

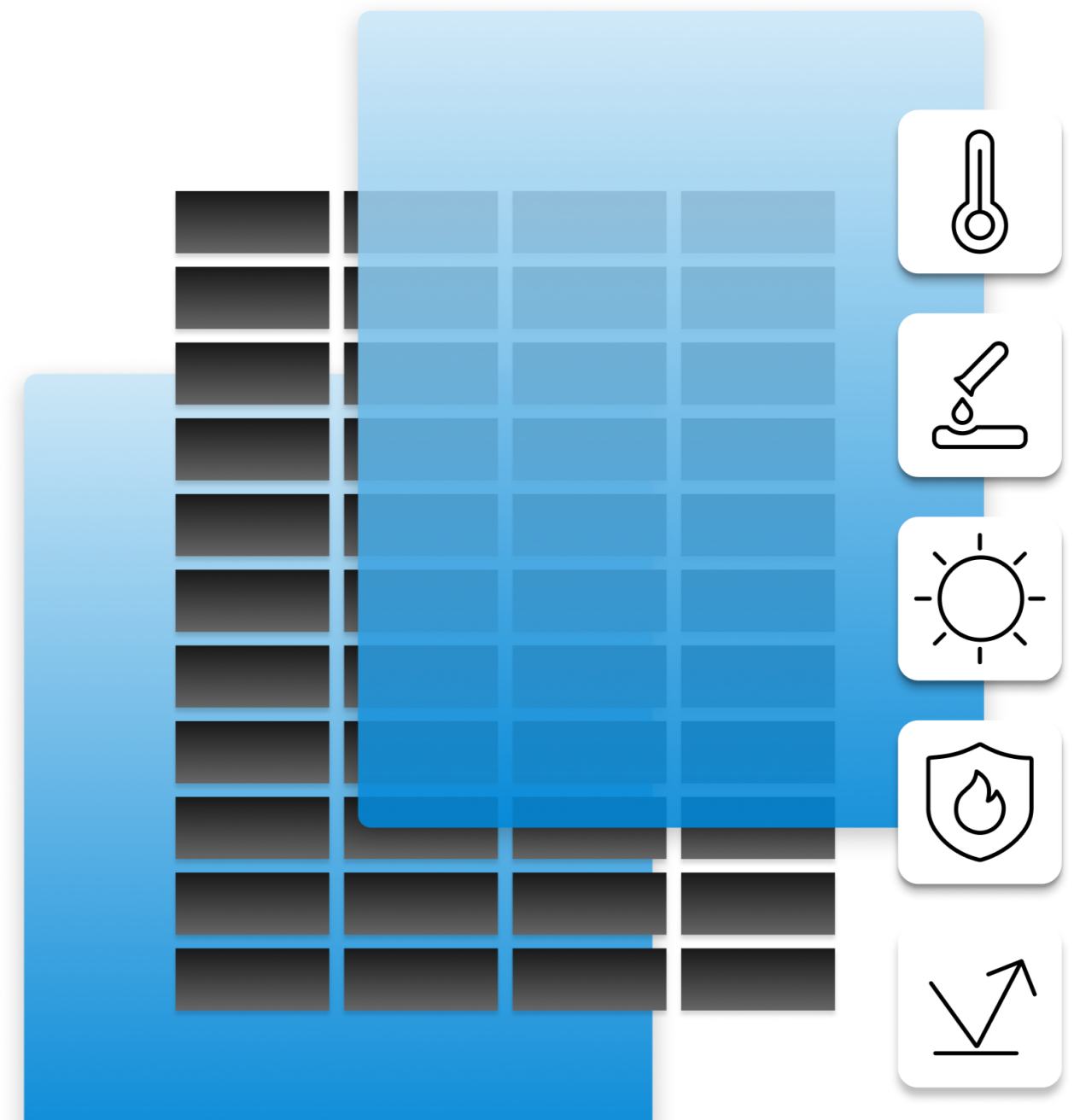
Comment le **double verre de 1,6 mm** améliore les performances des panneaux solaires

WHITE PAPER



Power Beyond Solar

Leader des solutions intelligentes de PV et de stockage d'énergie, nous facilitons la transformation des nouveaux systèmes énergétiques pour un avenir neutre en carbone



Contenu

1. Introduction	01
2. Avantages du double verre de 1,6mm d'épaisseur	01
2.1 Excellente uniformité de température	01
2.2 Résistance aux agents corrosifs et absence de pénétration de l'humidité	02
2.3 Adapté aux scénarios de température et d'humidité élevées	02
2.4 Résistance au feu	03
2.5 Résistance à la grêle	03
2.6 Fiabilité à long terme : Réduction de la dégradation	04
2.7 Résistance mécanique	06

01

Introduction

Avec l'évolution constante des panneaux photovoltaïques, les configurations bi-verre deviennent peu à peu des options dominantes sur le marché. Grâce à l'uniformité de la température et à l'absence de pénétration de l'humidité, les panneaux bi-verre de 1,6 mm affichent des performances exceptionnelles dans des environnements à température et à humidité élevées. En outre, les panneaux bi-verre subissent une dégradation moindre de la puissance et un risque réduit de stress après les essais de résistance mécanique.

02

Avantages du double verre de 1,6 mm

2.1 Excellente uniformité de température

Les panneaux photovoltaïques fonctionnant à une température uniforme réduisent la probabilité de mismatch et hot spots, ce qui contribue à augmenter la production d'énergie. Le coefficient de diffusion thermique d'un objet détermine sa capacité à répartir uniformément la chaleur. Dans le cas des panneaux photovoltaïques, un coefficient de diffusion thermique élevé indique que la température a plus de chances de converger vers une valeur uniforme. Ceci peut être observé en comparant un module avec une configuration à double verre de 1,6 mm à un module avec une configuration verre-backsheet, comme illustré ci-dessous. Le premier présente un coefficient de diffusion thermique nettement plus élevé, ce qui se traduit par une meilleure uniformité de la température et une amélioration des performances et du rendement du système photovoltaïque.

Configuration	Conductivité thermique (W/m·K)	Densité (g/cm ³)	Capacité thermique spécifique (KJ/Kg/K)	Coefficient de diffusion thermique (m ² /s)
Double verre 1,6mm	1,04	2,35	0,75	0,59
Verre-backsheet	0,14	1,37	2,2	0,046

Table 1. Comparaison de la diffusivité thermique des panneaux bi-verre et des panneaux verre-backsheet

L'expérience empirique permet de valider cette hypothèse. Au cours des essais d'un an réalisés à Hainan, en Chine, un capteur thermocouple a été installé sur les parties supérieure et inférieure de chaque panneau afin de surveiller en permanence les variations de température pendant le fonctionnement de ceux-ci.

La figure 1 montre la variation annuelle moyenne de la température des panneaux, avec une différence maximale de température de fonctionnement de 2 °C et une température moyenne de fonctionnement du panneau bi-verre inférieure de 0,75 °C à celle du module à feuille dorsale.

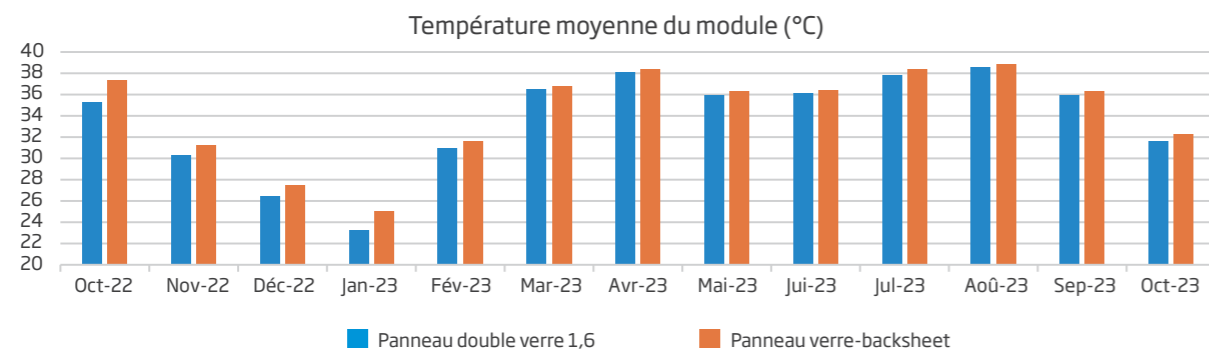


Figure 1. Température mensuelle (moyenne) des panneaux

2.2 Résistance aux agents corrosifs et absence de pénétration de l'humidité

Les panneaux bi-verre se sont avérés plus résistants à la pénétration de l'humidité que les panneaux verre/backsheet. Cela est principalement dû à leur conception structurelle unique qui améliore la protection des cellules et prolonge leur durée de vie totale. Outre les avantages structurels, l'utilisation du verre dans ces modules améliore leur fiabilité dans son ensemble. Le verre, en tant que matériau inorganique, présente une excellente résistance au brouillard salin, aux acides et aux alcalis. En revanche, les feuilles arrière fabriquées à partir de polymères plastiques sont sujettes au jaunissement, à la fissuration, à la dégradation et au farinage en cas d'exposition prolongée à l'air et aux UV.

En outre, la composition structurelle des panneaux bi-verre traditionnels les rend plus sensibles à la pénétration de l'humidité que les panneaux bi-verre. L'exposition continue à l'humidité peut entraîner divers degrés de dommages et de dégradation des cellules. Cela se produit lorsque la vapeur d'eau réagit avec le film encapsulant et subit une hydrolyse, formant de l'acide acétique. Cette substance corrosive peut dégrader les composants métalliques du module, tels que les rubans photovoltaïques, ce qui entraîne une dégradation de la puissance.

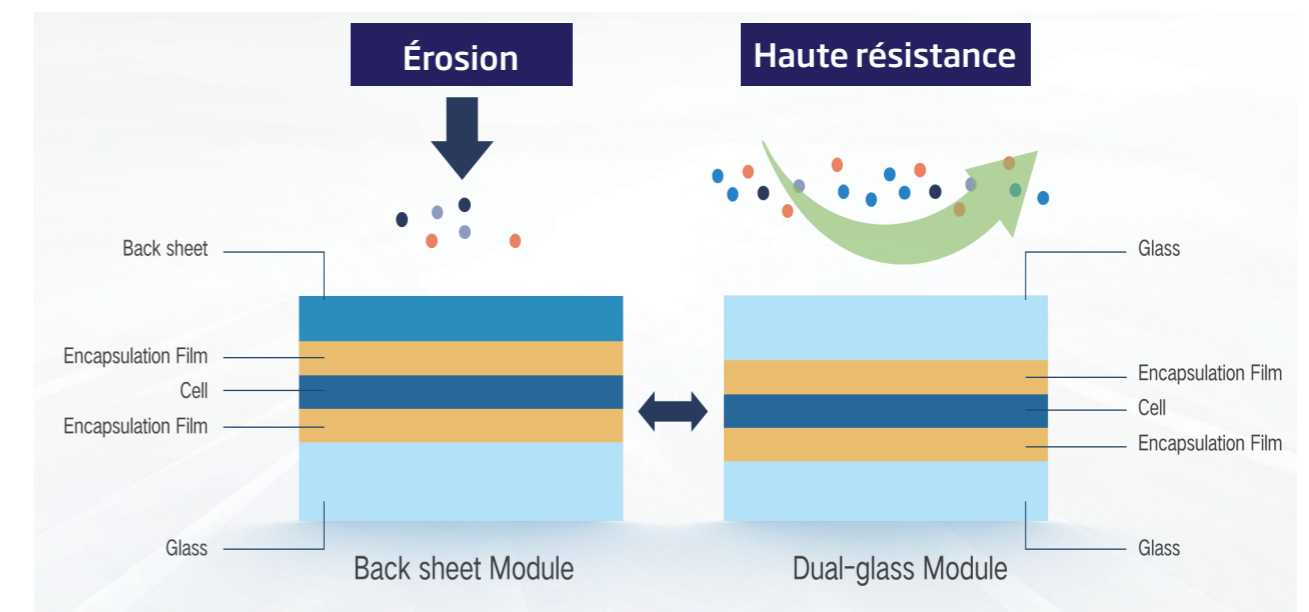


Figure 2. Comparaison de la structure des panneaux verre-backsheet et des modules bi-verre

Par conséquent, l'utilisation de panneaux bi-verre offre des avantages significatifs en termes de résistance à l'humidité et de performances du module dans son ensemble. En incorporant du verre comme couche protectrice, ces modules offrent une meilleure protection des cellules, une durée de vie plus longue et une fiabilité accrue par rapport aux modules à feuilles arrière.

2.3 Adaptés aux scénarios de température et d'humidité élevées

Les panneaux bi-verre sont normalement le choix privilégié dans les scénarios de température et d'humidité élevées. Pour évaluer la capacité des modules à produire de l'énergie dans ce type d'environnement, Trinasolar a mené une analyse empirique dans le cadre d'un projet situé à Haikou (Hainan), où des panneaux bi-verre de 1,6 mm ont été comparés à des panneaux avec du verre de 3,2 mm et du backsheet dans la face arrière.

Du point de vue de la production d'électricité, les panneaux bi-verre de 1,6 mm ont montré de meilleures performances que les panneaux verre-backsheet. La production annuelle d'électricité réalisée par les derniers était de 5984,42 kWh (1222,46 kWh/kWp). Dans le cas des panneaux bi-verre de 1,6 mm, la production annuelle d'électricité a atteint 6466,12 kWh (1259,93 kWh/kWp), soit 3,07 % de plus.

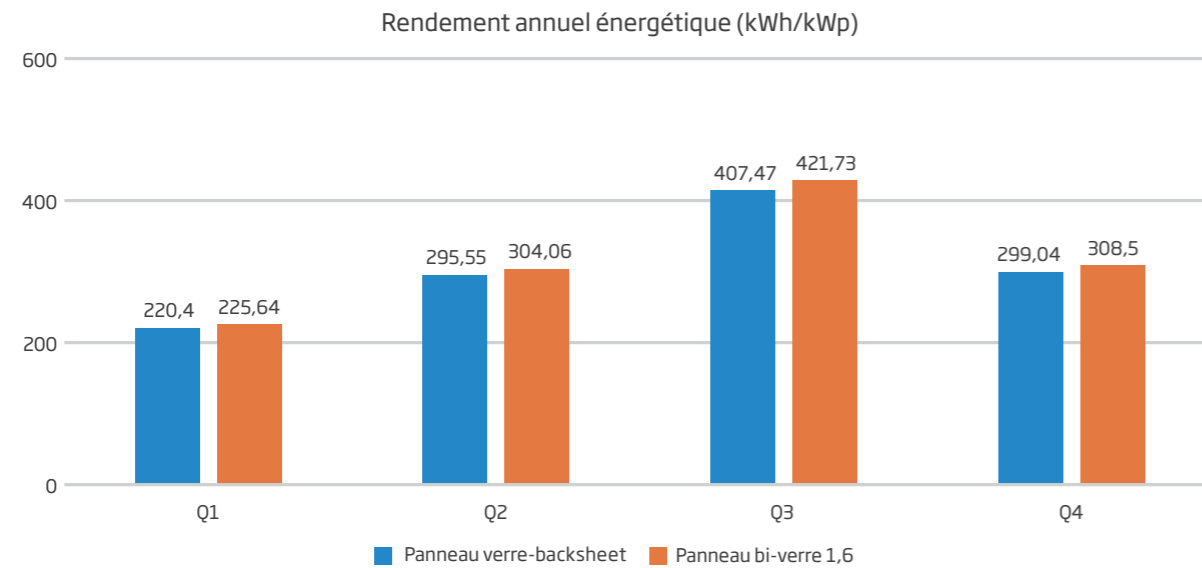


Figure 3. Rendement énergétique à Haikou (panneaux verre-backsheet vs panneaux bi-verre 1,6mm)

2.4 Résistance au feu

Les panneaux bi-verre de 1,6 mm présentent une résistance au feu supérieure à celle des panneaux verre-backsheet. Selon les tests effectués conformément à la norme IEC 61730-2 (protocole d'essai UL 790), ces modules bi-verre ont obtenu la classe A dans le test de propagation des flammes, ce qui signifie que la propagation du feu sur le module est inférieure à 1,8 mètre au cours d'un test de 10 minutes. En outre, lors du test de combustion, les modules ont passé avec succès le test de classe C sans aucun problème.

L'inflammabilité des panneaux photovoltaïques doit être prise en compte car, lorsqu'ils sont installés sur les toits, ils font partie de la structure du bâtiment. La norme EN 13501-1 est une norme européenne qui spécifie un système de classification de la performance au feu des produits de construction et des éléments de construction. Elle exige que les panneaux photovoltaïques installés sur les bâtiments soient conformes à des normes de sécurité incendie strictes afin de prévenir le risque de propagation du feu. Les modules Vertex S+ avec un double verre de 1,6mm ont atteint la classe E de la norme EN 13501-1, ce qui témoigne d'un engagement en faveur de normes de sécurité incendie élevées dans la fabrication des modules photovoltaïques, au bénéfice des fabricants, des constructeurs et des utilisateurs finaux.

2.5 Résistance à la grêle

La résistance à la grêle est un autre indicateur permettant d'évaluer la fiabilité des panneaux solaires. Les panneaux bi-verre de 1,6 mm ont passé avec succès un test de résistance à la grêle de 35 mm, ce qui est plus critique que le test standard de la norme IEC qui est de 25 mm.

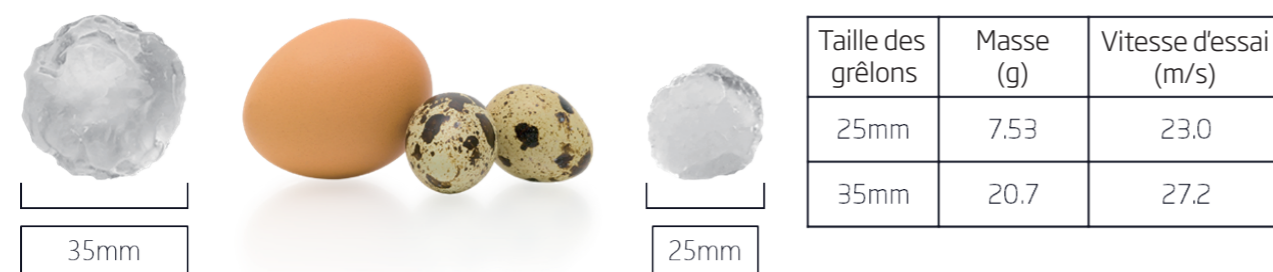


Figure 4. Comparaison de la taille des grêlons et de la vitesse d'essai

En particulier, le Swiss Hail impact test a été largement reconnu et appliqué par les institutions et les pays européens, notamment dans des pays comme la Suisse, l'Autriche et l'Allemagne confrontés à des conditions météorologiques extrêmes. Les panneaux qui satisfont aux exigences de l'essai suisse sur la grêle peuvent apporter aux installateurs et aux utilisateurs finaux une certitude supplémentaire en termes de stabilité mécanique. En outre, le test de grêle suisse contrôle la dimension et le poids des grêlons avec plus de précision que les normes IEC. Jusqu'à présent, les panneaux Trinasolar Vertex S+ de la série NEG9R (NEG9R.28, NEG9R.25 et NEG9RC.27) ont obtenu la certification HW3.

2.6 Fiabilité à long terme : Réduction de la dégradation

Pour comparer le taux de dégradation des différentes configurations de panneaux, Trinasolar a effectué plusieurs tests de fiabilité et s'est assuré que les panneaux testés étaient fabriqués à partir de cellules provenant du même fabricant. Les résultats provenant de trois séries de tests différentes concluent que la dégradation de la puissance des modules bi-verre est nettement inférieure à celle des modules verre-backsheet (figure 5).

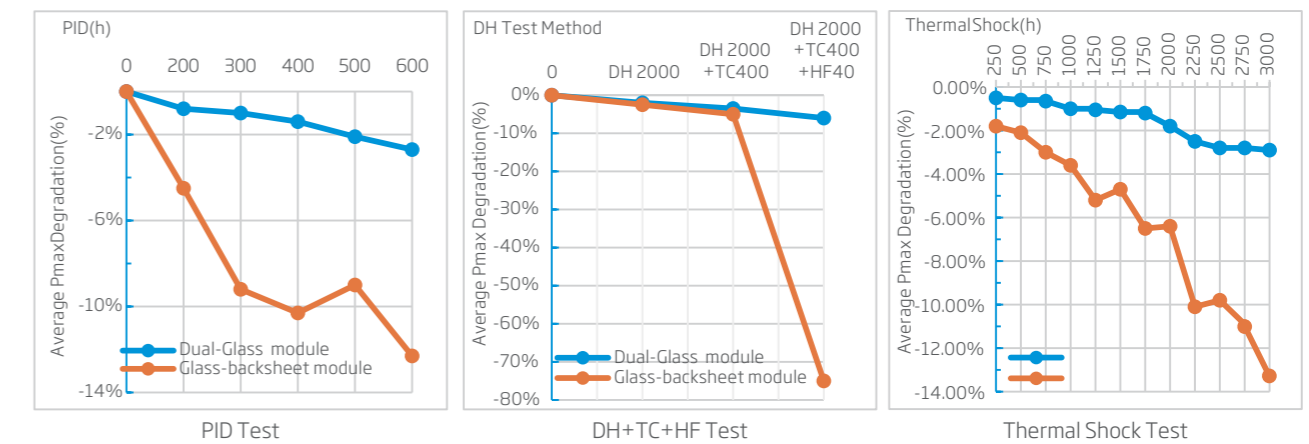


Figure 5. Dégradation de la Pmax du module bi-verre et du module backsheet après des essais de longue durée

De même, le taux de dégradation des panneaux verre-backsheet était plus élevé que celui des configurations bi-verre après l'essai DH 1000 (1000 cycles de chaleur humide). Pour ce test DH 1000, la température était de 85°C ± 2°C et l'humidité de 85% ± 5%. Il est possible de conclure que les panneaux bi-verre ont démontré d'excellentes performances dans des environnements d'essai à haute température et à forte humidité, ce qui s'est traduit par des taux d'atténuation plus faibles (table 2).

Type de produit	Dégradation (%)
Panneau bi-verre de 1,6mm	-0,86%
Panneau verre-backsheet	-1,96%

Table 2. Taux de dégradation des panneaux après le test DH1000

Selon le « PV Magazine Test » publié par PV Magazine (Figure 6 & 7), le module Trinasolar NEG9RC.27 Vertex S+ (module bi-verre de 1,6 mm) a démontré des performances supérieures en termes d'apparence, d'électroluminescence (EL), de dégradation induite par le potentiel (PID) et de dégradation induite par la lumière (LID) par rapport aux modules PERC, HJT et BC. En avril 2024, il a atteint la première place dans le classement du rendement énergétique et la troisième place dans le score moyen.

Classement PV Magazine Test du rendement énergétique spécifique au mois d'avril 2024

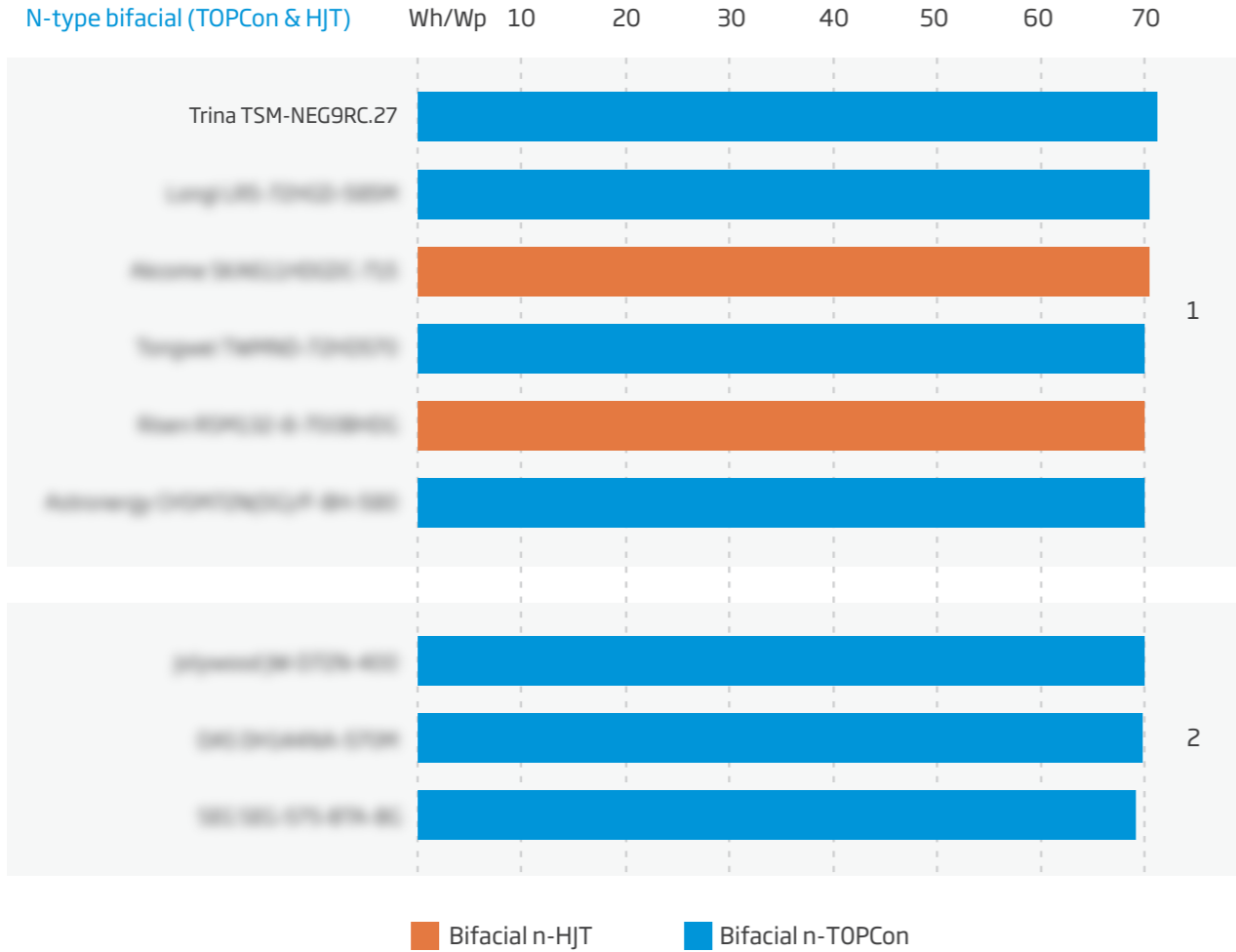


Figure 6. Classement du rendement énergétique des essais de PV Magazine (source: PV Magazine photovoltaic markets & Technology, 06/2024/78538)

Product	Type	Name plate power (W)	Visual Grade	EL Grade	Low Irradiance Grade	Pmax temperature coefficient	PID Loss Grade	Average
TSM-685NEG21C.20	Bifacial TOPcon	685	100	100	79	102	100	95
TSM-685NEG21C.20	Bifacial HJT	715	100	100	77	114	84	93
TSM-NEG9RC.27 425W	Bifacial TOPcon	425	100	100	70	98	100	92
TSM-685NEG21C.20	Bifacial TOPcon	695	100	100	69	104	89	90

Figure 7. Résultat du test du magazine PV (source: <https://www.pv-magazine.com/pv-magazine-test-results/>)

2.7 Résistance mécanique

Des tests exhaustifs, des calculs théoriques et des analyses expérimentales ont été effectués pour évaluer la résistance mécanique de différentes configurations de panneaux, comme les panneaux bi-verre de 1,6mm et les panneaux verre-backsheet. Par exemple, la figure 8 montre les différences de déformation des panneaux après simulation par modélisation par éléments finis (FEM) pour les topologies bi-verre par rapport aux topologies verre-backsheet. La déformation subie par les panneaux verre-backsheet est nettement plus importante que celle des panneaux bi-verre dans les mêmes conditions d'essai. Les résultats de la simulation par éléments finis indiquent que la déformation des panneaux bi-verre de 1,6mm est inférieure à 30 mm, alors que celle des panneaux verre-backsheet peut atteindre 50 mm.

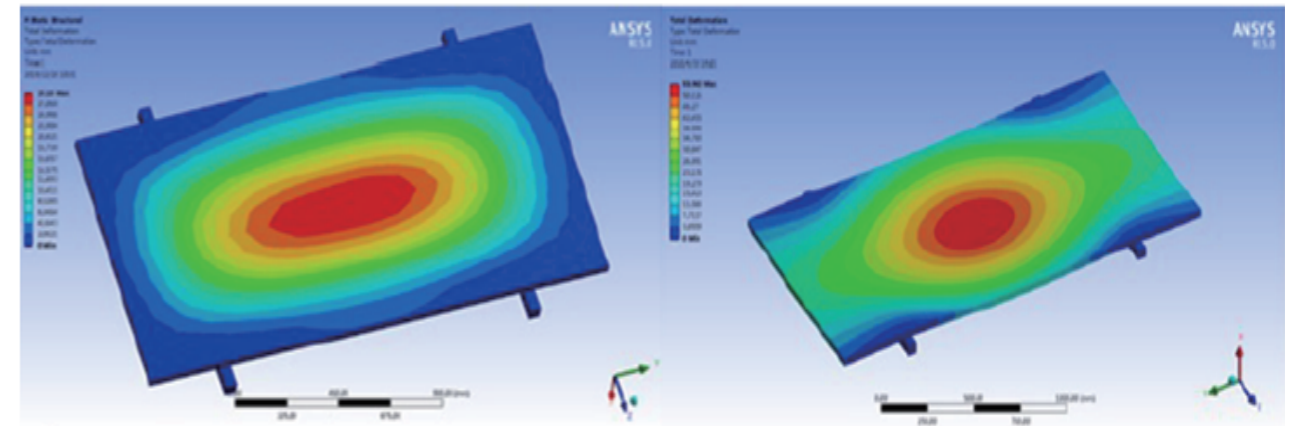


Figure 8. Déformation de panneaux verre-backsheet (à gauche) et des panneaux bi-verre (à droite)

En outre, Trinasolar a analysé l'atténuation de puissance et les résultats de EL de deux types de panneaux après avoir effectué des essais de charge mécanique. Les deux types de panneaux ont été montés avec des vis sous des charges maximales acceptables de 6000 Pa sur la face avant et 4000 Pa sur la face arrière (tableau 3). L'analyse a clairement conclu que la dégradation de la puissance est plus faible pour le module bi-verre que pour le module verre-backsheet. Après les essais de charge mécanique, la perte de puissance pour le module bi-verre de 1,6 mm était de 0,28 %, tandis que le module verre/feuille arrière de 3,2 mm présentait une perte de puissance de 0,48 %. D'après les résultats du test EL, aucune fissure cachée n'a été observée dans les panneaux en verre de 1,6 mm. Cependant, les panneaux backsheet présentaient de légères fissures à certains endroits.

L'analyse théorique et les données expérimentales démontrent que les panneaux bi-verre sont plus fiables que les panneaux backsheet en termes de capacité de charge mécanique. En effet, la déformation et l'atténuation de puissance des panneaux bi-verre sont inférieures à celles des panneaux backsheet dans les mêmes conditions d'essai.

Épaisseur du verre	Méthodes d'installation	Charge requise	Composants de montage	État de la charge	Perte de puissance [%]
3,2mm (backsheet)	Côté long Vis	+6000Pa -4000Pa	Vis M8, joint de 18 mm	PASS	-0.48%
1,6mm (bi-verre)	Côté long Vis	+6000Pa -4000Pa	Vis M8, joint de 18 mm	PASS	-0.28%

Table 3. Résultats des essais de charge mécanique pour les panneaux bi-verre et verre-backsheet

Avertissement

Le contenu de ce white paper est destiné à la consultation des produits et à la référence des clients du groupe Trinasolar. Le white paper ne doit pas être considéré comme faisant partie d'un contrat de vente de produit de Trinasolar. Trinasolar se réserve le droit de modifier ou de changer le contenu de ce white paper à tout moment et sans préavis. Trinasolar détient tous les droits de propriété intellectuelle, le titre et les droits d'interprétation finale de ce white paper. Il est interdit de modifier, reproduire, distribuer, publier ou concéder sous licence ce white paper sous quelque forme que ce soit sans l'accord écrit préalable de Trinasolar.