique, vitesse de développement du feu
et débit de fumées**

La reproduction de cette annexe n'est autorisée
que sous sa forme intégrale.
Elle comporte 1467 pages.

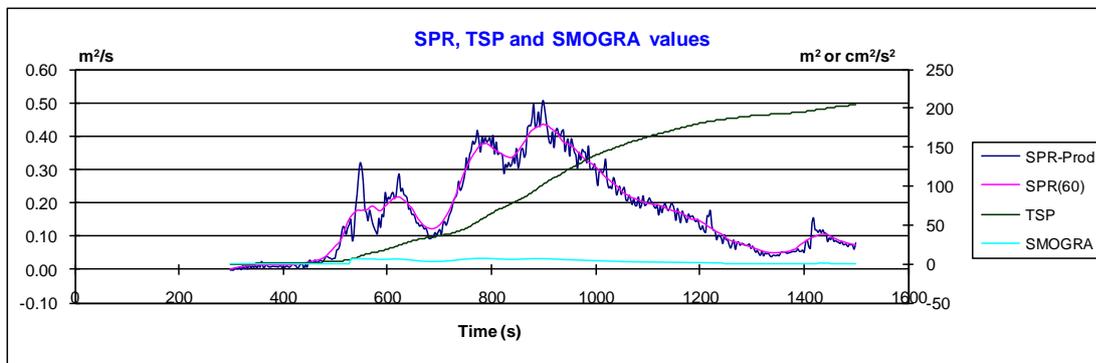
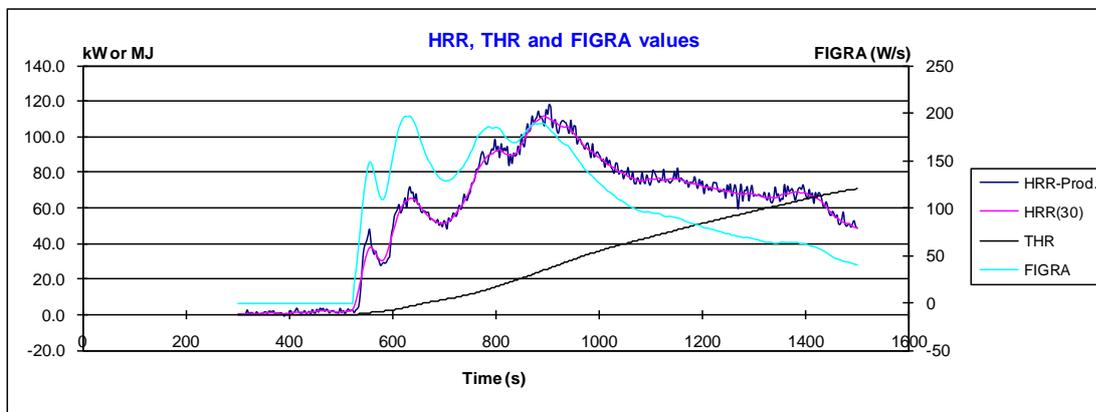
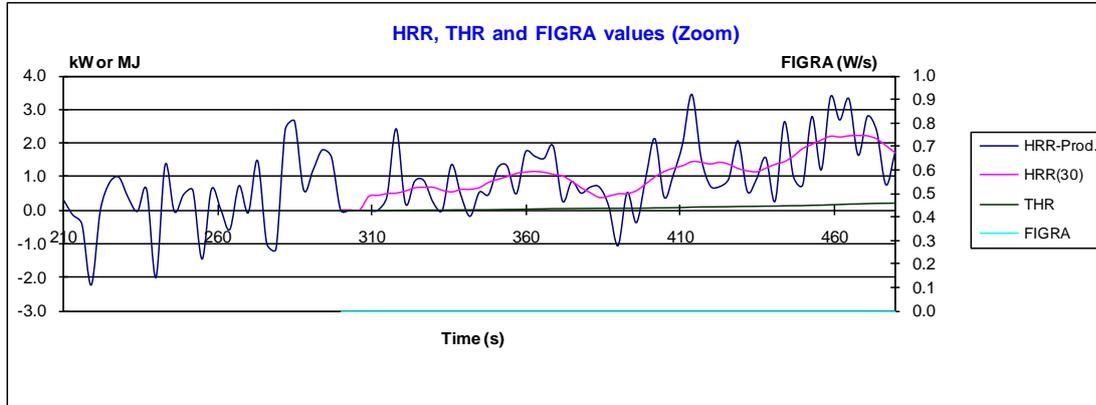
Eprouvette n° 1 : PW 500



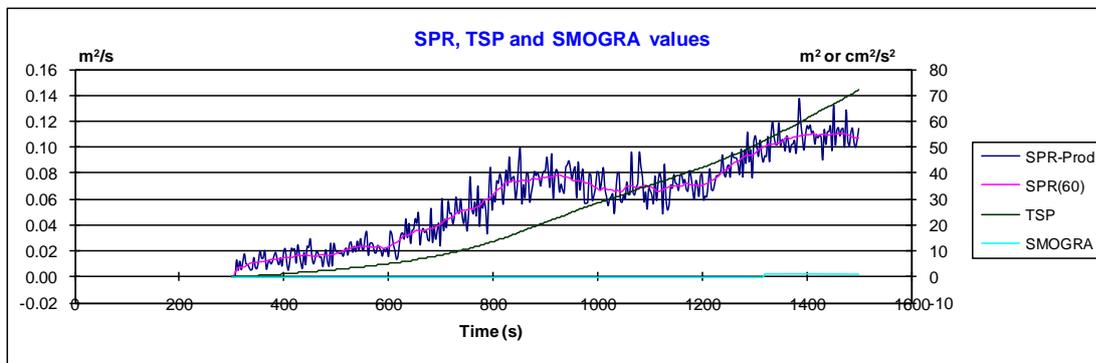
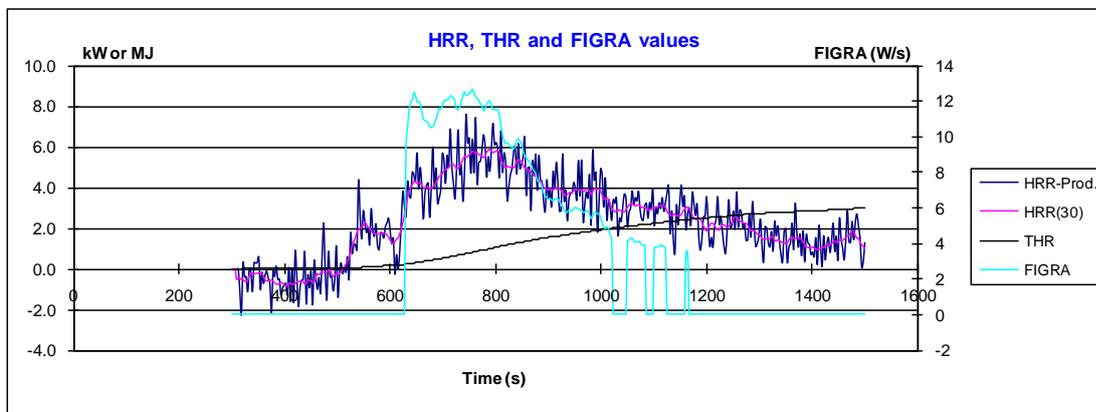
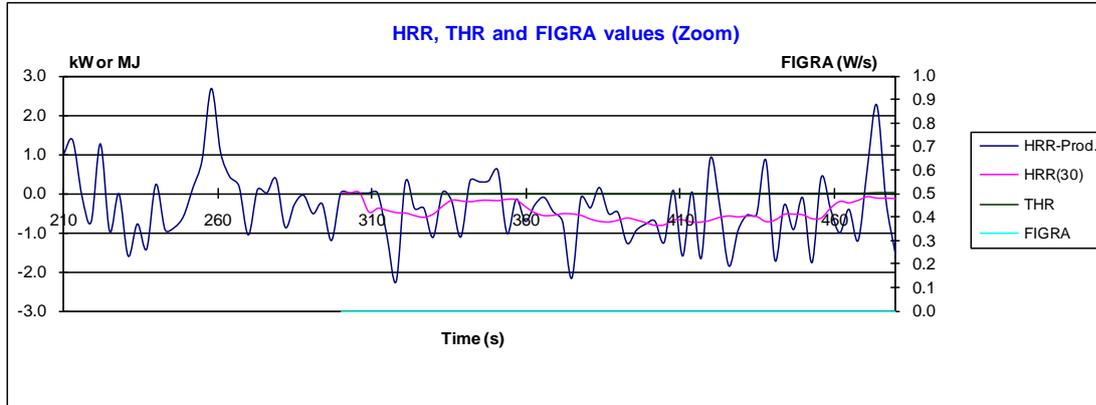
Eprouvette n° 2 : PW 500



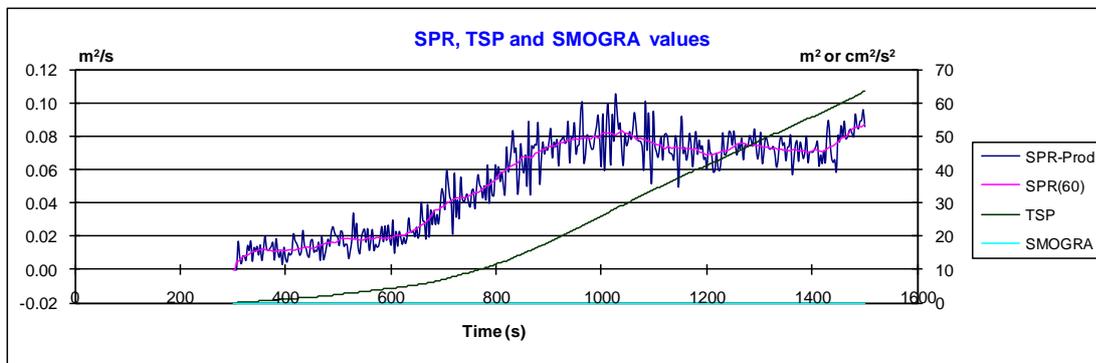
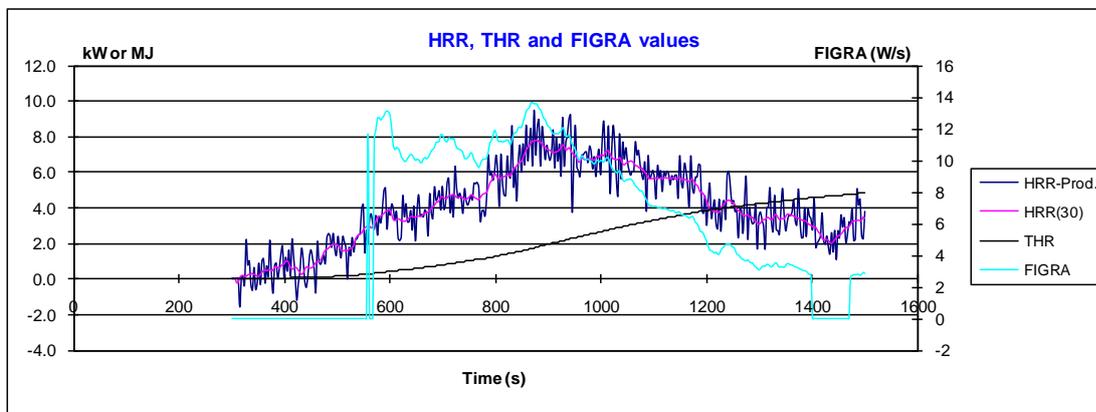
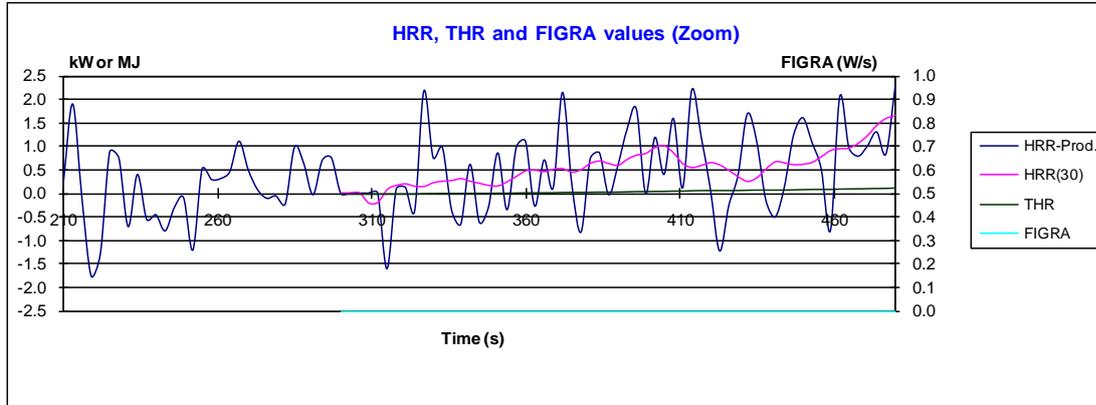
Eprouvette n° 3 : PW 500



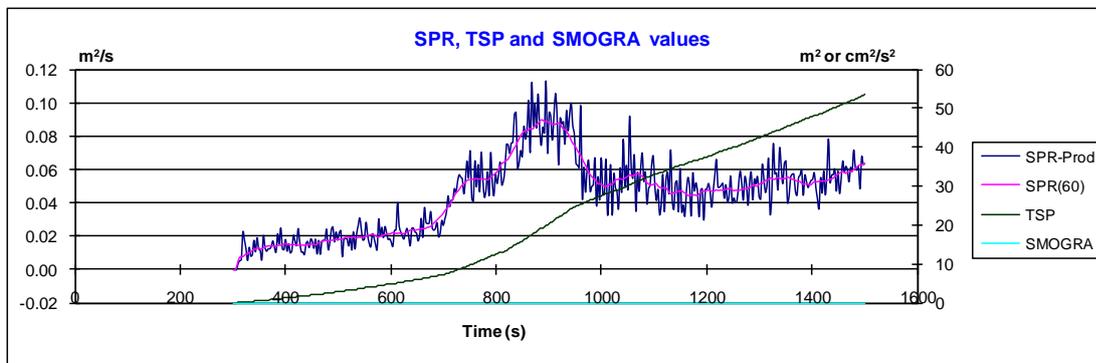
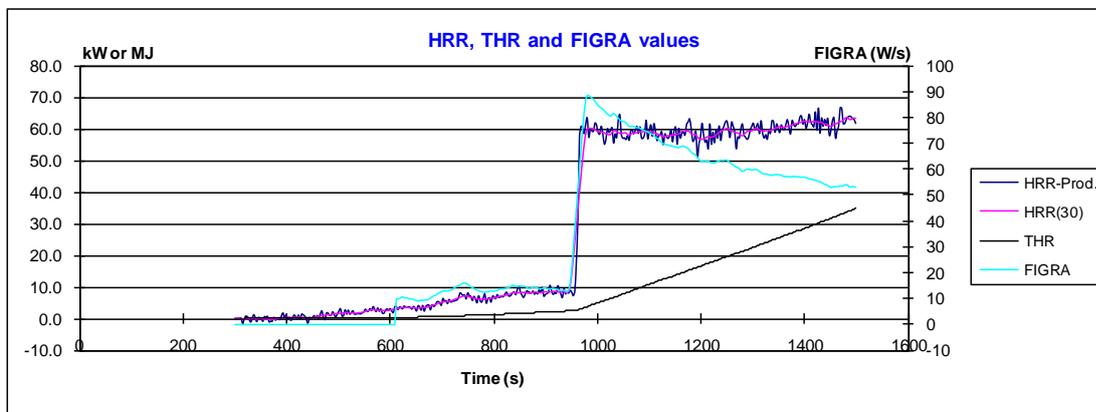
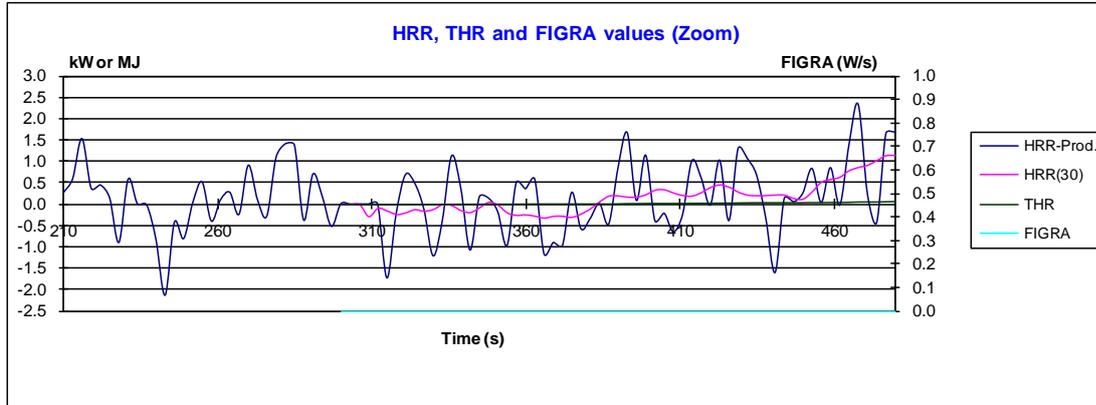
Eprouvette n° 4 : PWX 500



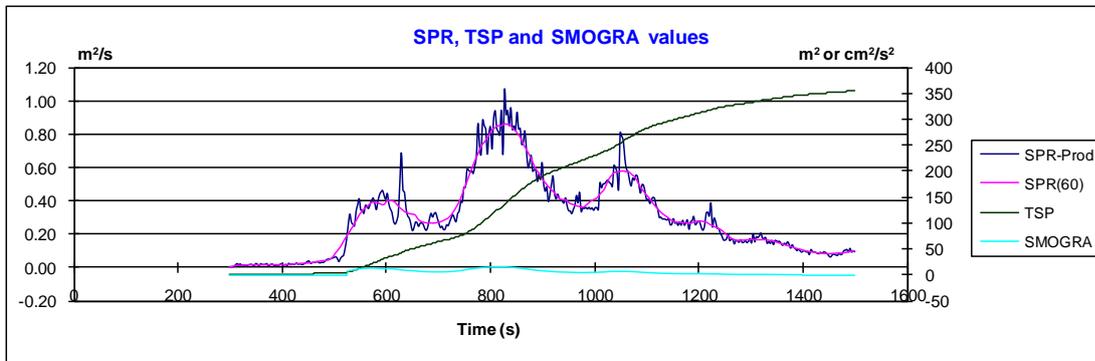
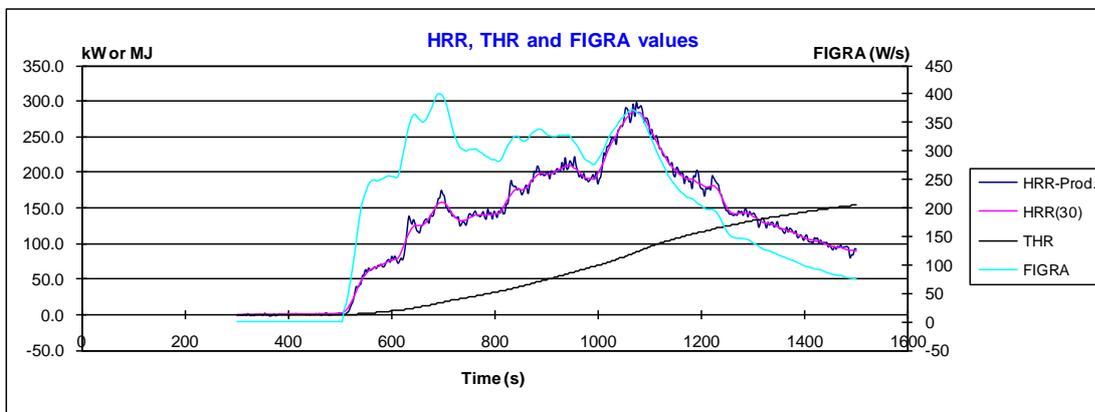
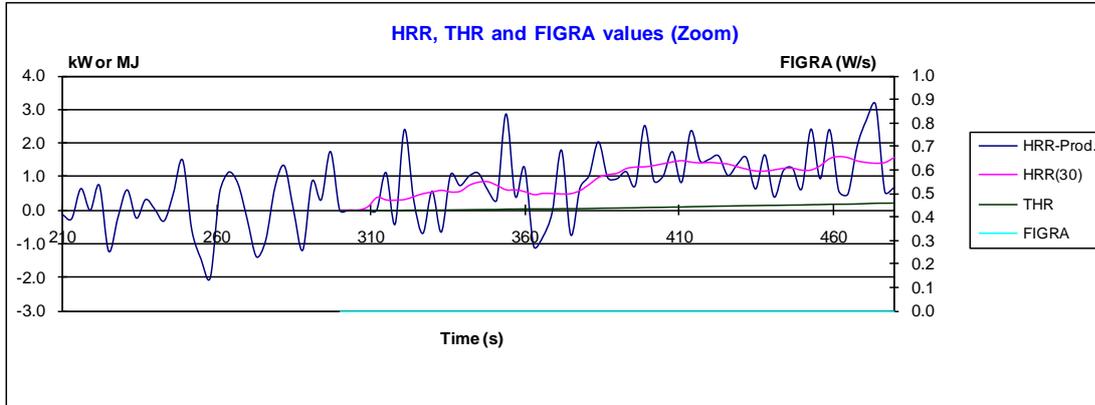
Eprouvette n° 5 : PWX 500



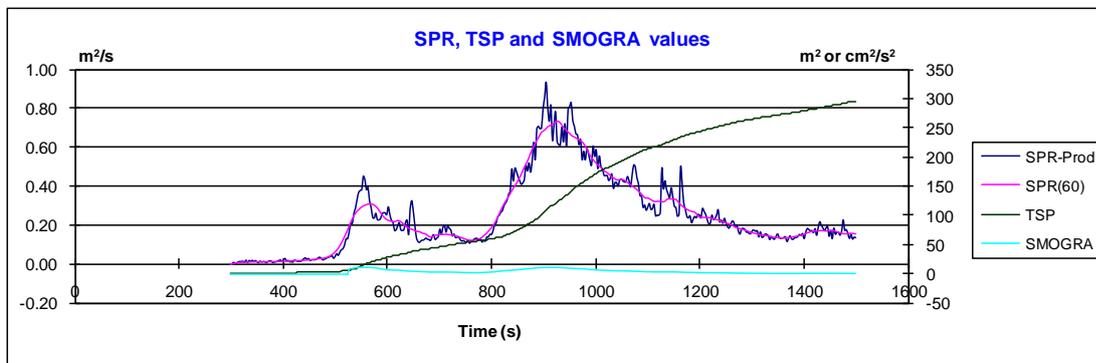
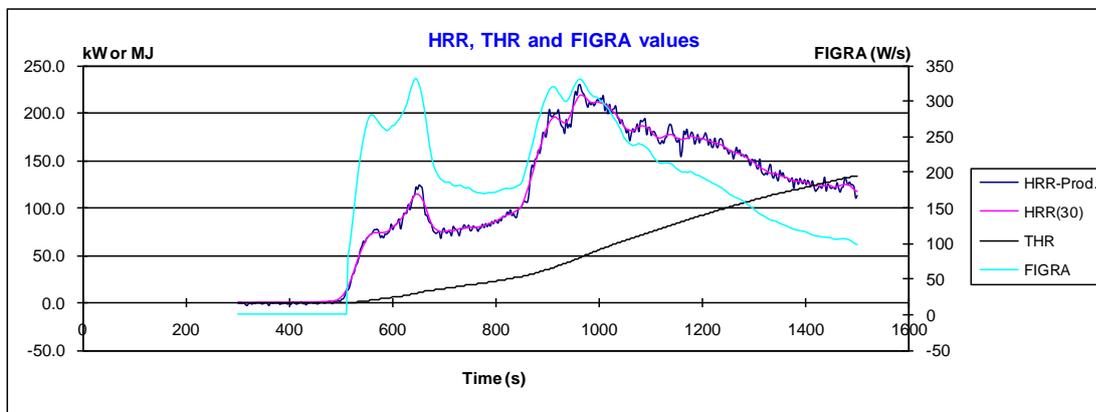
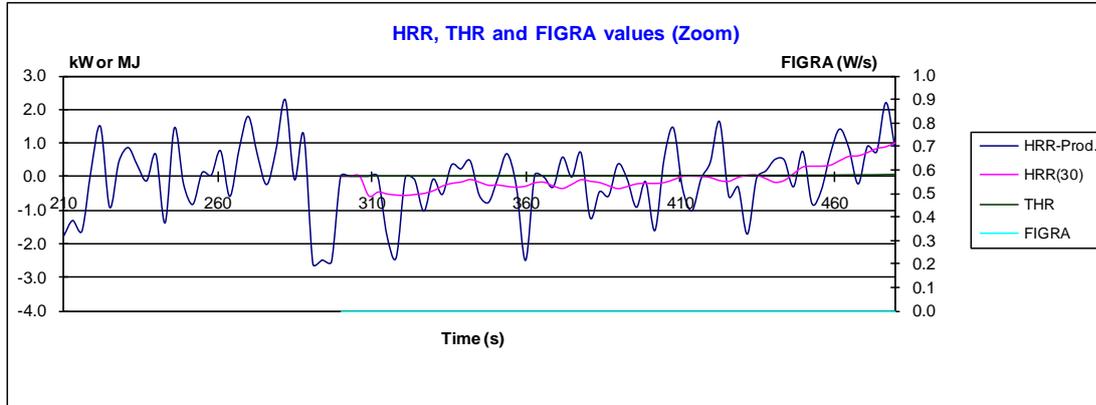
Eprouvette n° 6 : PWX 500



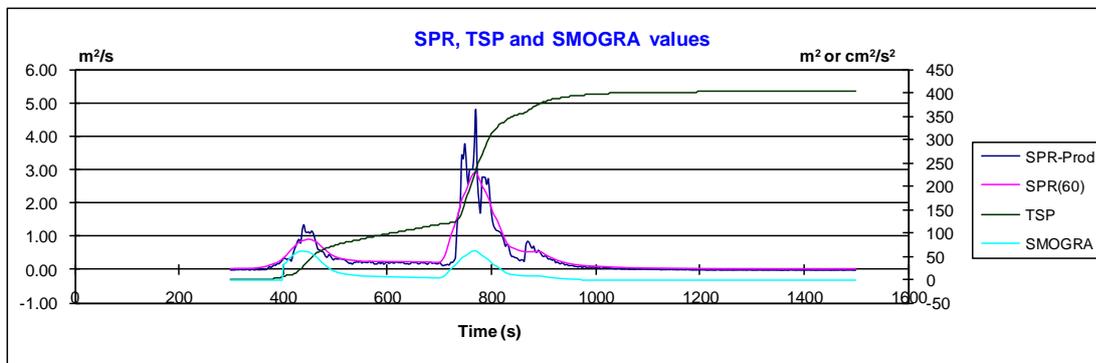
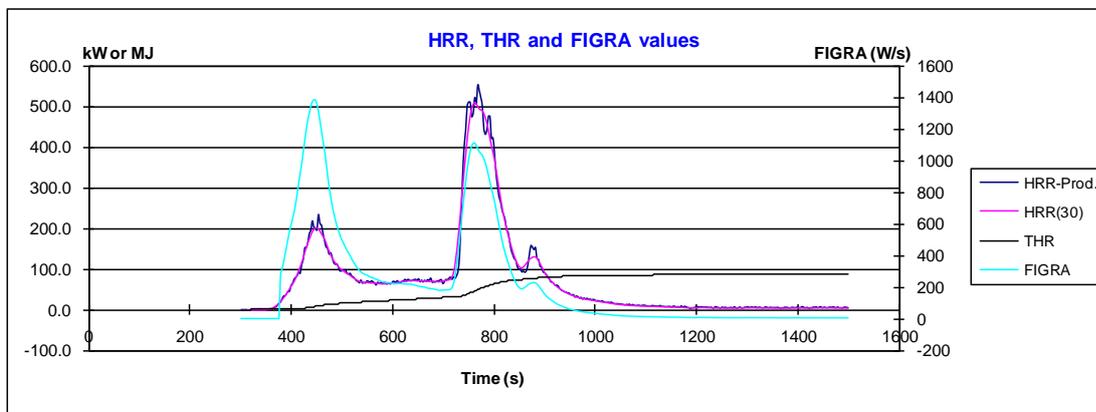
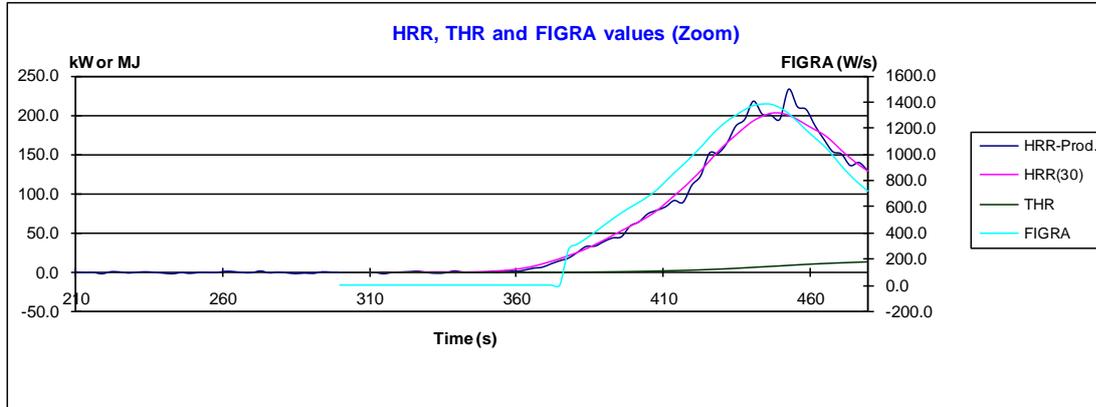
Eprouvette n° 7 : ardoise SOLESIA



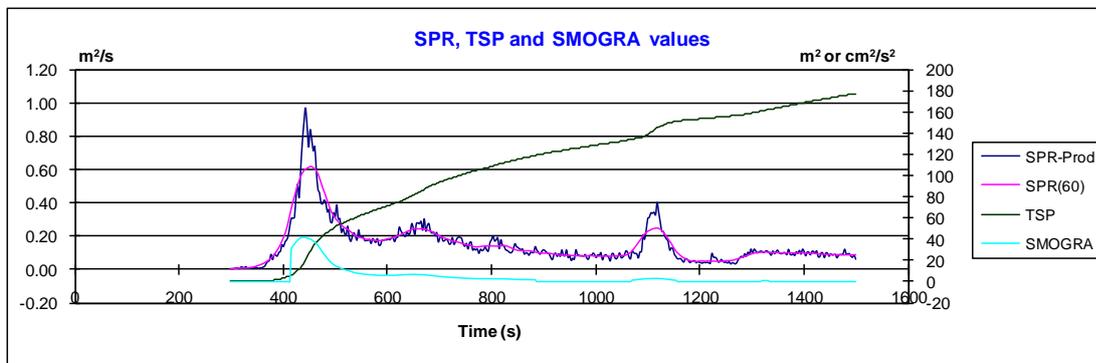
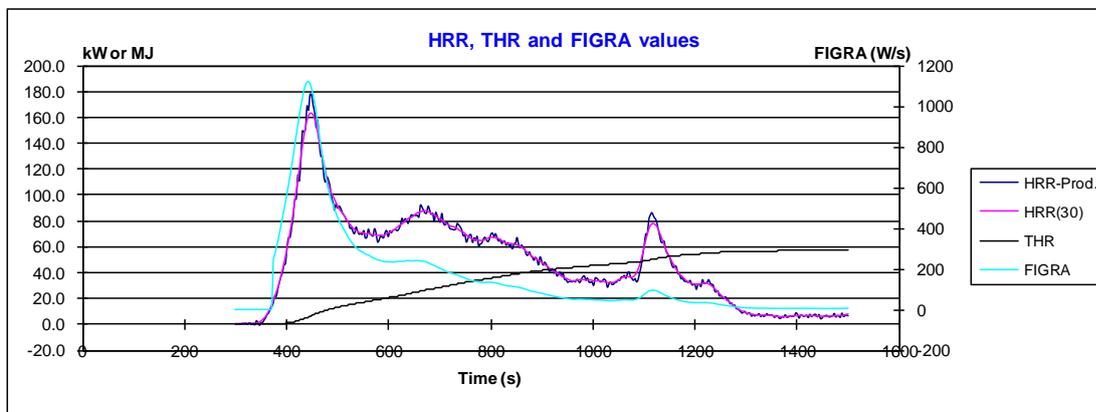
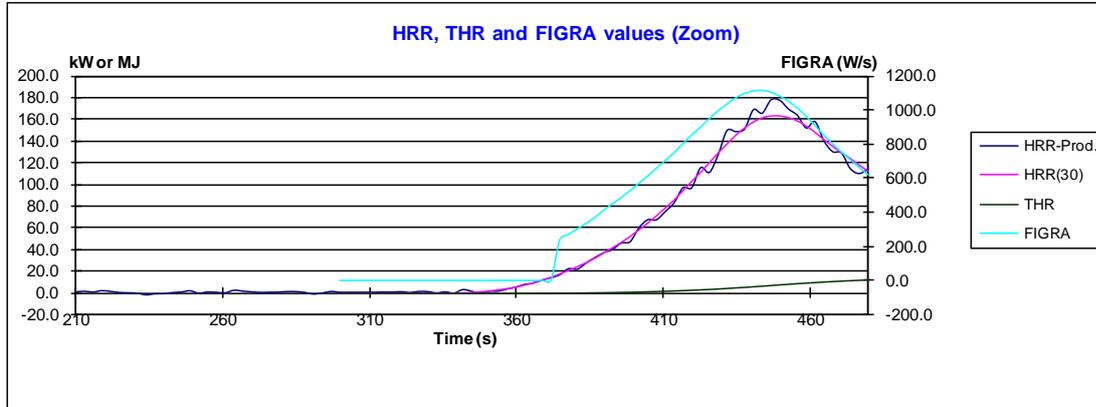
Eprouvette n° 8 : ardoise SOLESIA



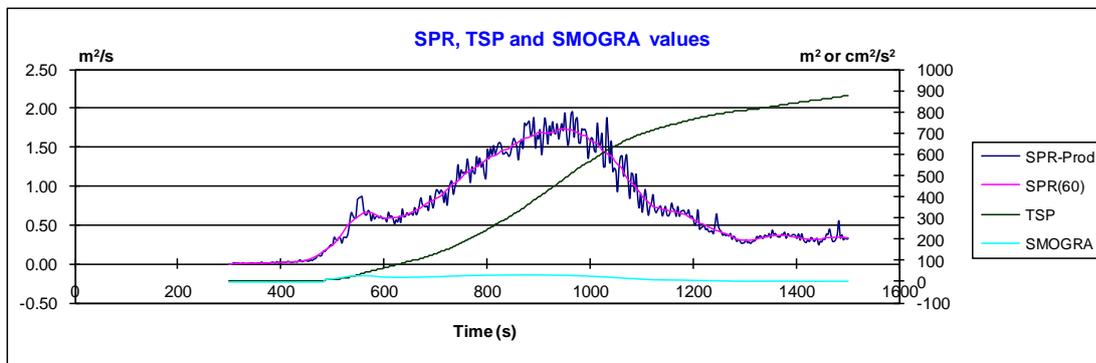
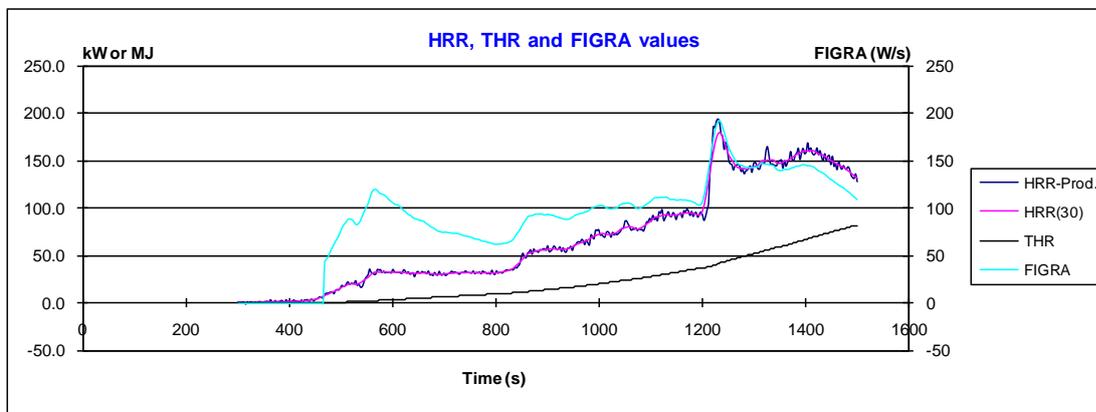
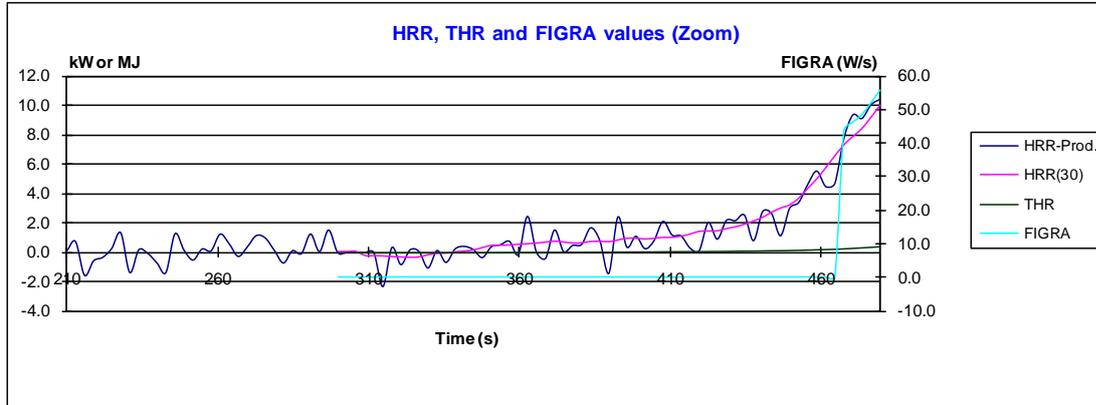
Eprouvette n° 9 : couche mince UNISOLAR



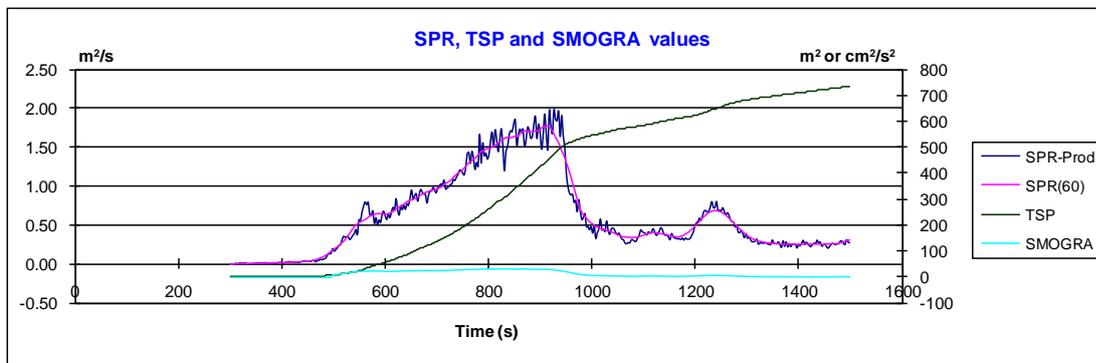
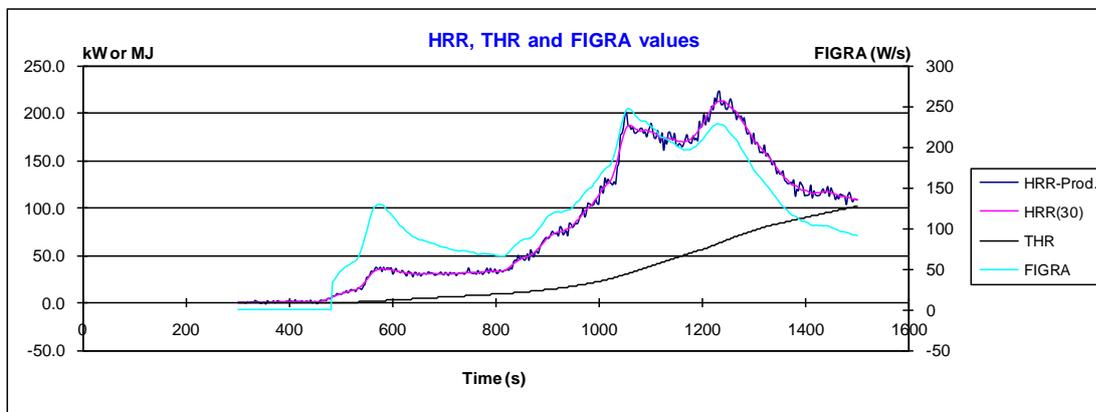
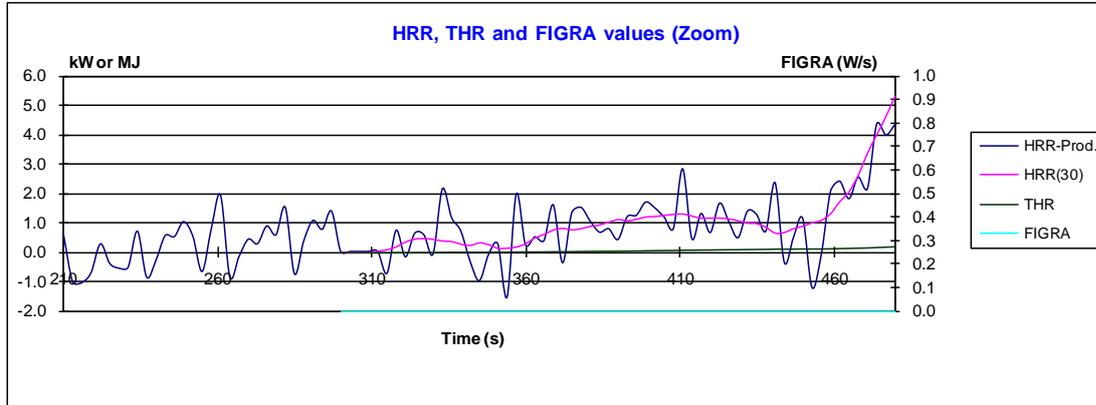
Eprouvette n° 10 : couche mince UNI SOLAR



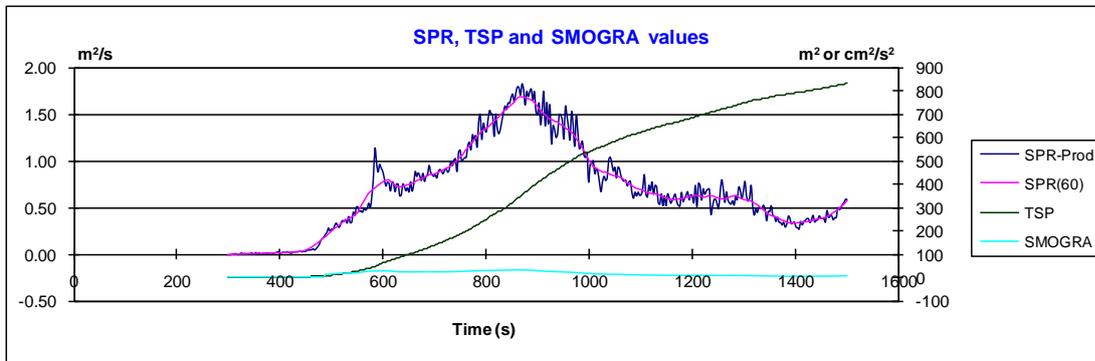
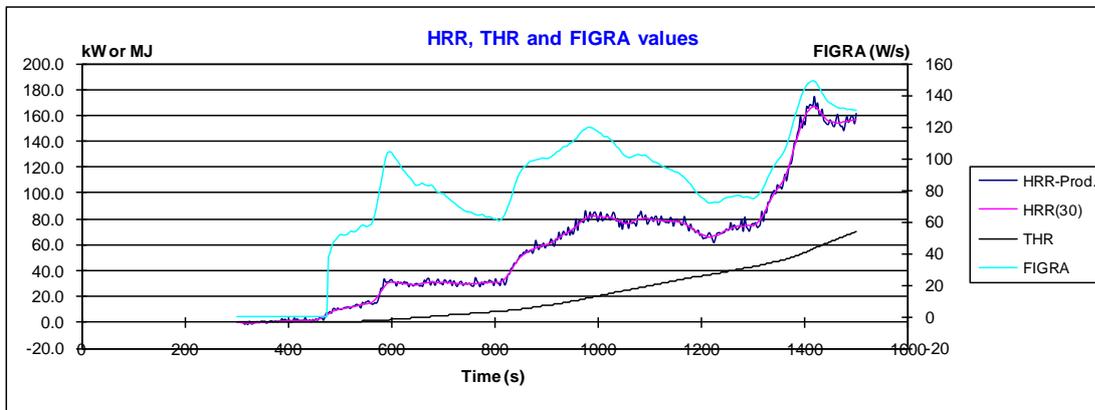
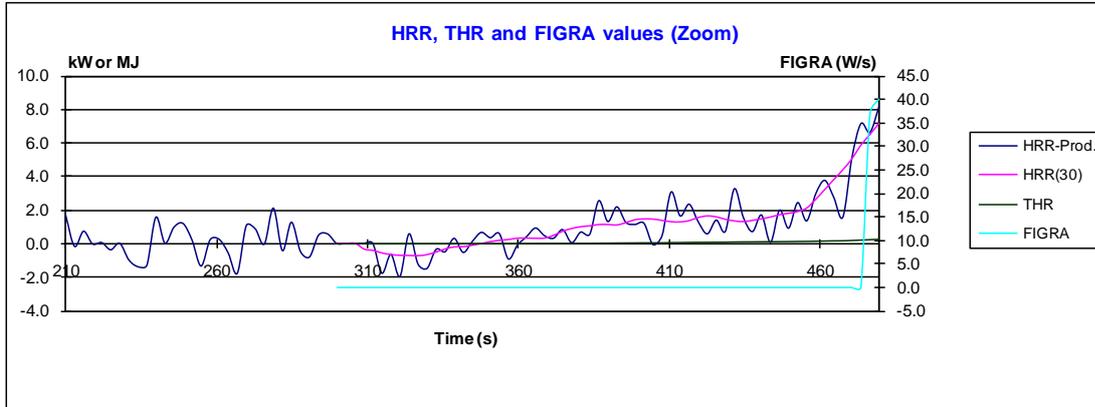
Eprouvette n° 11 : SOLAR COMPOSITE



Eprouvette n° 12 : SOLAR COMPOSITE



Eprouvette n° 13 : SOLAR COMPOSITE



ANNEXE 2 AU RAPPORT D'ESSAIS N° RA10-0371

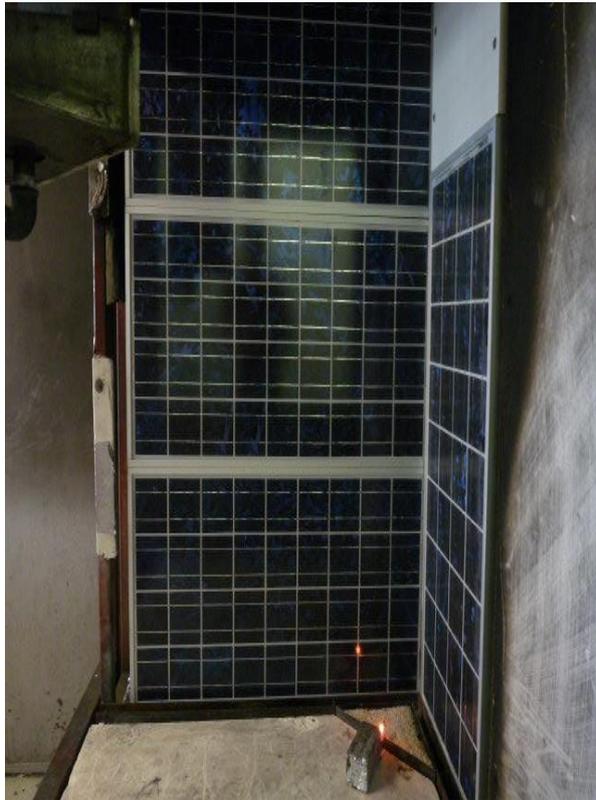
PHOTOGRAPHIES

**Des produits avant et après essais
de Réaction au Feu**

La reproduction de cette annexe n'est autorisée
que sous sa forme intégrale.
Elle comporte 14 pages.

Eprouvette n° 1 : PW 500

Avant essai



Après essai



Eprouvette n° 2 : PW 500

Avant essai



Après essai



Eprouvette n° 3 : PW 500

Avant essai



Après essai



Eprouvette n° 4 : PWX 500

Avant essai



Après essai



Eprouvette n° 5 : PWX 500

Avant essai

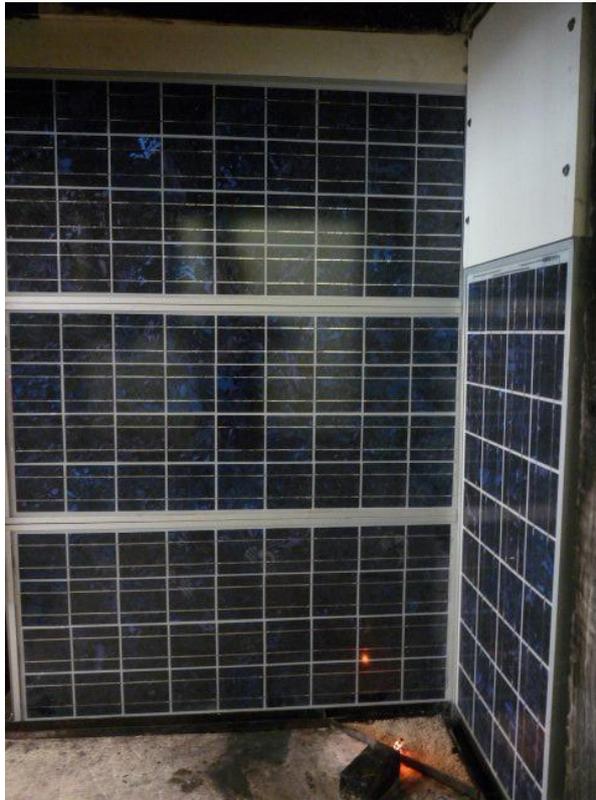


Après essai



Eprouvette n° 6 : PWX 500

Avant essai

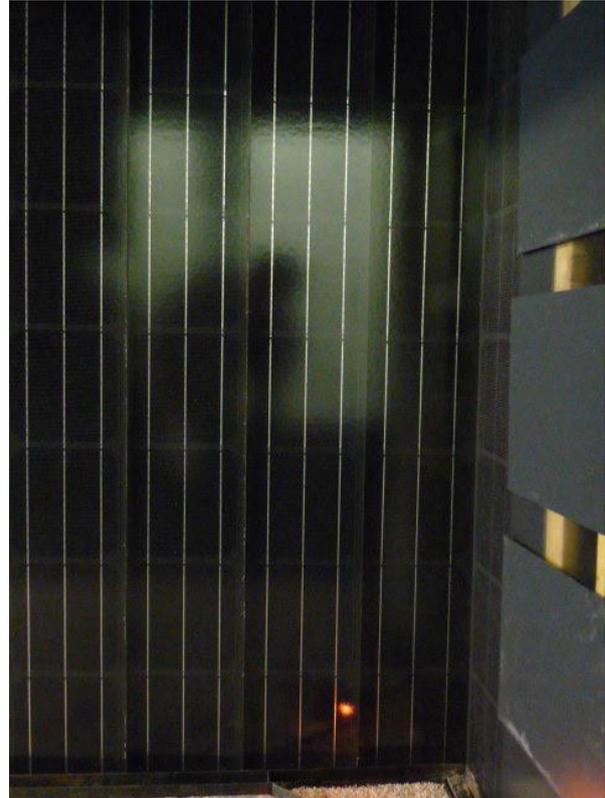


Après essai



Eprouvette n° 7 : ardoise SOLESIA

Avant essai



Après essai



Eprouvette n° 8 : ardoise SOLESIA

Avant essai

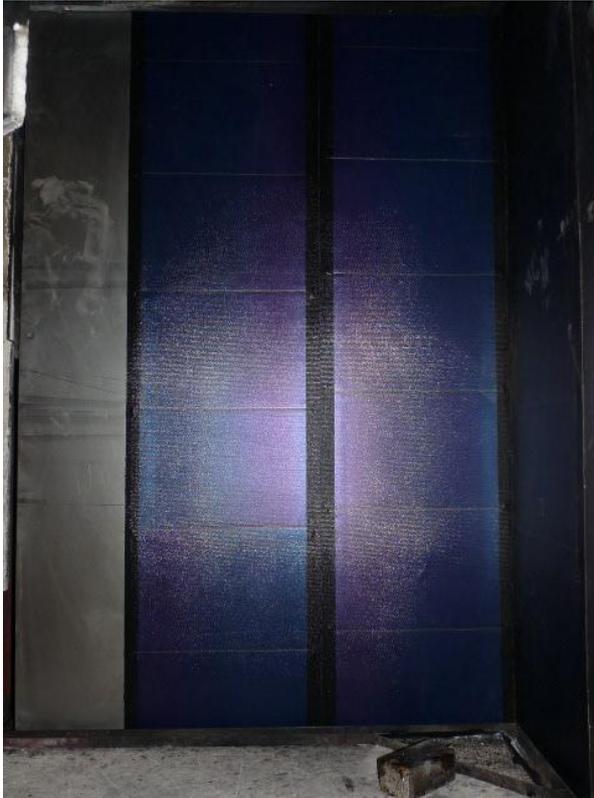


Après essai



Eprouvette n° 09 : couche mince UNI SOLAR

Avant essai



Après essai



Eprouvette n° 10 : couche mince UNI SOLAR

Avant essai

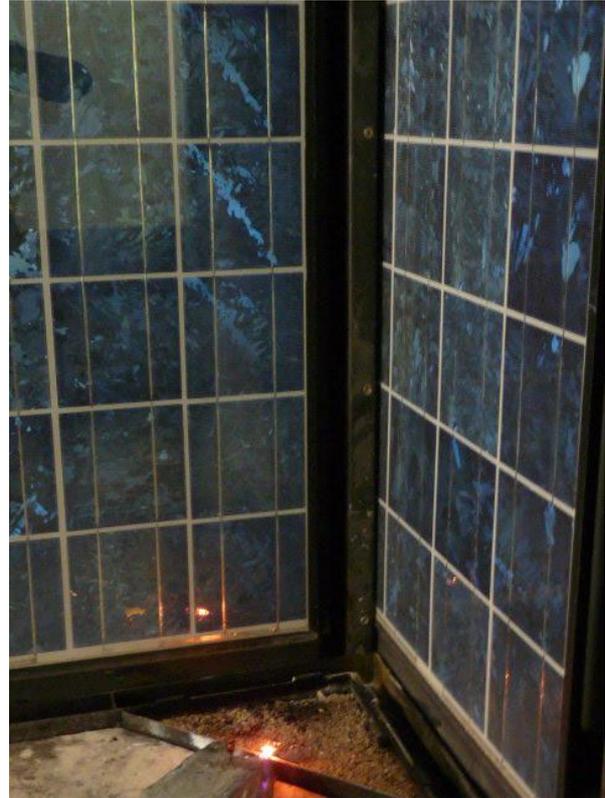
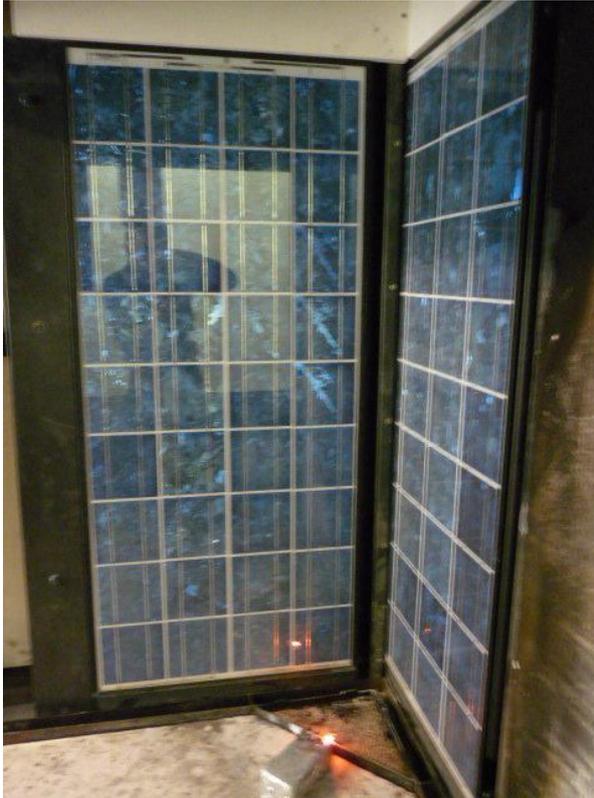


Après essai



Eprouvette n° 11 : SOLAR COMPOSITE

Avant essai

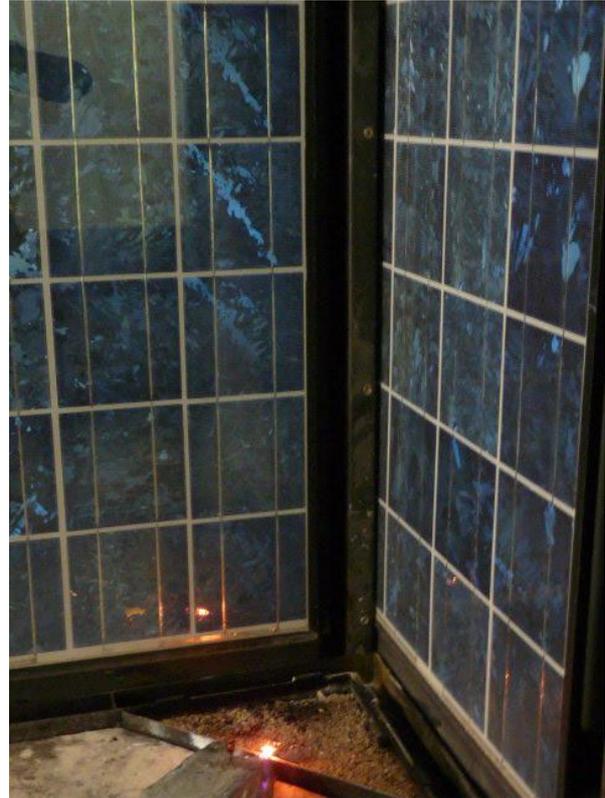
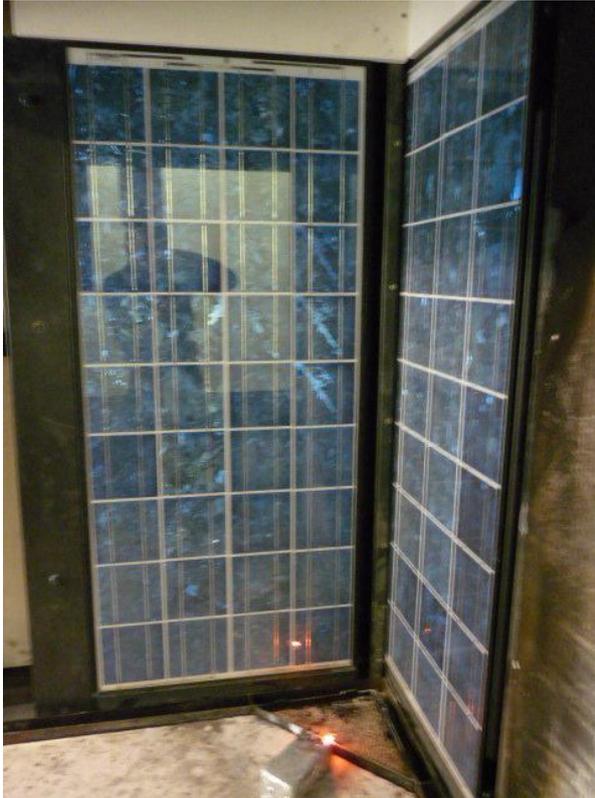


Après essai (et après extinction)



Eprouvette n° 12 : SOLAR COMPOSITE

Avant essai



Après essai



Eprouvette n° 13 : SOLAR COMPOSITE

Avant essai



Après essai



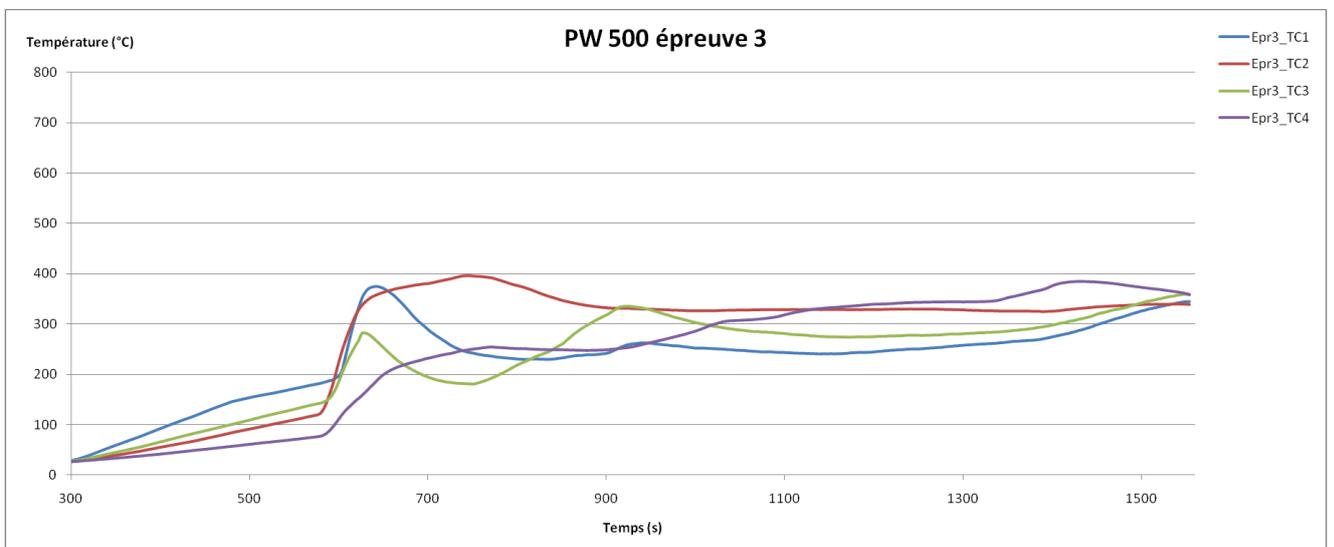
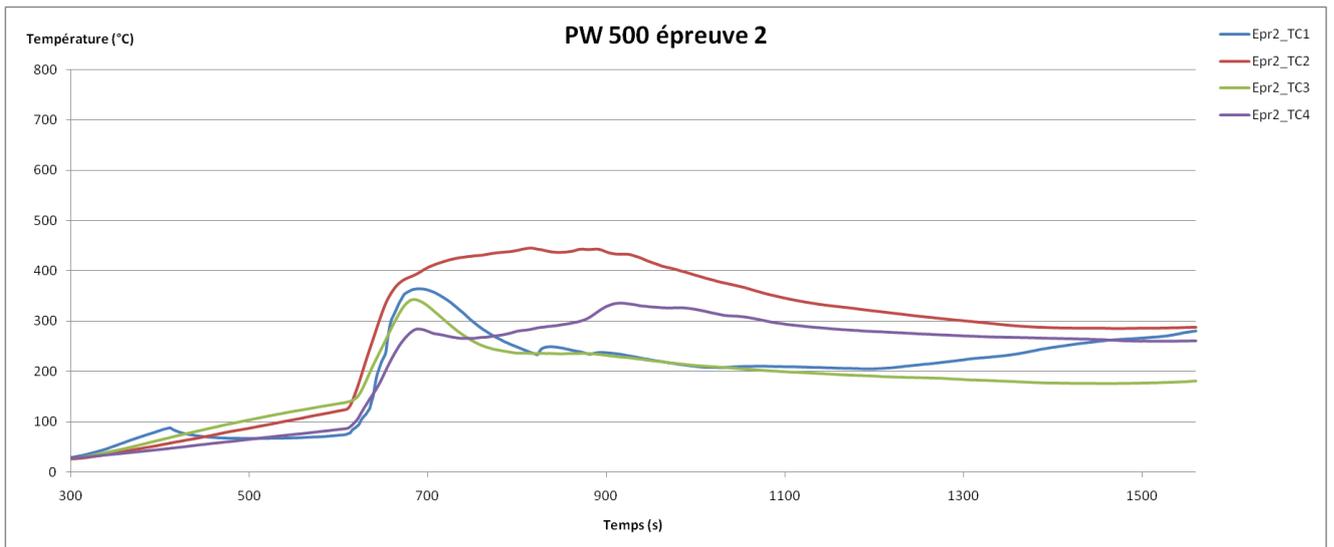
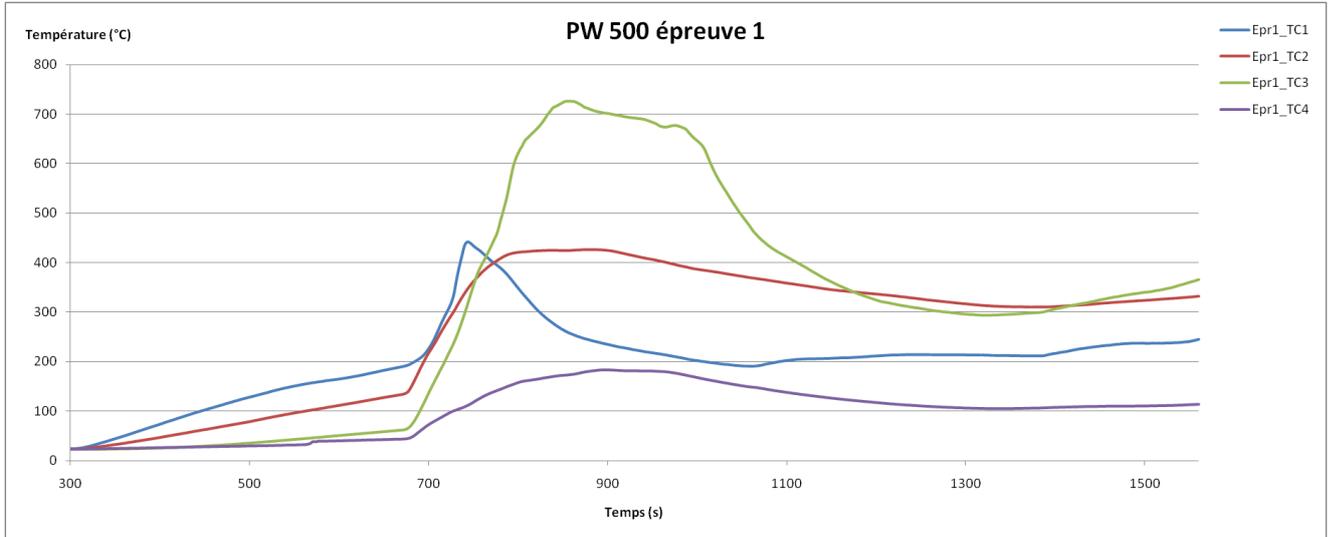
ANNEXE 3 AU RAPPORT D'ESSAIS N° RA10-0371

TEMPERATURES

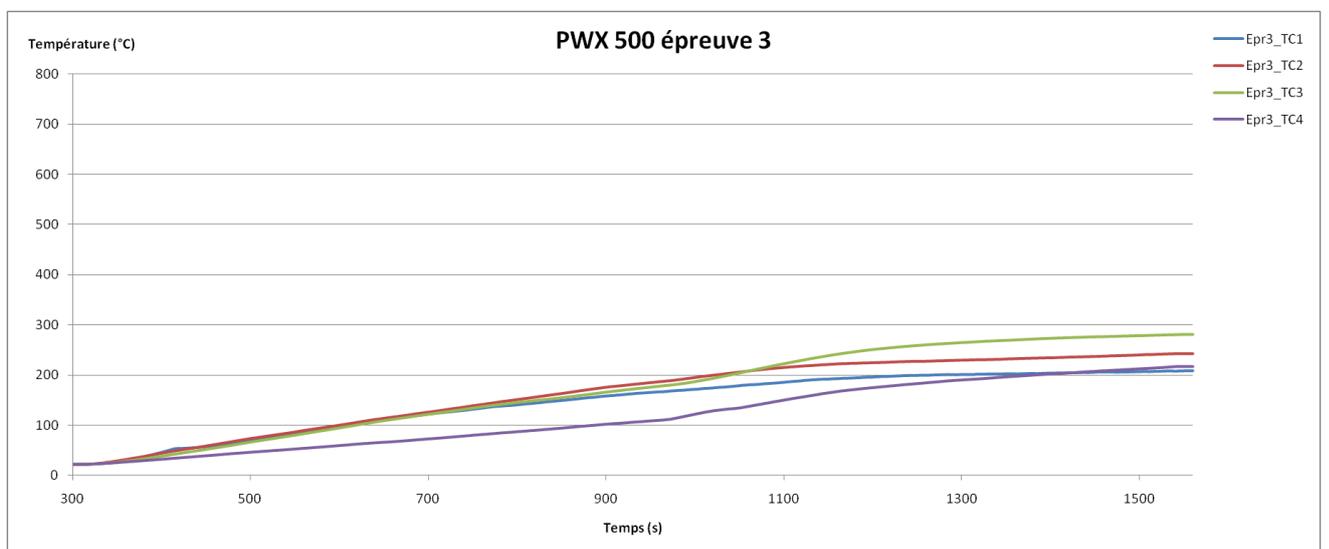
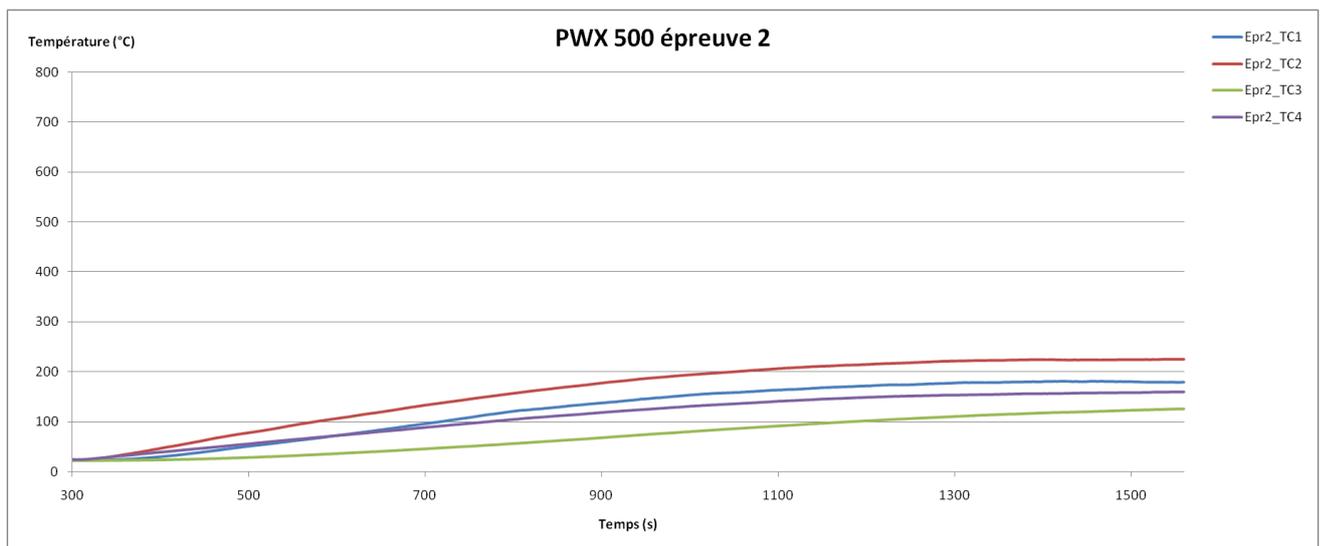
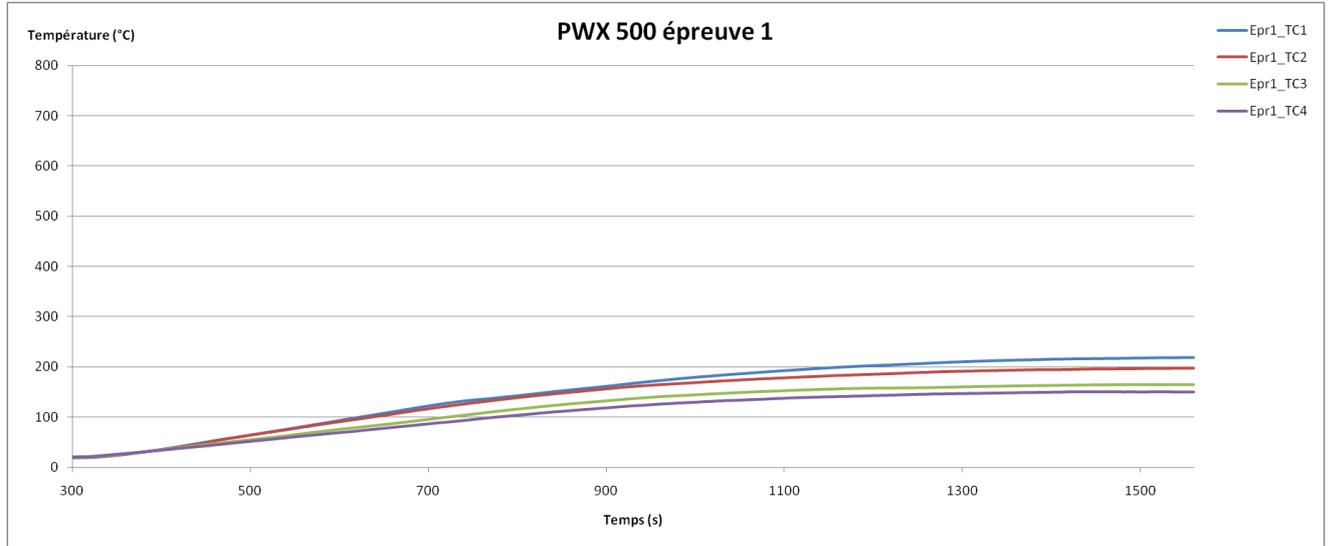
Courbes de températures mesurées aux dos des produits pendant les essais SBI

La reproduction de cette annexe n'est autorisée
que sous sa forme intégrale.
Elle comporte 6 pages.

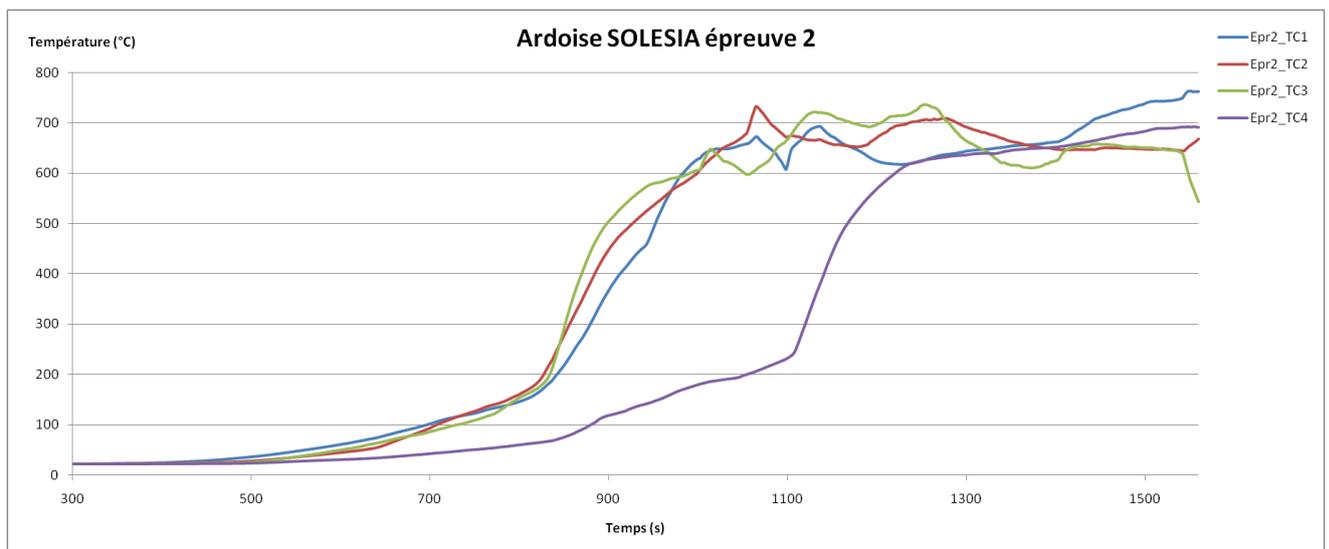
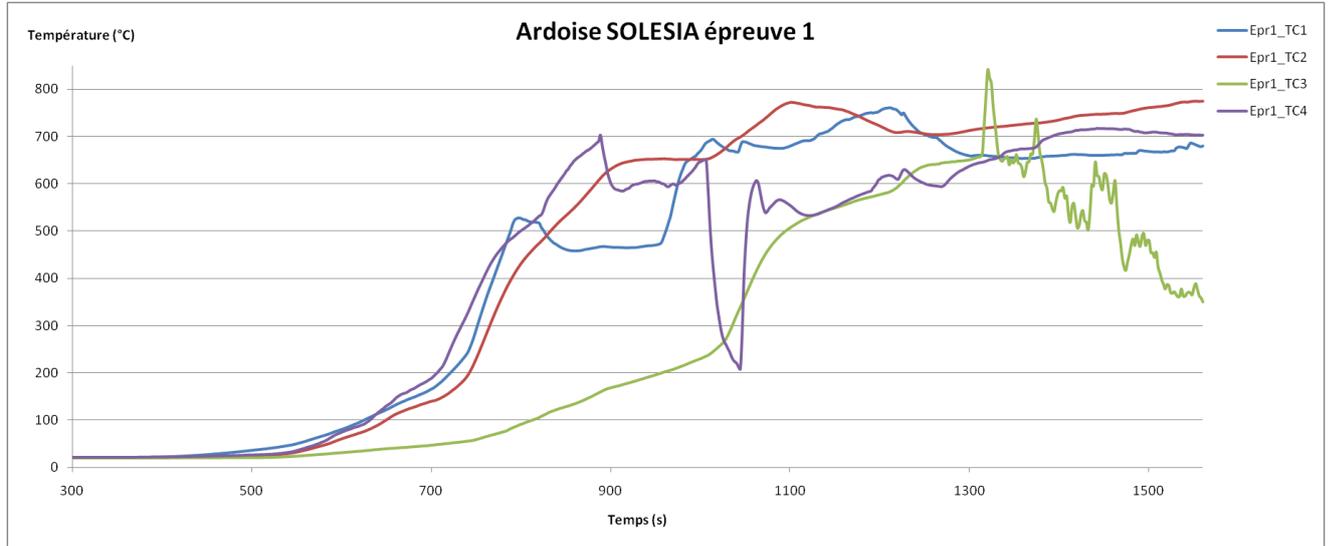
Systeme n°1 : PW 500



Systeme n° 2 : PWX 500



Systeme n° 3 : ardoise SOLESIA





le futur en construction

DEPARTEMENT SECURITE, STRUCTURES, FEU

Division Etudes et Essais Résistance au feu

PREVENTION DES RISQUES ASSOCIES A L'IMPLANTATION DE CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES SUR DES BATIMENTS INDUSTRIELS OU DESTINES A DES PARTICULIERS

Convention 7252

ANNEXE 4

RAPPORT D'ESSAIS N° RS10-127/A DE TOITURES EXPOSEES A UN FEU EXTERIEUR

Laboratoire pilote agréé par le Ministère de l'Intérieur (Arrêté du 5 février 1959).

Ce rapport d'essais atteste uniquement des caractéristiques de l'objet soumis aux essais et ne préjuge pas des caractéristiques de produits similaires. Il ne constitue pas une certification de produits au sens des articles L 115-27 à L 115-32 et R115-1 à R115-3 du code de la consommation modifié par la loi n° 2008-776 du 4 août 2008 article 113.

L'élément, objet du présent rapport, a été choisi en collaboration avec le demandeur.

En cas d'émission du présent rapport par voie électronique et/ou sur support physique électronique, seul le rapport sous forme de support papier signé par le CSTB fait foi en cas de litige. Ce rapport sous forme de support papier est conservé au CSTB pendant une durée minimale de 10 ans.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Il comporte 39 pages.

A LA DEMANDE DE :

MEEDDAT

Grande arche paroi nord

92055 PARIS LA DEFENSE CEDEX 04

Convention 7252

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT

SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2

TÉL. (33) 01 64 68 84 12 | FAX. (33) 01 64 68 84 79 | www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

OBJET

Essais d'orientation de toitures exposées à un feu extérieur

TEXTE(s) DE REFERENCE

Essais inspirés de la méthode d'essais n° 3 de la norme expérimentale européenne XP ENV 1187 (avril 2003)
Réunion du CECMI du 15 septembre 2009 concernant les dimensions des maquettes

NATURE DE L'ESSAI

Détermination du comportement au feu de toitures en modules photovoltaïques

DATE DE RECEPTION DES OBJETS SOUMIS A ESSAIS

03 novembre 2010

DATE DES ESSAIS

05 novembre 2010

PROVENANCE ET CARACTERISTIQUES DES ECHANTILLONS

Matériau présenté par	: Société SOLON SE
Marque commerciale	: Modules photovoltaïques « SOLON Black 250/05 »
Fabricant	: Société SOLON SE
Provenance	: Usine de BERLIN (ALLEMAGNE)

Fait à Marne-la-Vallée, le 2 décembre 2010

Le technicien **chargé d'essai**
« Equipe ESSAIS FEU »

Le Chef de division
« Etudes et Essais Résistance au feu »

José PESTANA

Christophe LEMERLE

1 - BUT DE L'ESSAI

Déterminer le comportement au feu d'un élément de toiture au sens de la norme expérimentale XP ENV 1187, édition avril 2003.

2 - DESIGNATION ET CONSTITUTION DES ELEMENTS ESSAYES

(Les dimensions sont données en mm).

Deux éprouvettes, de dimensions hors tout 3530 x 1850 et 5290 x 1850 (L x l), ont été fournies et montées au laboratoire par les spécialistes de la société SOLON SE, les ossatures des maquettes ayant été fournies et assemblées par les agents de la société RSB.

2.1 - OSSATURE PRINCIPALE DES MAQUETTES

L'ossature principale des maquettes est constituée d'un cadre vissé en pannes SAPIN de section 225 x 75 (h x l). Ce cadre comporte des traverses intermédiaires en pannes SAPIN de section 225 x 75 (h x l).

La liaison entre deux pannes est réalisée d'une part par deux vis Ø 6 x 120 et d'autre part par une équerre en acier de dimensions 105 x 105 x 90 et d'épaisseur 3 fixée par quatre vis Ø 6 x 80 par chevron.

Voir les plans de l'ossature principale, annexes n° 1 et 2 -

2.2 – OSSATURE SECONDAIRE DES MAQUETTES

L'ossature secondaire des maquettes est constituée d'un cadre vissé en chevrons SAPIN de section 80 x 60 (h x l). Ce cadre comporte des chevrons longitudinaux intermédiaires en SAPIN de section 80 x 60 (h x l). La liaison entre deux chevrons est réalisée par une vis Ø 6 x 80.

L'ossature secondaire est fixée sur l'ossature principale par des vis Ø 6 x 80.

Un film anti-poussière en polyéthylène « ALUJET » (ALUJET) d'épaisseur 0,4 est fixé sur l'ossature secondaire par des clous Ø 2 x 20 (LUX-Tools) au pas moyen de 400 sur chaque chevron. Il est maintenu tendu par des liteaux de section 25 x 20 (l x h) espacés de 350 et fixés transversalement sur chaque chevron du cadre par une vis Ø 4 x 40.

NB : En partie inférieure de l'éprouvette de longueur 5290, l'ossature secondaire dépasse de 536 l'ossature principale.

Voir les plans de l'ossature secondaire, annexes n° 3 à 6 -

2.2 – SUPPORT

Des lattes en SAPIN de section 153 x 24 (l x e), de longueur 2000 et de masse volumique 450 kg/m³ sont fixées longitudinalement sur les liteaux au pas moyen de 402 par des vis Ø 3,9 x 40 (GIX), à raison d'une vis par liteau. Elles sont positionnées au droit des lignes de fixations des modules photovoltaïques.

Voir les plans du support, annexes n° 7 et 8 -

2.3 - ETANCHEITE

L'étanchéité est assurée par des modules photovoltaïques « SOLON Black 250/05 » de dimensions 1754 x 850 x 27 (L x l x e).

Ils sont constitués d'un cadre « BAYFLEX VP.PU 51BD11 » moulé par injection autour d'un laminé photovoltaïque.

NOTAS : *Les modules photovoltaïques sont tous dépourvus de boîtes de connexion électrique.*

La surface des maquettes revêtue de modules photovoltaïques ne concerne que la zone se retrouvant directement sous le panneau radiant. Le reste de la surface (partie supérieure) est revêtue de panneaux aveugles (sans cellule photovoltaïque).

- **Composition du laminé photovoltaïque (fournie par le demandeur)**

Vitrage de sûreté (verre trempé)	: Epaisseur 4
Intercalaire encapsulant	: Epaisseur 400 µm EVA (Ethyl Vinyl Acétate) Référence « DNP PV-FS Z68 »
Cellules solaires	: Dimensions 125 x 125 x (200 ± 40 µm) 72 cellules en silicium par module soit 48 cellules par m ² Référence « MOTECH AS 125-I5 »
Intercalaire encapsulant	: Epaisseur 400 µm EVA (Ethyl Vinyl Acétate) Référence « DNP PV-FS Z68 »
Peau intérieure	: Epaisseur 276 µm TEDLAR® (fluorure de polyvinyle) / PET (polyéthylène téréphtalate) / EVA (Ethyl Vinyl Acétate) Référence « MADICO PHOTO-MARK TPE-HD b/b »

Voir les plans des modules photovoltaïques, annexes n° 9 et 10 -

- **Mise en œuvre**

Chaque module est maintenu sur le support par des vis inox Ø 5,5 x 43 associées à des rondelles inox Ø 16 munies d'une rondelle d'étanchéité en EPDM Ø 14, à raison de sept fixations disposées au pas de 250 sur chaque bord longitudinal et une fixation à mi-largeur de chaque bord transversal.

Le cadre des modules permet un recouvrement de 55 au niveau de leurs joints transversaux.

Les modules sont mis en œuvre avec un jeu de 7 environ au niveau des joints longitudinaux. Ce jeu est obturé par un joint « **SCONABLEND TPE 70 X 2 F9 EX** » de chez **RAVAGO PLASTICS** (Allemagne), type « queue de sapin », en élastomères thermoplastiques et de section hors tout 62 x 24.

NOTA : *Le joint longitudinal est d'un seul tenant. Aucun aboutage n'a été réalisé.*

Voir le plan en section du joint longitudinal, annexe n° 10 bis -

Voir les plans d'implantation des modules photovoltaïques, annexes n° 11 et 12 -

2.4 - ISOLATION

Une isolation en laine de verre « KLEMMFILZ 040 KF-1 » de chez SUPERGLASS Dämmstoffe, d'épaisseur 140 et de masse volumique 100 kg/m³, est mise en œuvre en sous face des maquettes. Les lés de 380 sont insérés en force entre les chevrons de l'ossature secondaire.

NOTA : Pour les besoins des essais, l'isolation est maintenue en place par des bandes transversales de film anti poussière clouées sur les chevrons.

Voir les plans, annexes n° 11 et 12 -

3 - MODALITES DE L'ESSAI

L'essai est exécuté en s'inspirant de la méthode d'essais n° 3 de la norme expérimentale XP ENV 1187 (avril 2003) à l'inclinaison de 30°.

L'essai complet porte sur deux échantillons.

Deux éléments d'essais sont testés après que chacun ait été positionné sur le poste d'essais afin de faire correspondre les joints entre modules photovoltaïques avec ceux du « type 1 » et du « type 2 » décrits au paragraphe 6.4.3.2 de la norme précitée.

Voir le plan d'implantation des brandons et des zones de mesurage, annexe n° 13 -

Voir le schéma du dispositif d'essais, annexe n° 14 -

Voir les photos prises au cours du montage, annexes n° 15 à 20 -

4 - OBSERVATIONS EN COURS D'ESSAIS

4.1 - ESSAIS PENTES 30°

4.1.1 - Essai sur échantillon n° 1 – Maquette dont les joints sont positionnés selon le Type 1

NOTA : En raison de la longueur de la maquette, les portes du local, abritant le poste d'essais, ont été maintenues ouvertes pendant toute la durée de l'essai.

Temps en min – s	Front de flammes en mm	Propagation en mm		Observations en cours d'essai
		Haut	Bas	
00 min 00 s				Le panneau radiant étant en régime, approche de l'éprouvette.
01 min 30 s				Fusion et dégagements de fumée en provenance des joints exposés au rayonnement direct.
02 min 30 s				Présentation des brandons devant le panneau radiant.
03 min				Pose des brandons enflammés B1 et B2.
03 min 10 s	100	100		Accrochage des flammes sur la maquette avec inflammation au niveau des brandons. Fusion des joints au droit du panneau radiant.
05 min	100	100		Eclatement brutal du vitrage du laminé photovoltaïque situé à l'avant du brandon B1.

Temps en min – s	Front de flammes en mm	Propagation en mm		Observations en cours d'essai
		Haut	Bas	
06 min	100	100		Entre les brandons, propagation de l'inflammation surfacique le long du joint transversal dont les panaches se rejoignent.
06 min 20 s	100	100		Accrochage des flammes sur le joint longitudinal.
08 min	200	200		Destruction avancée des joints au droit du panneau radiant. Coulées de matières en fusion à l'arrière des brandons.
09 min	300	300		Inflammation surfacique le long du joint central côté brandon B2. Accentuation des coulées de matières en fusion comme repérées à 8 minutes d'essai.
10 min	100	100		Inflammation surfacique au niveau du joint transversal et entre la position des brandons.
11 min	200	200		Reprise de l'inflammation surfacique le long du joint longitudinal côté brandon B2.
11 min 30 s	400	400		Accentuation de l'inflammation surfacique comme repérée à 11 minutes d'essai. Les coulées de matières en fusion atteignent le repère -500.
12 min	100	100		Arrêt de l'inflammation surfacique le long du joint longitudinal.
15 min	100	100		Inflammation surfacique au niveau de la position des brandons.
16 min 30 s	0	0		Extinction du brandon B1. Inflammation surfacique au niveau du brandon B2.
17 min 10 s	0	0		Extinction du brandon B2.
17 min 20 s	0	0		Reprise de l'inflammation au niveau du brandon B2.
18 min	0	0		Extinction du brandon B2. Importants dégagements de fumée en provenance des joints exposés au rayonnement direct, notamment en provenance du joint longitudinal.
22 min	0	0		Poursuite de la destruction des joints au droit du panneau radiant.
30 min	0			<u>ARRET DE L'ESSAI.</u>

Voir les photos prises avant, pendant et après l'essai, annexes n° 21 à 24 -

4.1.2 - Essai sur échantillon n° 2 – Maquette dont les joints sont positionnés selon le Type 2

Temps en min – s	Front de flammes en mm	Propagation en mm		Observations en cours d'essai
		Haut	Bas	
00 min 00 s				Le panneau radiant étant en régime, approche de l'éprouvette.
01 min 30 s				Au droit du panneau radiant, fusion et dégagements de fumée en provenance du joint.
02 min 30 s				Présentation des brandons devant le panneau radiant.
03 min 00 s				Pose des brandons enflammés B1 et B2.
03 min 10 s	600	300		Accrochage des flammes sur la maquette avec inflammations au niveau du joint longitudinal situé au droit du brandon B2. Inflammation au niveau du brandon B1 où il n'est pas observé d'accrochage. Fusion du joint longitudinal au droit du panneau radiant.
04 min-	600	400		
07 min	400	400		Amoindrissement notable de l'inflammation surfacique au niveau du joint longitudinal.
07 min 50 s	400	400		Coulées de matières en fusion à l'arrière du brandon B2.
09 min 50 s	400	400		Au niveau du joint longitudinal, l'inflammation surfacique devient sporadiques entre les repères 0 et + 400.
11 min	400	400		Les coulées de matières en fusion atteignent le repère -500.
11 min 20 s	0	0		Inflammation surfacique au niveau des brandons.
16 min 20 s	0	0		Affaissement notable du laminé photovoltaïque supportant le brandon B1. Extinction du brandon B2 et arrêt des inflammations au niveau du joint longitudinal laissant, en lieu et place, d'importants dégagements de fumée.
17 min	0	0		Extinction du brandon B1.
24 min	0	0		Fissuration brutale du vitrage du laminé photovoltaïque supportant le brandon B1.
30 min	0	0		<u>ARRET DE L'ESSAI.</u>

Voir les photos prises avant, pendant et après l'essai, annexes n° 25 à 27 -

5 - DOMMAGES

5.1 - ECHANTILLON N° 1 – MAQUETTE AVEC JOINTS POSITIONNES SELON LE TYPE 1 - PENTE 30°

5.1.1 - En cours d'essai

- Propagation extérieure du feu

L'inflammation notable de cet échantillon se situe entre la 3^{ème} et la 11^{ème} minute.

Progression maxi des flammes soutenues vers le haut : 400.

Aucune progression des flammes soutenues vers le bas.

Extinction des brandons à 18 minutes.

- Pénétration du feu et ouvertures

Aucune ouverture et aucun désordre relatif au critère de pénétration du feu n'a été observé.

5.1.2 - Après l'essai

- Dommages internes

Longueur endommagée vers le haut : 800

Longueur endommagée vers le bas : 500

- Longueur maximale de matériaux brûlés

Longueur détruite vers le haut : 600

Longueur détruite vers le bas : 280

5.2 - ECHANTILLON N° 2 – MAQUETTE AVEC JOINTS POSITIONNES SELON LE TYPE 2 - PENTE 30°

5.2.1 - En cours d'essai

- Propagation extérieure du feu

L'inflammation notable de cet échantillon se situe entre la 3^{ème} et la 11^{ème} minute.

Progression maxi des flammes soutenues vers le haut : 400.

Aucune progression des flammes soutenues vers le bas.

Extinction des brandons à 17 minutes.

- Pénétration du feu et ouvertures

Aucune ouverture et aucun désordre relatif au critère de pénétration du feu n'ont été observés.

5.2.2 - Après l'essai

- Dommages internes

Longueur endommagée vers le haut : 800.

Longueur endommagée vers le bas : 500.

- Longueur maximale de matériaux brûlés

Longueur détruite vers le haut : 400.

Longueur détruite vers le bas : 100.

6 - CONCLUSIONS AU SENS DE LA NORME EXPERIMENTALE EUROPEENNE XP ENV 1187 (AVRIL 2003)

6.1 - ECHANTILLON N° 1 – MAQUETTE AVEC JOINTS POSITIONNES SELON LE TYPE 1 - PENTE 30°

6.1.1 - Propagation extérieure du feu

- Les flammes soutenues n'ont pas atteint les bords supérieur et inférieur de la zone de mesurage.
- Aucune chute de matériau, de gouttes ou de débris enflammés n'a été constatée.

6.1.2 - Pénétration du feu et ouvertures

- Aucune pénétration du feu et ouverture n'a été constatée.
- Aucune chute de matériau, de gouttes ou de débris enflammés provenant de la face inférieure n'a été constatée.

NOTA : Au retrait de l'isolant, le film anti poussière présente une destruction notable au droit de la position des brandons.

Voir les photos prises après l'essai, annexe n° 28 -

6.2 - ECHANTILLON N° 2 – MAQUETTE AVEC JOINTS POSITIONNES SELON LE TYPE 2 - PENTE 30°

6.2.1 - Propagation extérieure du feu

- Les flammes soutenues n'ont pas atteint les bords supérieur et inférieur de la zone de mesurage.
- Aucune chute de matériau, de gouttes ou de débris enflammés n'a été constatée.

6.2.2 - Pénétration du feu et ouvertures

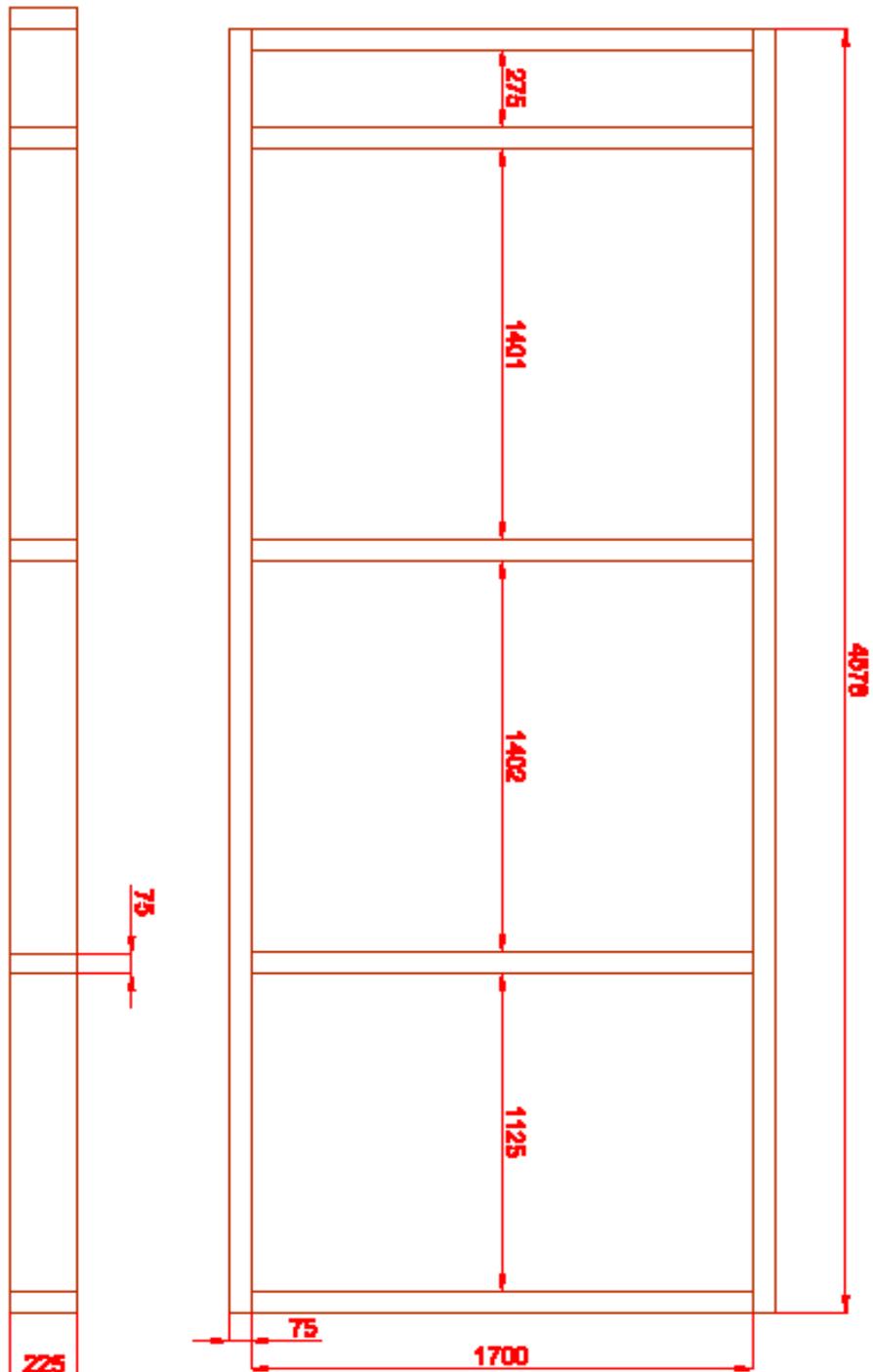
- Aucune pénétration du feu et ouverture n'a été constatée.
- Aucune chute de matériau, de gouttes ou de débris enflammés provenant de la face inférieure n'a été constatée.

NOTA : Au retrait de l'isolant, le film anti poussière présente une destruction notable au droit de la position des brandons.

Voir les photos prises après l'essai, annexe n° 29 -

FIN DE RAPPORT

PANNES 75 x 225 mm (l x h)



Client : SOLON

Plan : OSSATURE PRINCIPALE - Echantillon n° 1

N° affaire : ED-DSF-DIVE-55-559-FEU

N° offre : n° 26021910

Demandé par :

Le : 06/11/2000

Vérifié par :

Le : ..

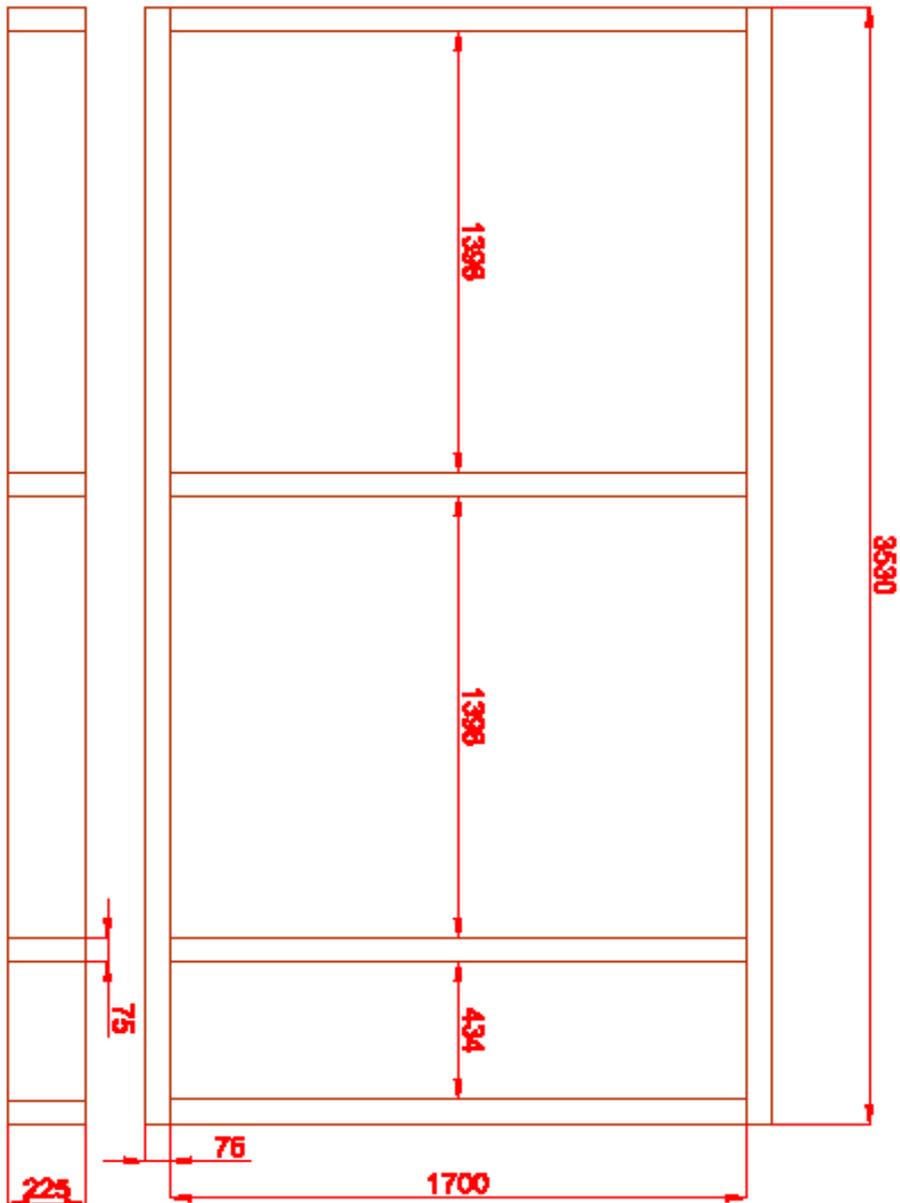
Approuvé par :

Le : ..

Rev : ..

01

PANNES 75 x 225 mm (l x h)



Client : SOLON

Plan : OSSATURE PRINCIPALE - Echardillon n° 2

N° affaire : ED-DSF-DIVE-55-559-FEU

N° offre : n° 26021910

Demandé par :

Le : 08/12/2010

Vérifié par :

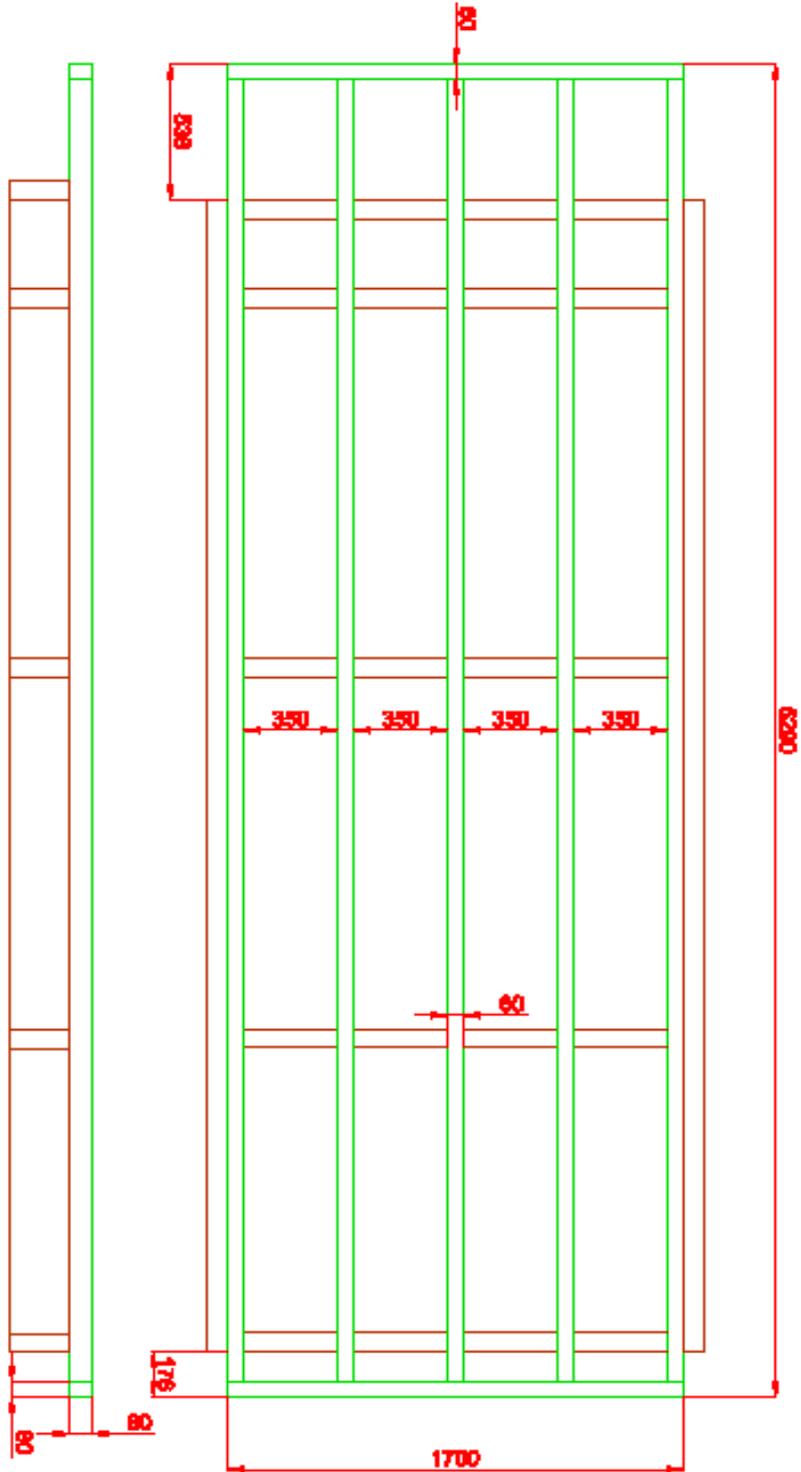
Le : ..

Approuvé par :

Le : ..

Rev :
01

CHEVRONS 80 x 80 mm (l x h)



Cient : SOLON

Plan : OSSATURE SECONDAIRE - Echantillon n° 1

N° affaire : ED-DSF-DIVE-55-559-FEU

N° offre : n° 26021910

Drawn par :

Le : 04/12/10

Verif par :

Le :

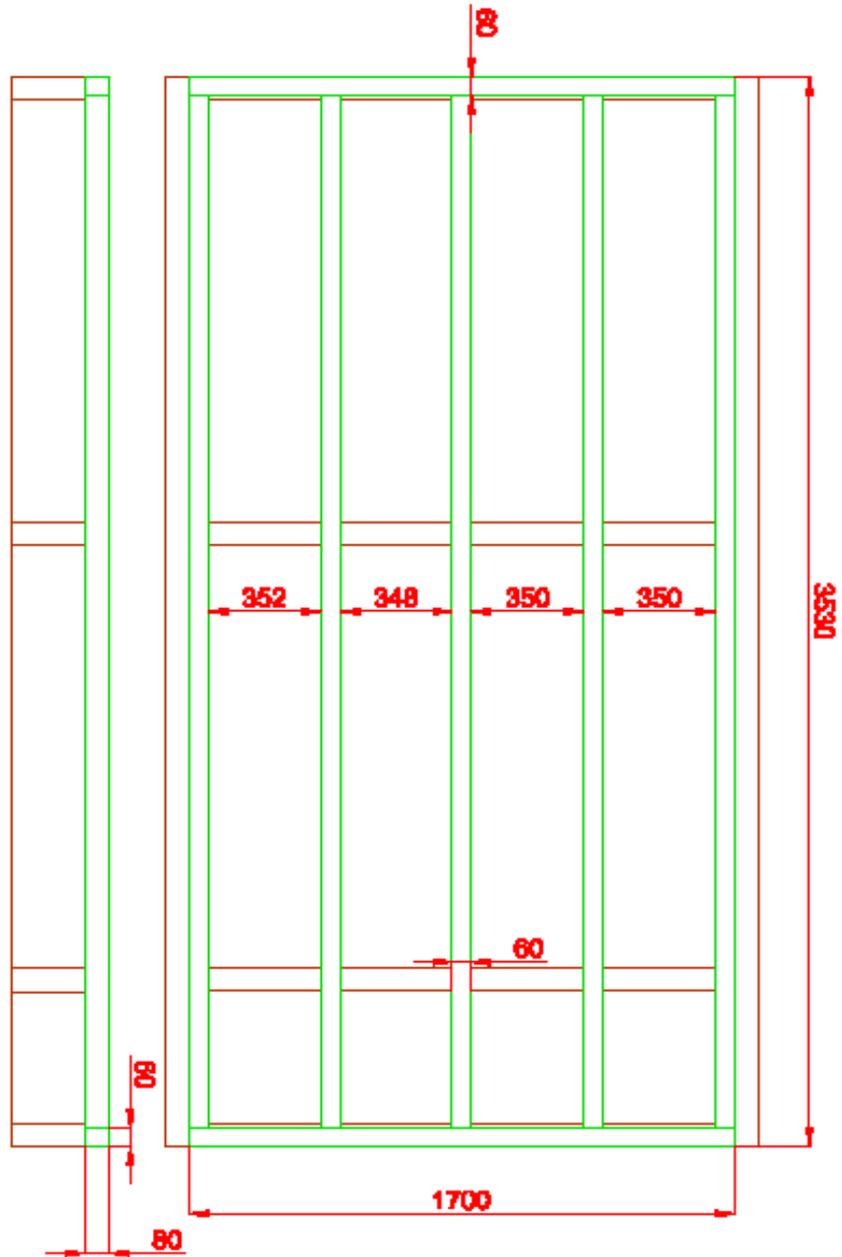
Approuv par :

Le :

Rev :

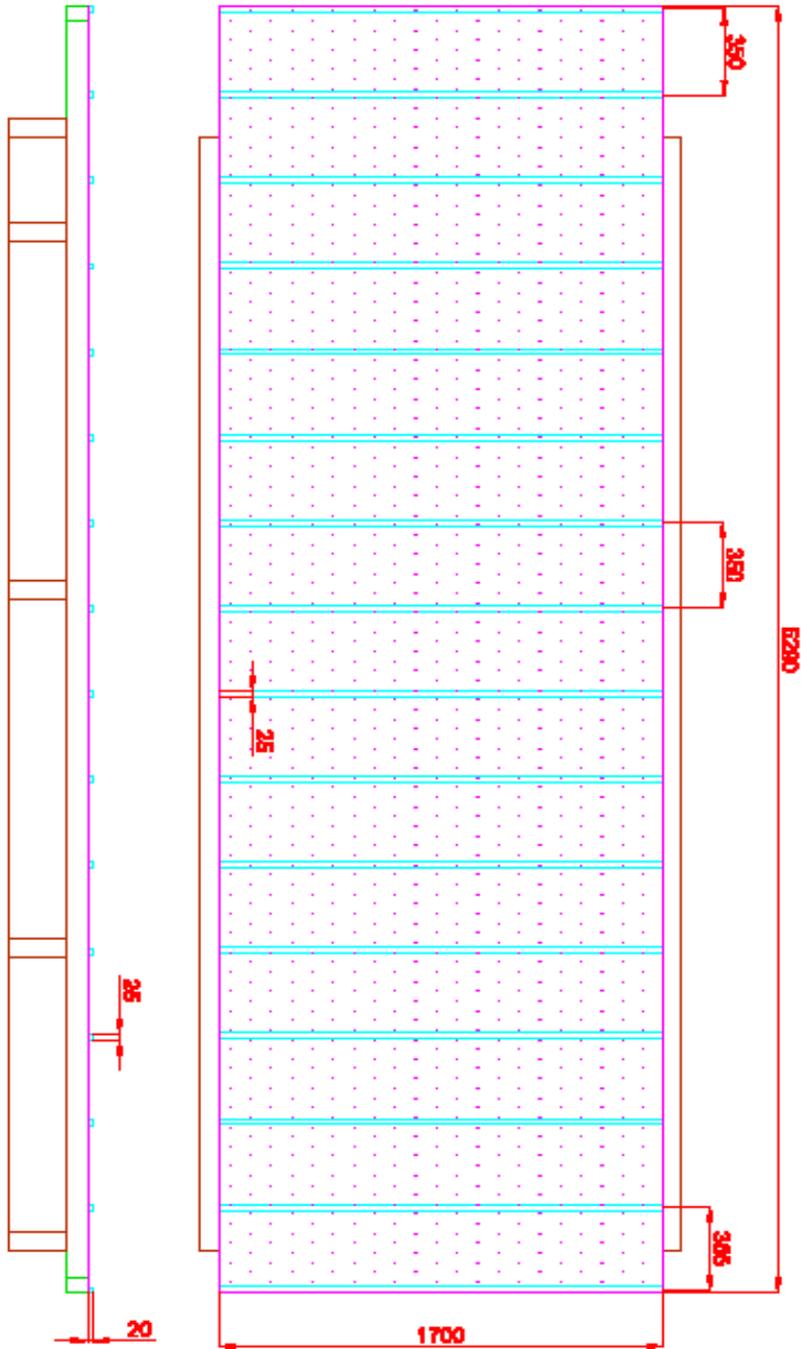
02

CHEVRONS 80 x 80 mm (l x h)

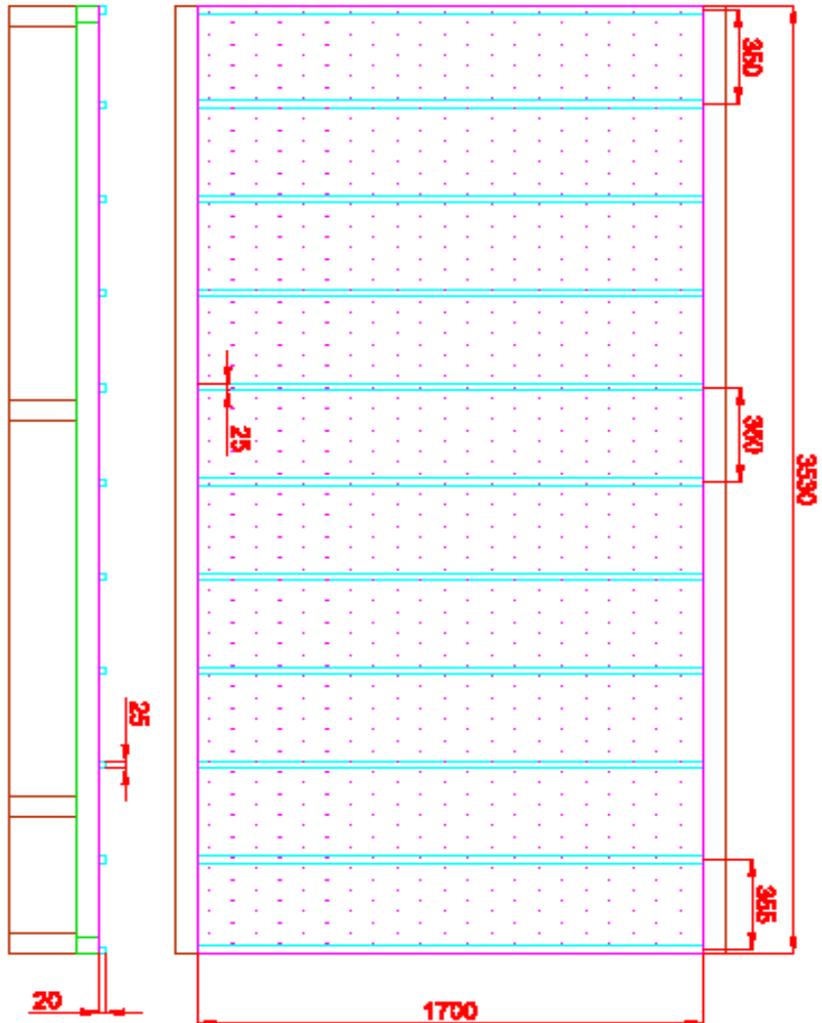


Client : SOLON		Rev : 02
Plan : OSSATURE SECONDAIRE - Echantillon n° 2		
N° affaire : ED-DSF-DIVE-55-559-FEU		
N° offre : n° 28021910		
Dessiné par : Lé : RB1/120710	Vérifié par : Lé : ...	Approuvé par : Lé : ...

	Rapport d'essais n° RS10-127/A	Annexe n° 5								
<p style="text-align: center;"> LITEAUX 25 x 20 mm (l x h) FILM ANTI-POUSSIÈRE (e=0,4) </p>										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="137 1182 343 1400"> Cliant : SOLON </td> <td colspan="2" data-bbox="137 1400 343 1960"> Plan : Mise en oeuvre du film anti-poussières - Echantillon n° 1 N° affaire : ED-DSF-DIVE-55-559-FEU N° offre : n° 26021910 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="137 1182 191 1400"> Demandé par : Lit : DM/122/10 </td> <td data-bbox="137 1400 191 1960"> Révisé par : ... Lit : ... </td> <td data-bbox="191 1182 247 1400"> Approuvé par : ... Lit : ... </td> <td data-bbox="191 1400 247 1960"> Rev : 01 </td> </tr> </table>			Cliant : SOLON		Plan : Mise en oeuvre du film anti-poussières - Echantillon n° 1 N° affaire : ED-DSF-DIVE-55-559-FEU N° offre : n° 26021910		Demandé par : Lit : DM/122/10	Révisé par : ... Lit : ...	Approuvé par : ... Lit : ...	Rev : 01
Cliant : SOLON		Plan : Mise en oeuvre du film anti-poussières - Echantillon n° 1 N° affaire : ED-DSF-DIVE-55-559-FEU N° offre : n° 26021910								
Demandé par : Lit : DM/122/10	Révisé par : ... Lit : ...	Approuvé par : ... Lit : ...	Rev : 01							



LITEAUX 25 x 20 mm (l x h)
FILM ANTI-POUSSIÈRE (e=0,4)



Cliant : SOLON

Plan : Mise en oeuvre du film anti-poussière - Echantillon n° 2

N° affaire : ED-DGF-DIVE-55-559-FEU

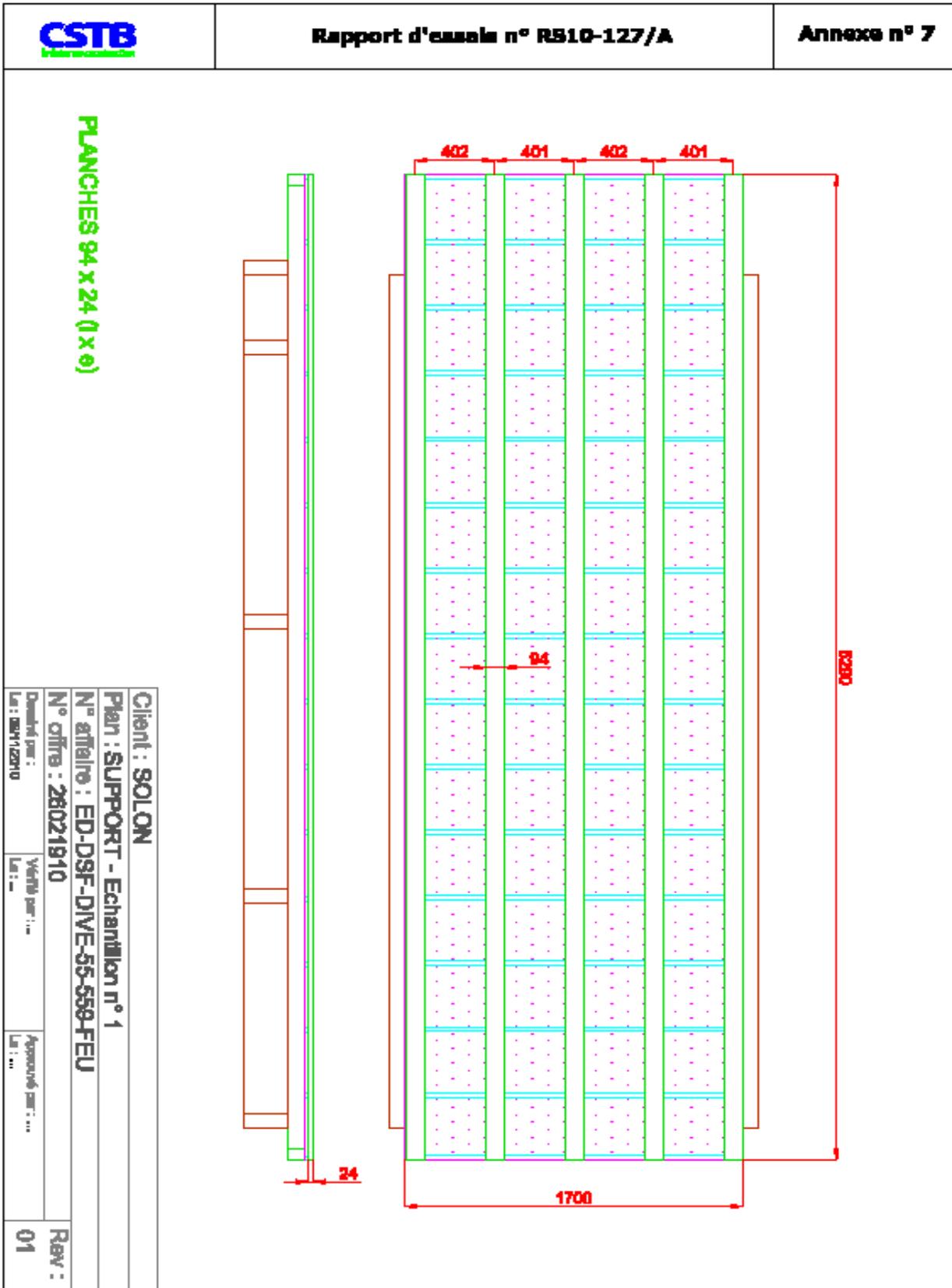
N° offre : n° 28021910

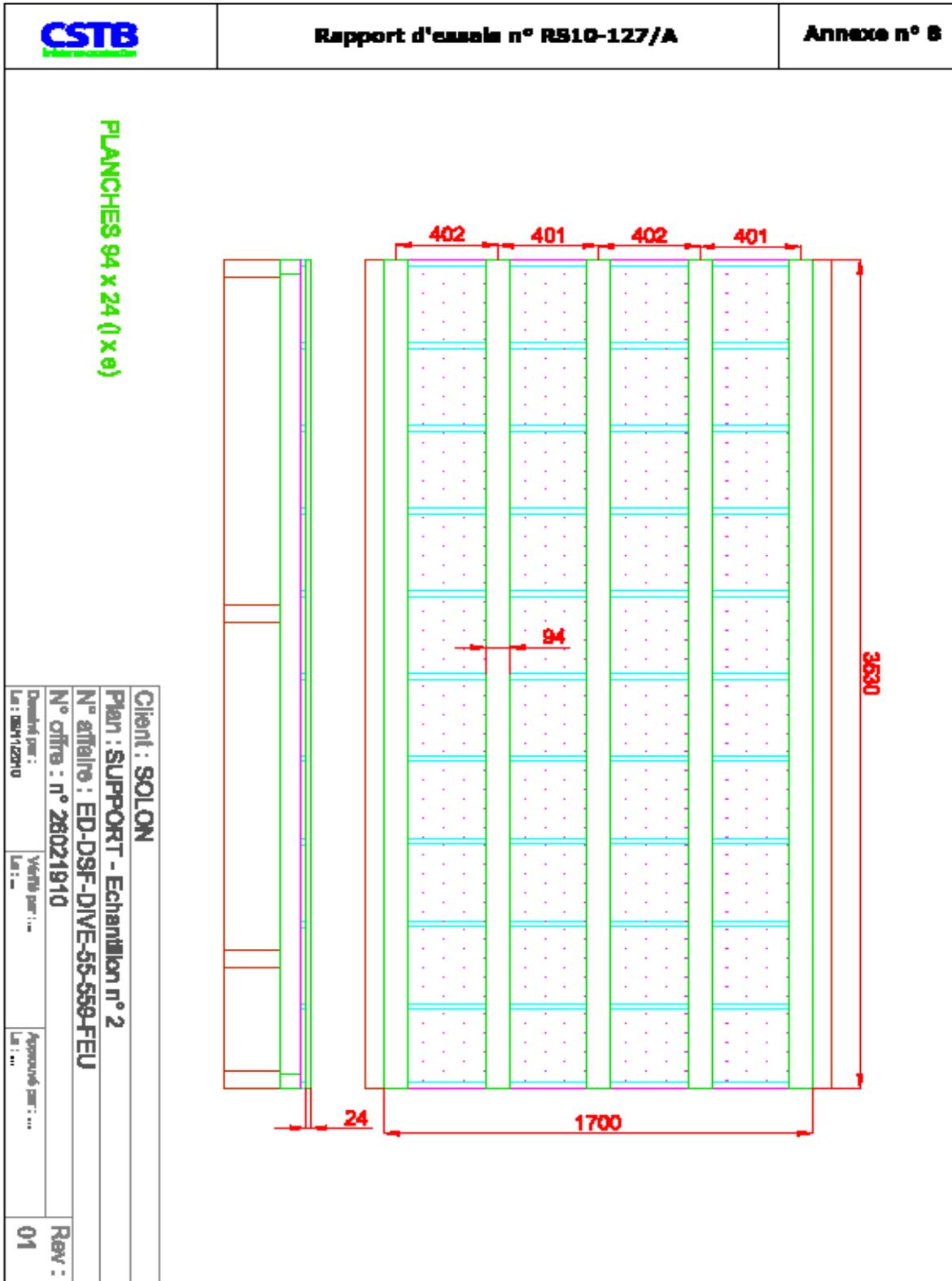
Rev : 01

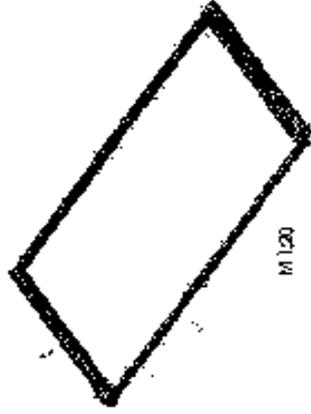
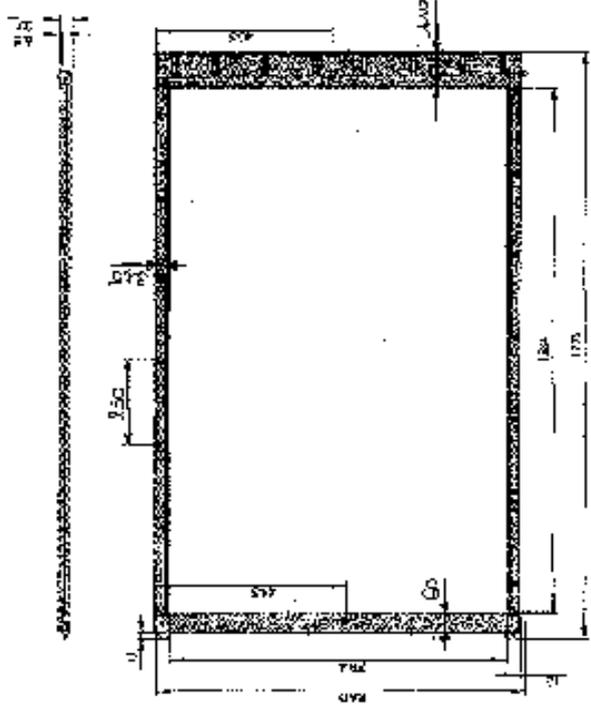
Dessiné par :
Lé : DM/120710

Vérifié par :
Lé : ...

Approuvé par :
Lé : ...

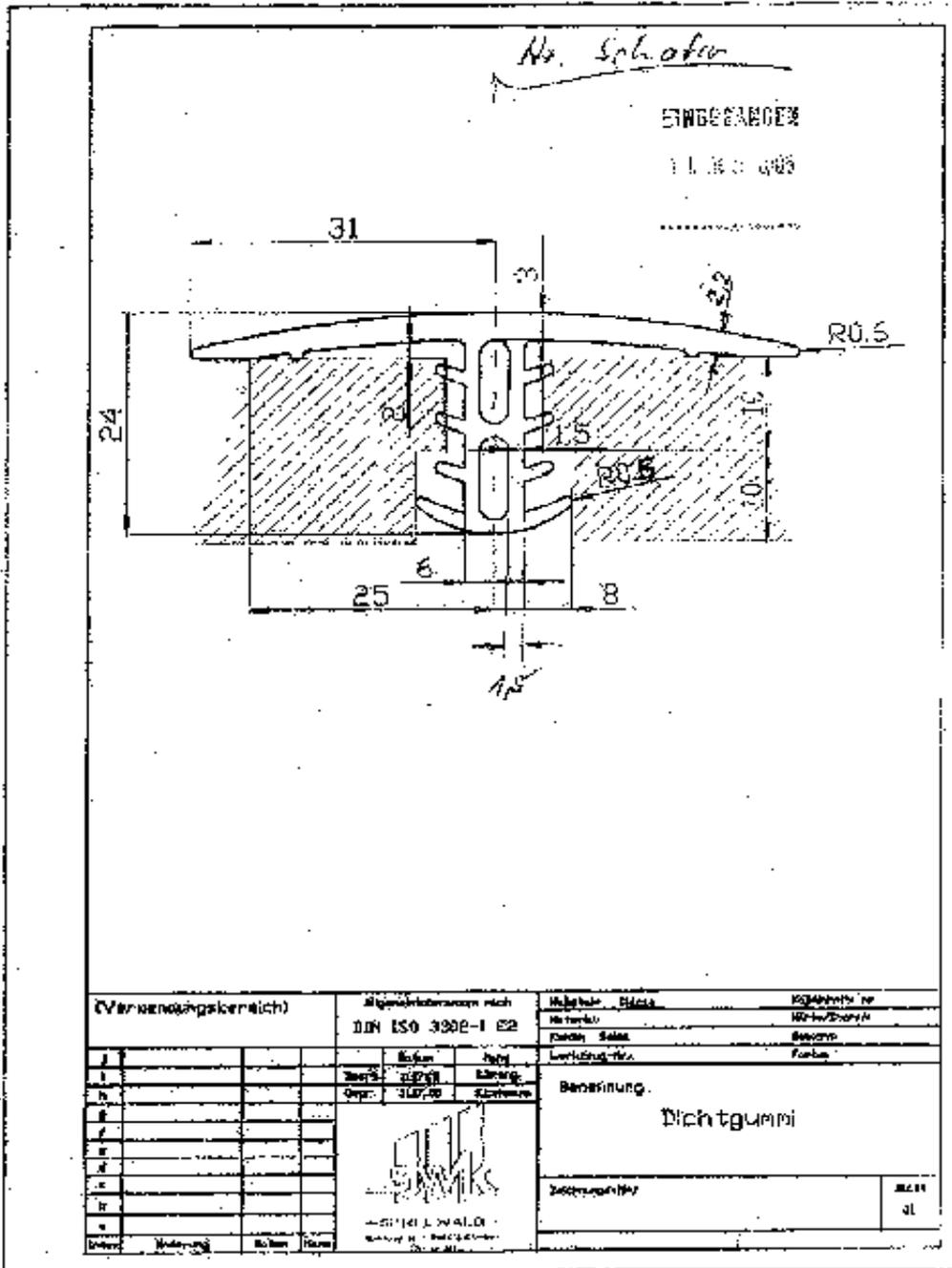


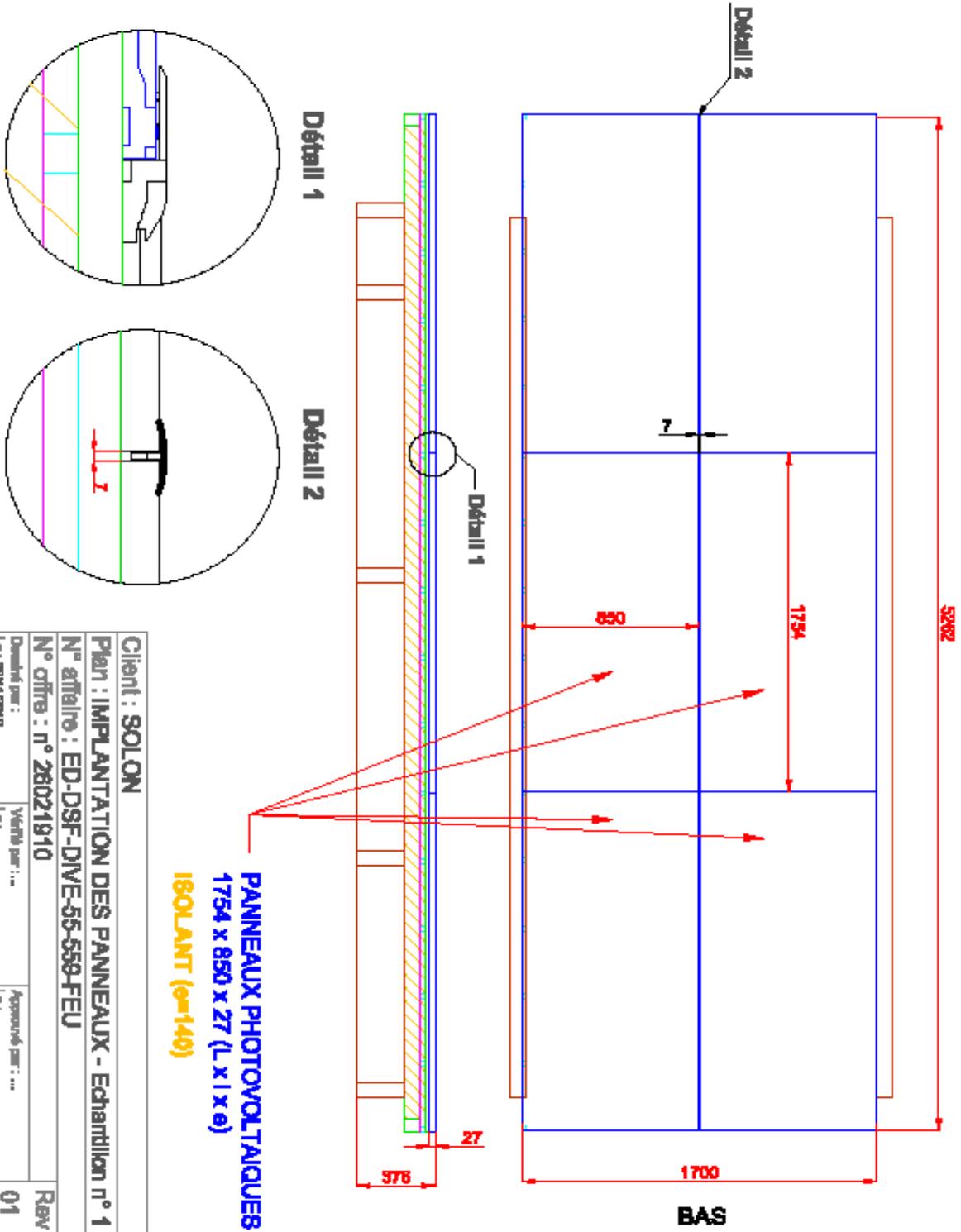




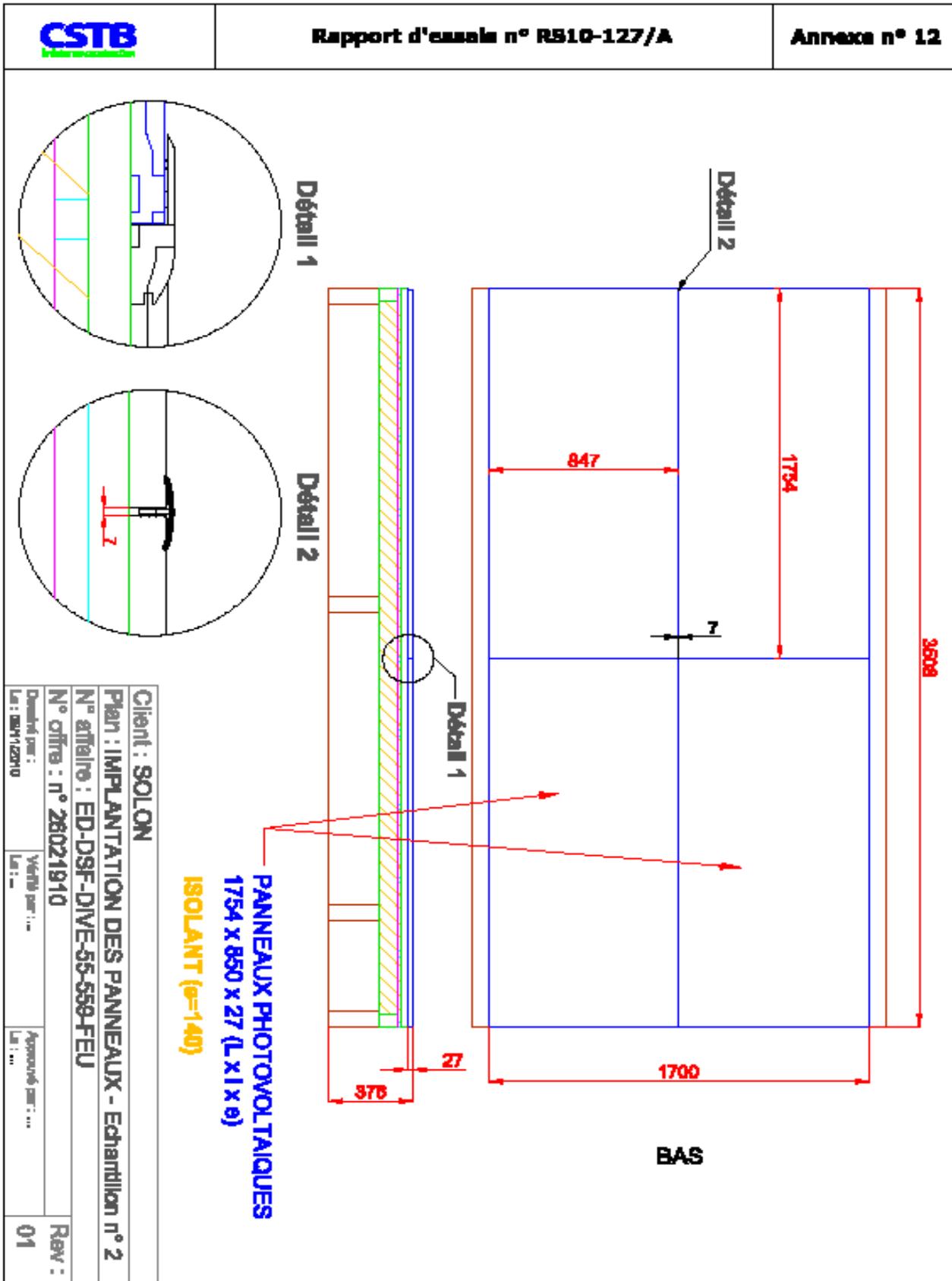
Zellene, Balken und Rückwand sind ausbetoniert und mit Bewehrung versehen.
 Die Stütze ist mit einem Durchmesser von 120 mm ausgeführt.
 Alle Maße sind in mm angegeben.

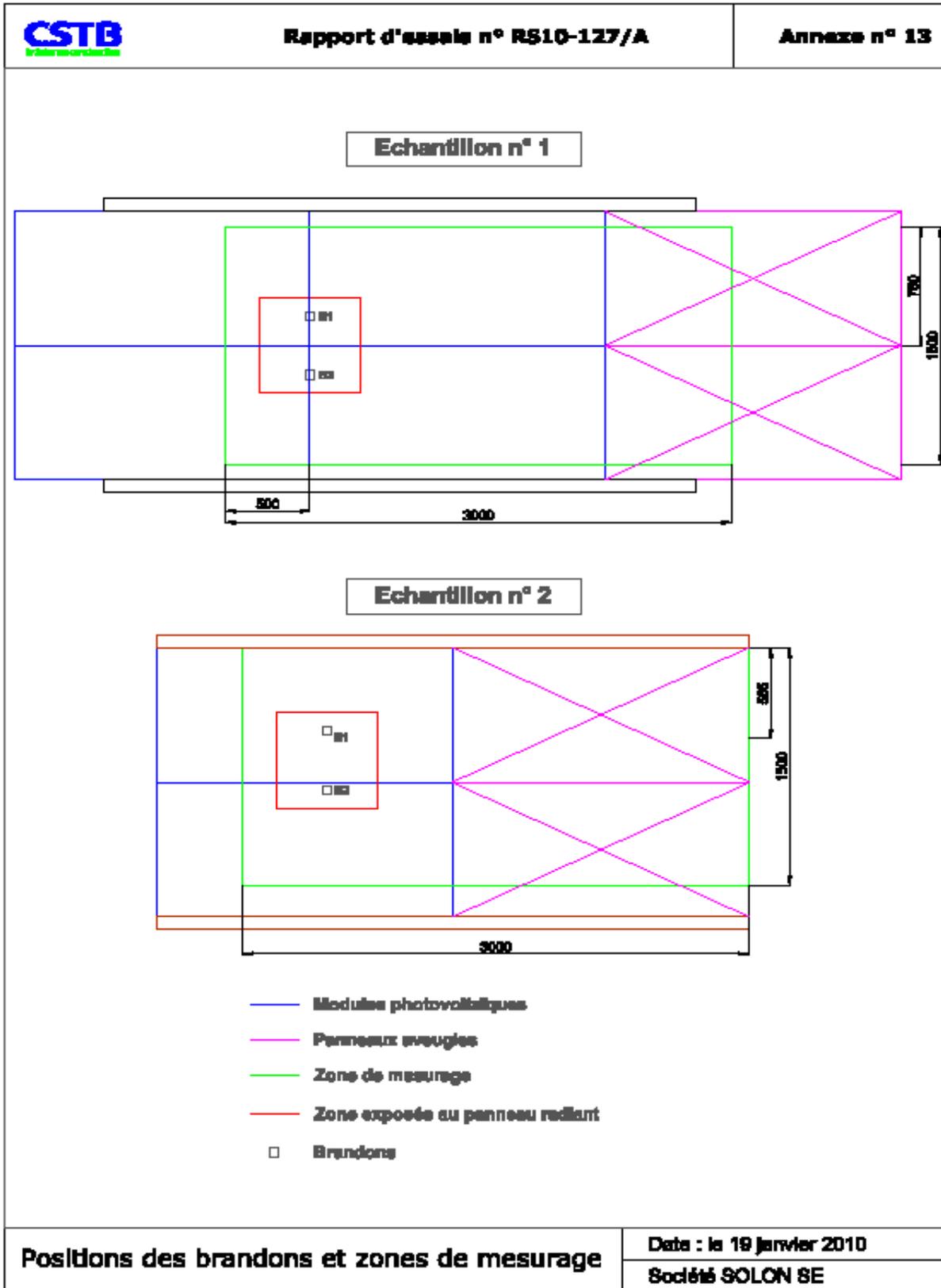
Zustand		geprüft	
Vorbereitung		Kunststoffrahmen	
Hersteller		SOLOH	
Produktions-Nr.		PROD-SALIMON_2020061	
Datum		12.07.2020	
Ort		CSTB	

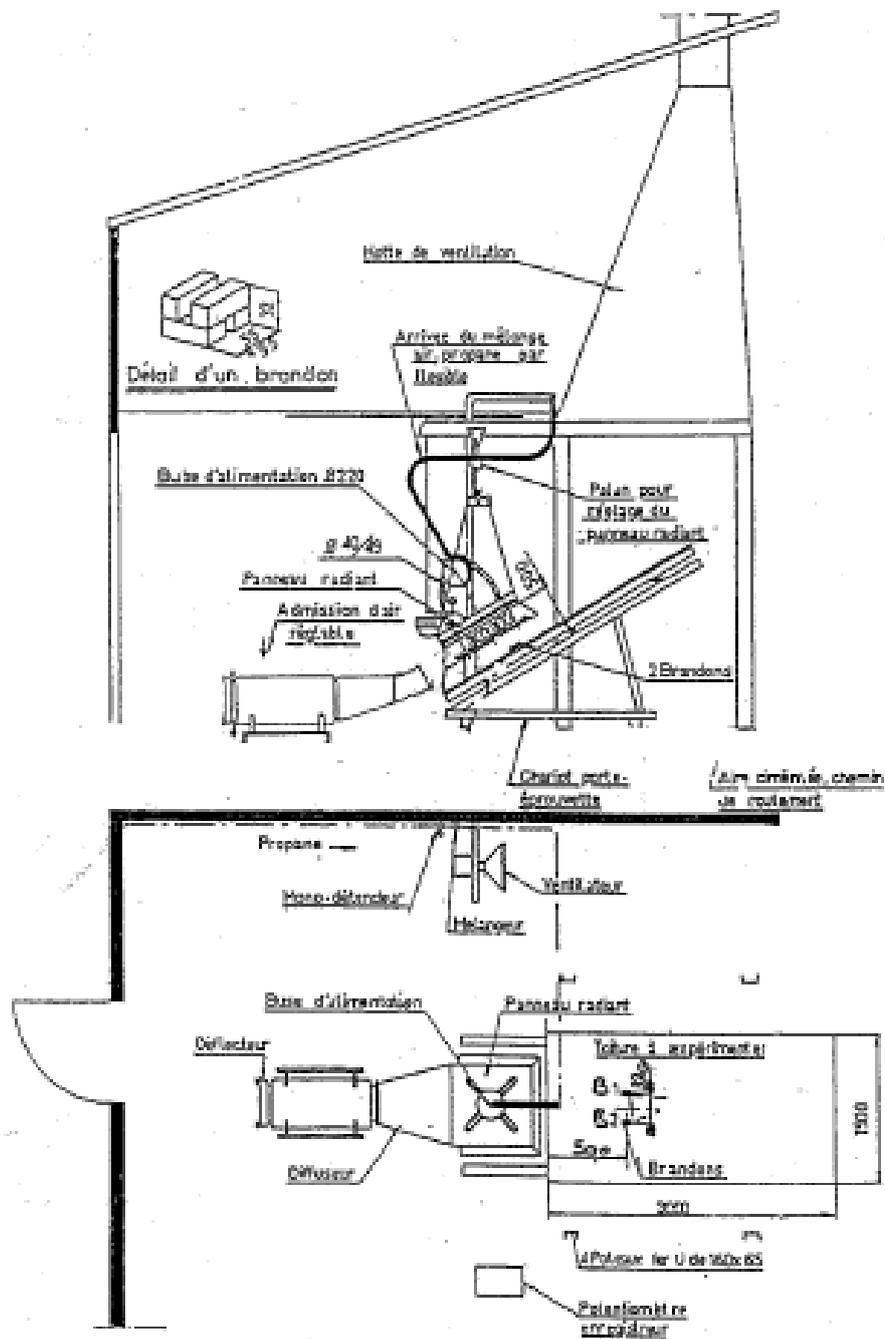




Client : SOLON		Date de par : ...		Rev : 01
Plan : IMPLANTATION DES PANNEAUX - Echantillon n° 1		Vérifié par : ...		
N° affaire : ED-DSF-DIVE-55-559-FEU		Approuvé par : ...		
N° offre : n° 28021910		Lé : ...		
Lé : RS1012710		Lé : ...		



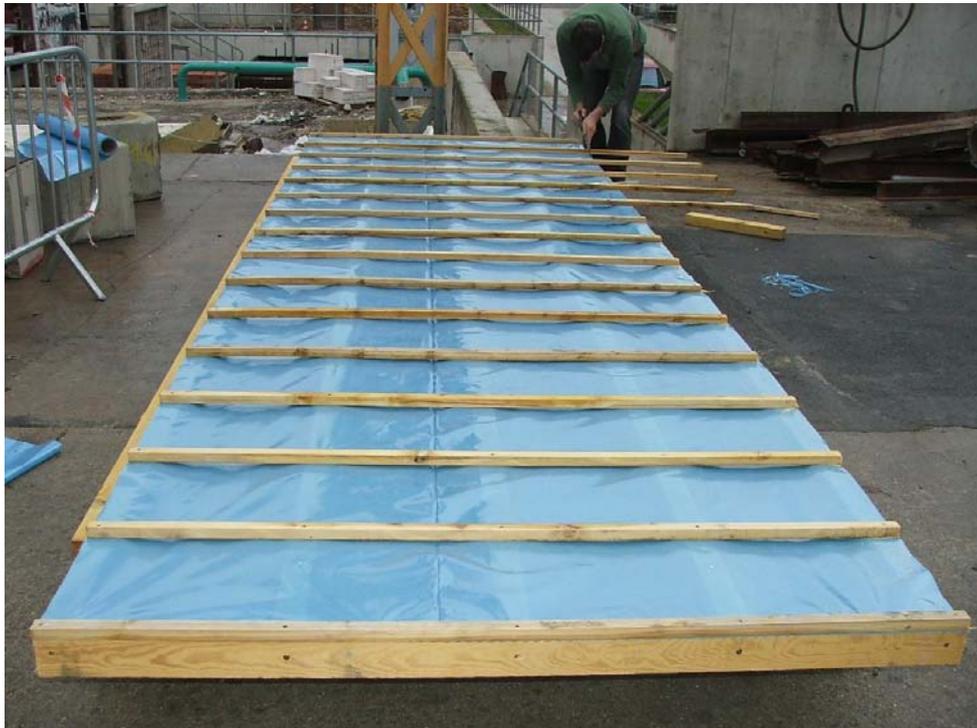




Dispositif pour essai de toiture soumise à un feu extérieur



Mise en œuvre du film anti poussière



Mise en œuvre des liteaux



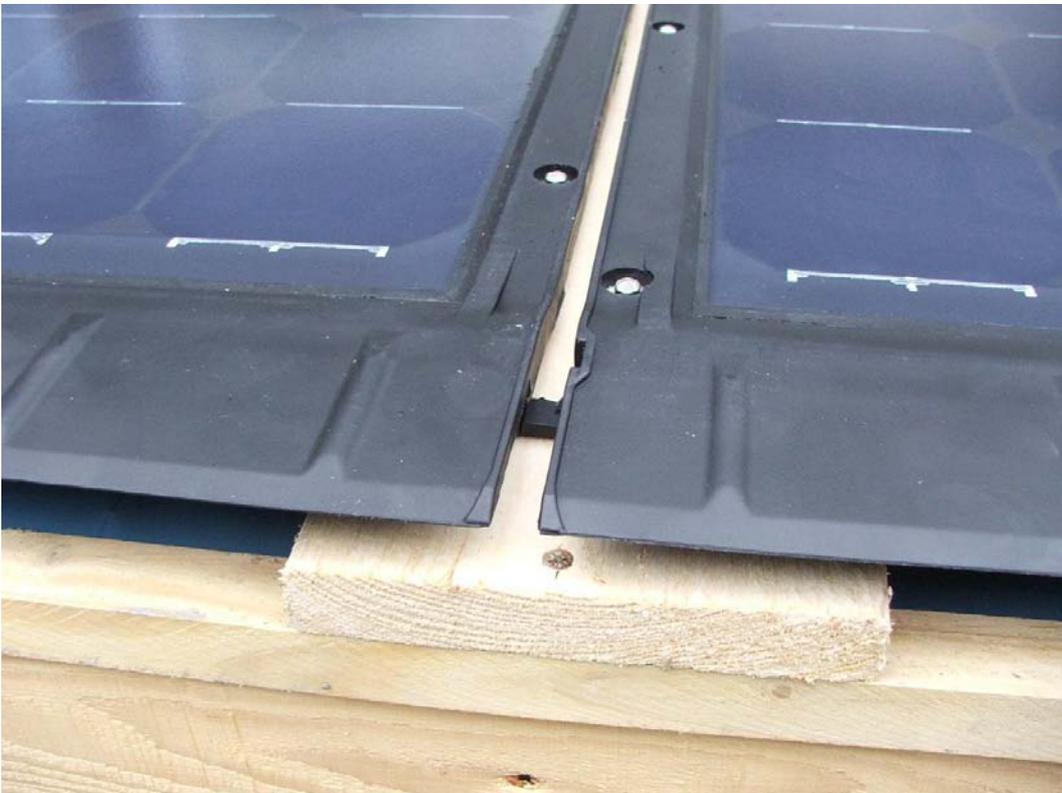
Mise en œuvre des lattes



Vue de la face non exposée d'un module photovoltaïque dépourvu de boîtier de connexion



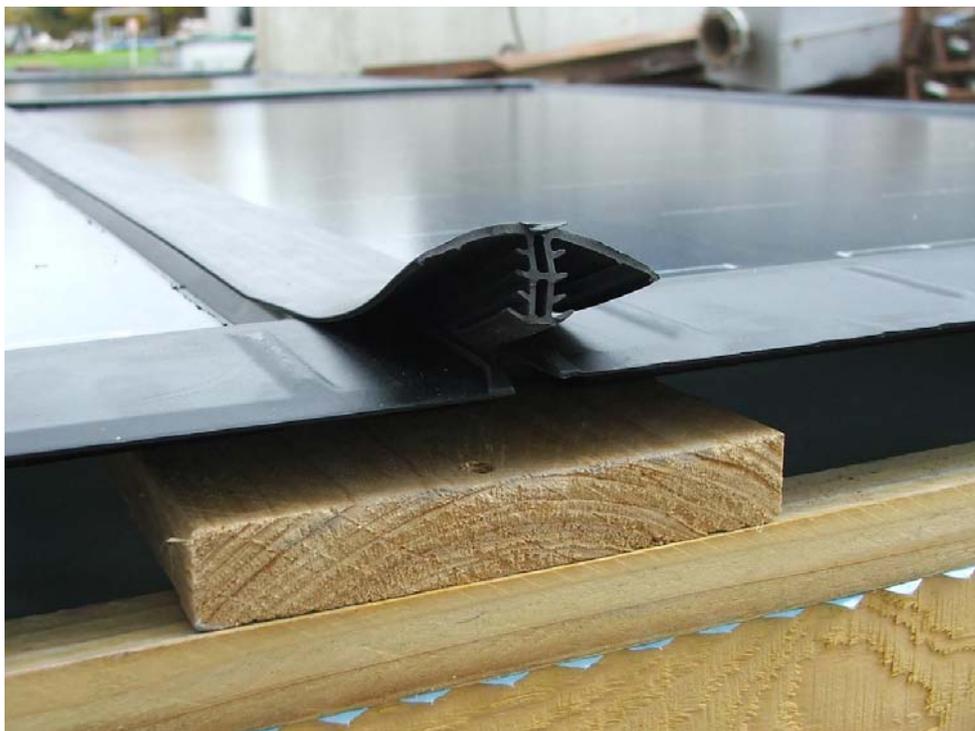
Mise en œuvre de modules photovoltaïques...



... Et détail du joint longitudinal



↑ **Mise en œuvre du joint longitudinal** ↓





Détail d'un recouvrement transversal entre modules photovoltaïques



Détail des panneaux aveugles et du croisement des joints

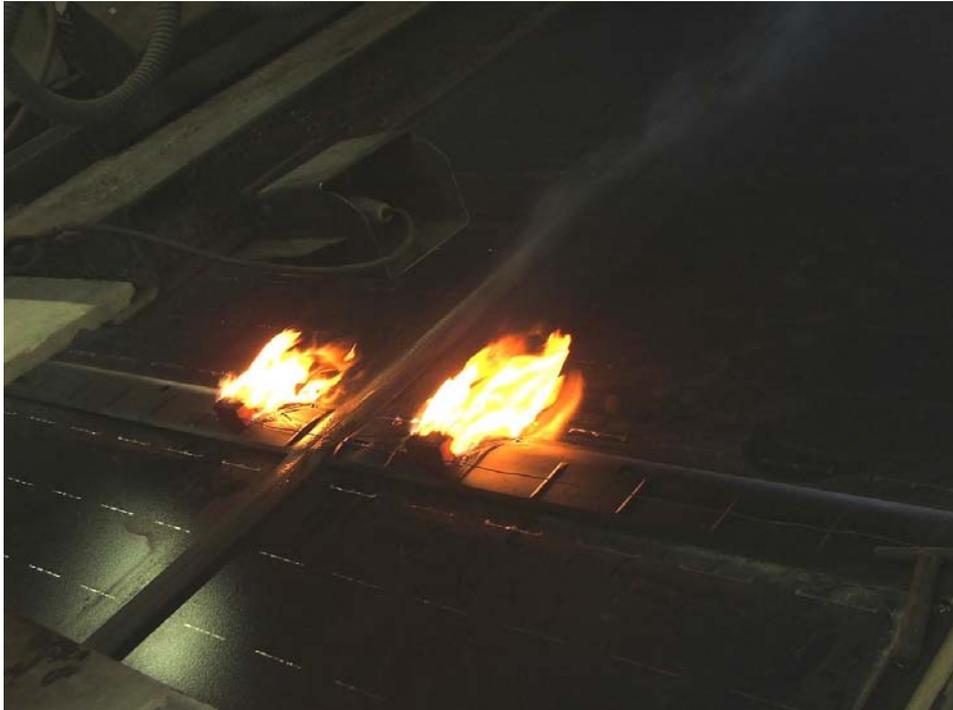


↑ **Mise en œuvre de l'isolant** ↓





Vue prise avant l'essai



Détail de l'inflammation surfacique à 5 minutes d'essai



Détail de l'inflammation superficielle à 6 minutes d'essai



Détail de l'inflammation superficielle à 8 minutes d'essai



Détail de l'inflammation surfacique à 11 minutes et 30 secondes d'essai



Détail de l'inflammation surfacique à 12 minutes d'essai



Détail de l'inflammation superficielle à 15 minutes d'essai



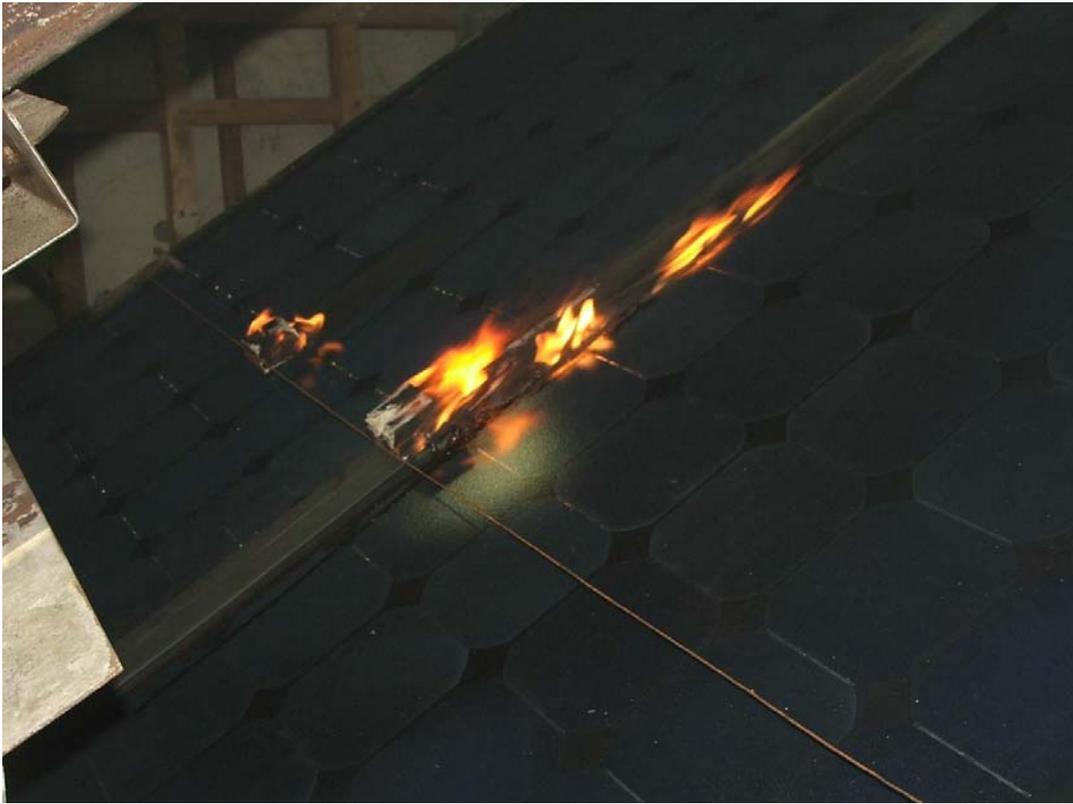
Arrêt de l'essai



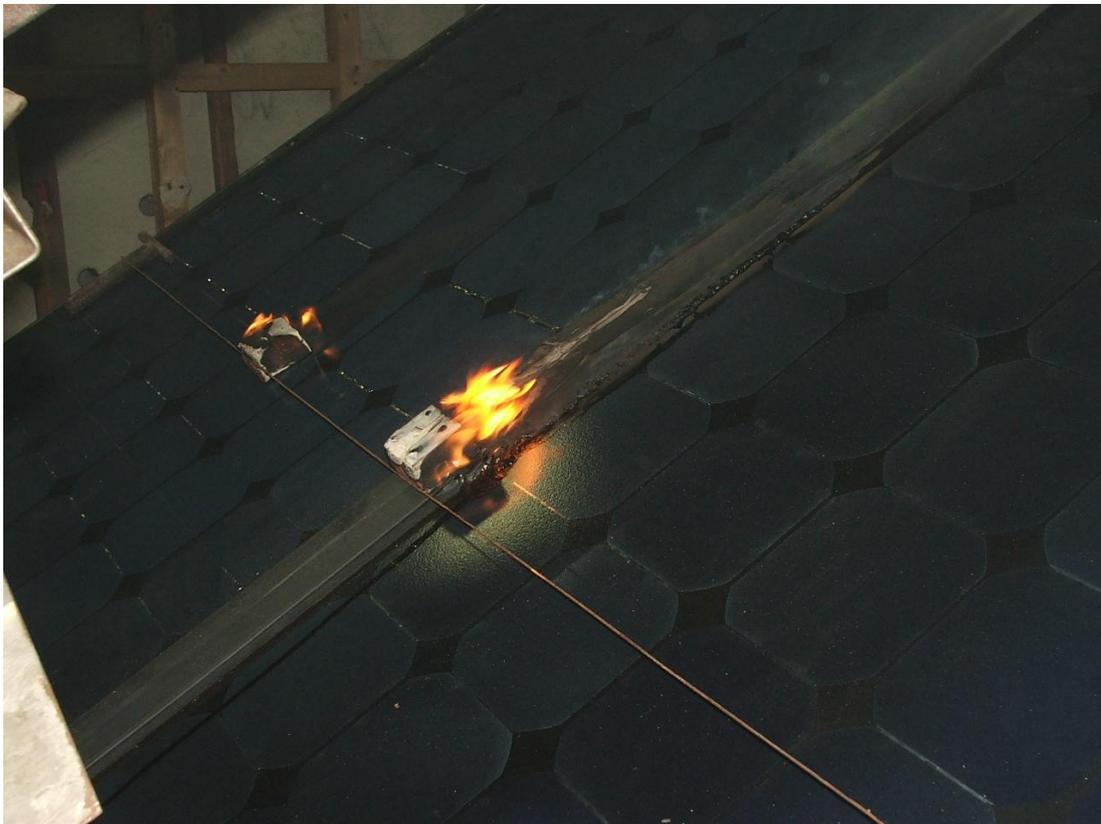
Vue prise avant l'essai



Détail de l'inflammation superficielle à 3 minutes et 10 secondes d'essai



Détail de l'inflammation surfacique à 7 minutes d'essai



Détail de l'inflammation surfacique à 11 minutes et 20 secondes d'essai



Détail de l'affaissement d'un module à 16 minutes et 20 secondes d'essai



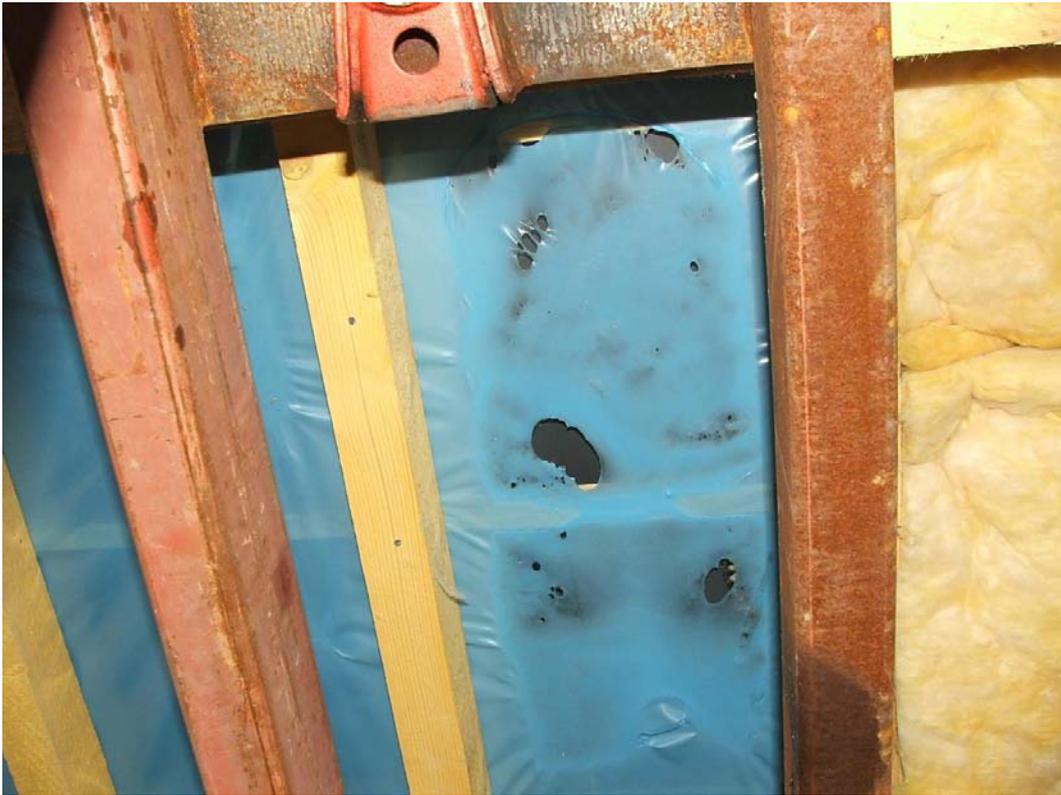
Arrêt de l'essai



Détail du film anti poussière après retrait de l'isolation



Détail des modules après retrait du film anti poussière



Détail du film anti poussière après retrait de l'isoaltion



Détail du module après retrait du film anti poussière