

Vincent GUIHENEUF

Contexte - Objectifs

Définition :
Module photovoltaïque = système multicouche complexe : verre, polymère, cellule PV, métaux

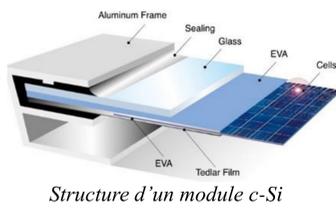
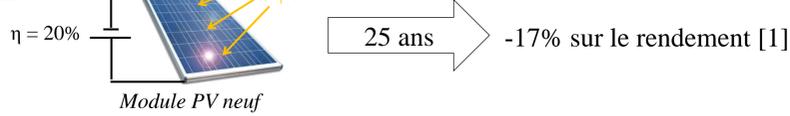
Axe de recherche :

~~Rendement des modules PV~~

VS

Durabilité des modules PV

Constat :



Objectifs de la thèse :

- Etudier l'influence du vieillissement accéléré sur les propriétés physiques et chimiques de chaque matériau puis d'un module complet (interactions)
- Définir leurs mécanismes de dégradation et les lois de vieillissement correspondantes
- Prédire la production électrique durant les 25 ans d'utilisation

Vieillessement du verre

Echantillons et protocole :

- Verre flotté sodocalcique de 5mm d'épaisseur
- Pas de texturation, ni de couche antireflet
- Vieillessement accéléré sous chaleur humide (CH) durant 1000h

Caractérisations optiques :

- Augmentation de la transmittance et diminution de la réflectance
 - Plus forte augmentation de la transmittance dans les UV [290 – 400 nm]
- ↳ dégradation de l'encapsulant plutôt qu'augmentation du rendement

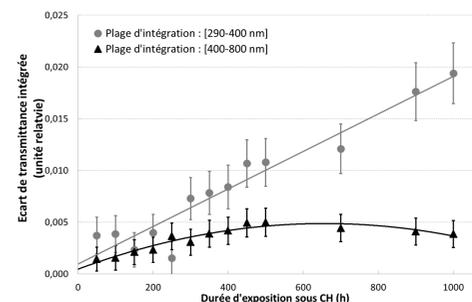
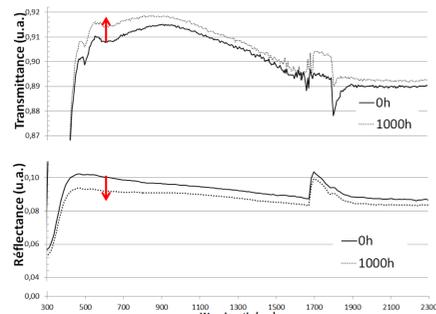


Fig. 1. Transmittance et Réflectance du verre avant et après 1000h de CH (UV/Vis/PIR).

Fig. 2. Ecart de transmittance intégrée en fonction du temps d'exposition sous CH.

Caractérisations chimiques :

- Diminution de [Na] après exposition sous CH
- Apparition de H₂O (1646 cm⁻¹) et de [OH] (3600 cm⁻¹)

Face du verre	Exposition sous CH	Al	Ca	Mg	Na	Si	Sn	Autres: K, Fe
Face étain	Non vieilli	0,6	9,1	3,4	11,4	73,3	1,9	0,3
	Après 500h	0,6	9,0	3,5	10,5	74,3	1,8	0,3
Face non-étain	Non vieilli	0,7	9,0	3,5	11,9	74,4	0,2	0,3
	Après 500h	0,7	8,9	3,6	10,6	75,8	0,2	0,3
	Après 1000h	0,6	9,2	3,7	9,2	76,8	0,2	0,3

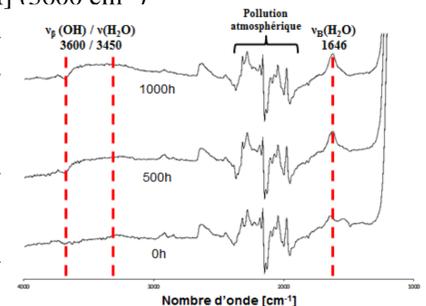


Fig. 3. Spectres IR de 3 échantillons pour différentes durées sous CH (FTIR).

Tableau 1. Variation de la concentration relative (at.%) des composants du verre en fonction de l'exposition sous CH (SEM/EDX).

Description du mécanisme de vieillissement :

- 1^{ère} étape : Formation d'un film à la surface par adsorption de l'eau
- 2^{ème} étape : Réaction chimique de H₂O dans le réseau de silice [2]
- ↳ lixiviation des cations et hydrolyse du réseau vitreux
- 3^{ème} étape : Corrosion du verre et dépôts de carbonates

Vieillessement de l'encapsulant

Echantillons et protocole :

- Empilement Verre/EVA/Verre mis en forme à 150°C durant 10min
- Vieillessement accéléré sous UV : P = 2075W/m², t = 96h, spectre de [180 – 450 nm] et T ambiante = 50°C

Caractérisation optique :

- Transmittance augmentée dans le proche IR : [900-1200] nm
- Transmittance diminuée dans la plage visible : [400-700] nm

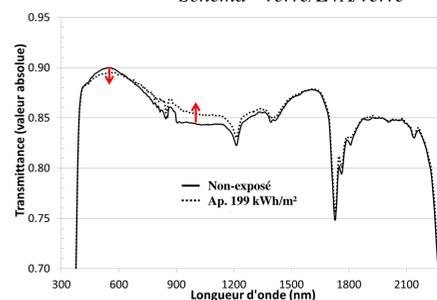
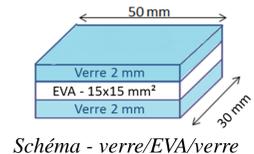


Fig. 4. Transmittance Verre/EVA/Verre avant et après exposition UV (199kWh/m²).

Caractérisation chimique :

- Dégradations des chaînes principales
 - Liaison C-H à 2850 cm⁻¹
 - Groupe acétate : C=O à 1737 cm⁻¹ et C-O-C à 1242 cm⁻¹
- Apparitions de bandes d'absorption
 - à 1175 cm⁻¹ : CH₃-C-H [3]
 - à 3500 cm⁻¹ : -OH [4]

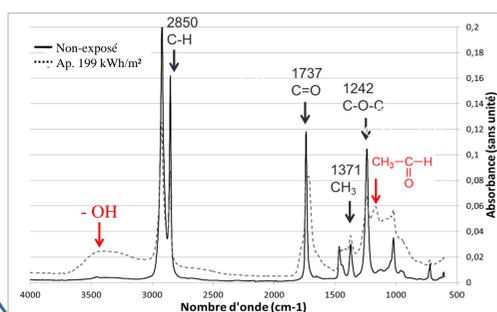
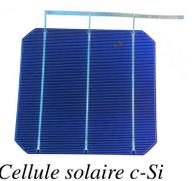


Fig. 5. Spectres FTIR de l'EVA avant et après exposition aux UV (199kWh/m²).

Vieillessement de la cellule PV

Echantillons et protocole :

- Cellules solaires au silicium monocristallines
- Sans encapsulation et d'une surface de 156x156cm²
- Vieillessement accéléré sous UV : P = 600W/m², t = 333h, spectre de [180 – 450 nm] et T ambiante = 50°C



Cellule solaire c-Si

Caractérisations électriques :

- Diminution logarithmique du rendement lorsque la dose UV augmente
- Dégradations principalement dues au V_{co} (≈ 50%) et à l'I_{cc} (≈ 25%)
- Concernant les résistances :
 - R_s constante => pas de modification des contacts
 - Diminution de R_p (439Ω => 69Ω) => augmentation du courant de fuite

Dose UV [kWh/m ²]	V _{co} [V]	I _{cc} [A]	FF [%]	P _{max} [W]	Rendement [%]
0	0,6551	9,22	76,9	4,65	19,41
0,6	-1,21	-0,60	-1,43	-3,23	-3,25
1,2	-1,48	-0,87	-0,91	-3,23	-3,25
2,4	-1,84	-1,20	-1,02	-4,06	-4,10
4,8	-3,27	-1,63	-1,41	-6,40	-6,24
9,6	-4,26	-1,41	-0,65	-6,25	-6,20
19,2	-3,70	-1,64	-1,27	-6,60	-6,48
38,4	-5,26	-3,70	-0,13	-8,68	-8,83
99,6	-6,05	-3,06	-1,03	-9,74	-9,94
199,8	-6,24	-3,16	-2,20	-11,18	-11,23

Tableau 2. Caractéristiques électriques et taux de dégradations (%) des cellules solaires dans les conditions STC pour différentes doses UV.

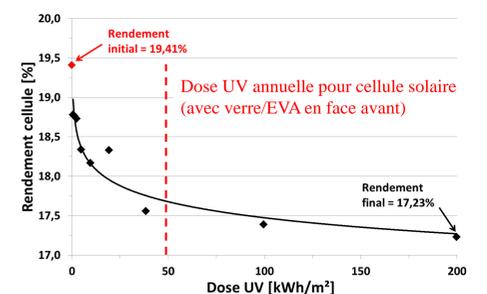


Fig. 6. Taux de dégradation du rendement de la cellule solaire en fonction de la dose UV.

Conclusions

Vieillessement CH du verre :

Amélioration de la transmittance avec lixiviation du Na

Vieillessement UV de l'encapsulant :

Diminution de la transmittance avec dégradation des chaînes du polymère

Vieillessement UV de la cellule solaire :

Dégradation à deux vitesses du rendement à cause du V_{co} et I_{cc}

Perspectives

Etudier le vieillissement d'un mini-module PV : verre, encapsulant, cellule PV => constater les interactions entre matériaux

Etablir la corrélation : vieillissement accéléré vs naturel

Références bibliographiques :

- [1] D. Jordan and S. Kurtz, NREL Journal Article 5200 (2012) 51664
- [2] R. Schaut and C. Pantano, The Glass Researcher 14 (2005) 44-49
- [3] J. Jin et al., Polymer Degradation and Stability 95 (2010) 725-732
- [4] G. Oreski and G. Wallner, Solar Energy 79 (2005) 612-617