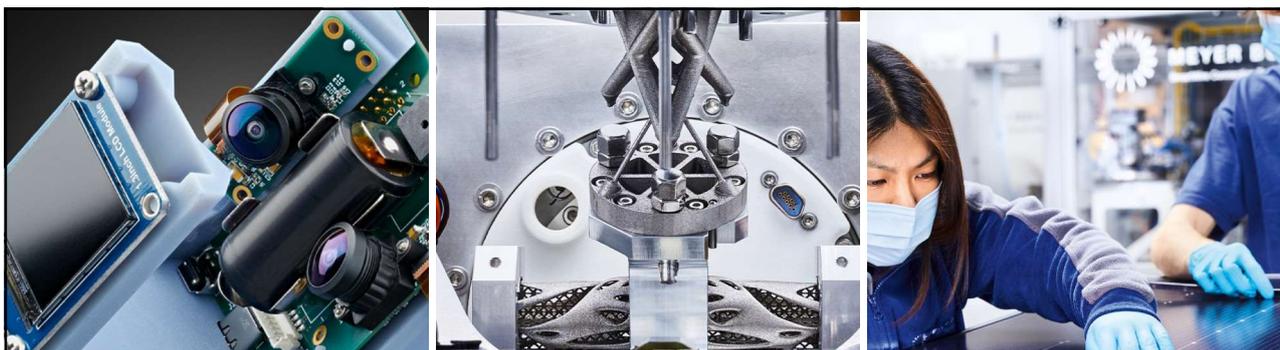


CONGRÈS PHOTOVOLTAÏQUE SUISSE 2025





A. Borja-Block¹, J. Escarre Palou², M. Courtant¹, A. Virtuani², G. Cattaneo², M. Roten², H. Li², M. Despeisse², A. Hessler-Weyser¹, U. Desai¹, A. Faes^{1,2}, C. Ballif^{1,2}, Bénédicte Bonnet-Eymard²
¹ PV-LAB, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Neuchâtel, Switzerland
² CSEM, Sustainable Energy Center, Neuchâtel, Switzerland

SOLUTIONS DE COLORATION POUR LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES INTÉGRÉS AUX BÂTIMENTS : UNE REVUE

2 avril 2025





LA SUISSE ET L'ESTHÉTIQUE

> 8 % du marché PV distribué est intégré (BIPV) en 2024 en Suisse*

Croissance attendue du BIPV en Suisse (capacité installée annuelle) **:



2023: 62 MWp

2028: 96 MWp



3S Swiss Solar Solutions

climacy

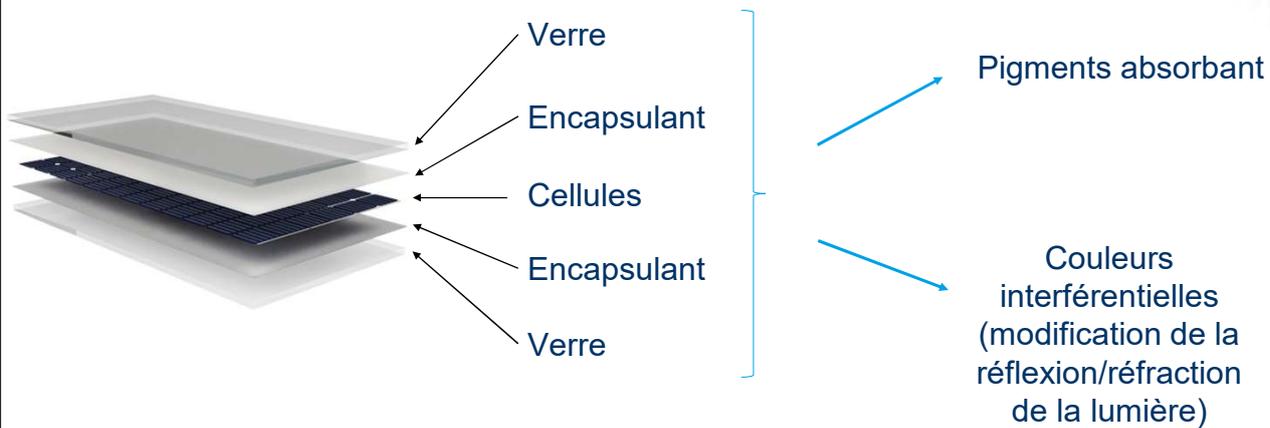
FREE SUNS SOLAR ENERGY

4

*pronovo.ch / ** BIPV, A practical handbook for solar buildings' stakeholders, SUPSI, 2024

csem

COMMENT POUVONS-NOUS APPORTER DES COULEURS DANS LES MODULES ?



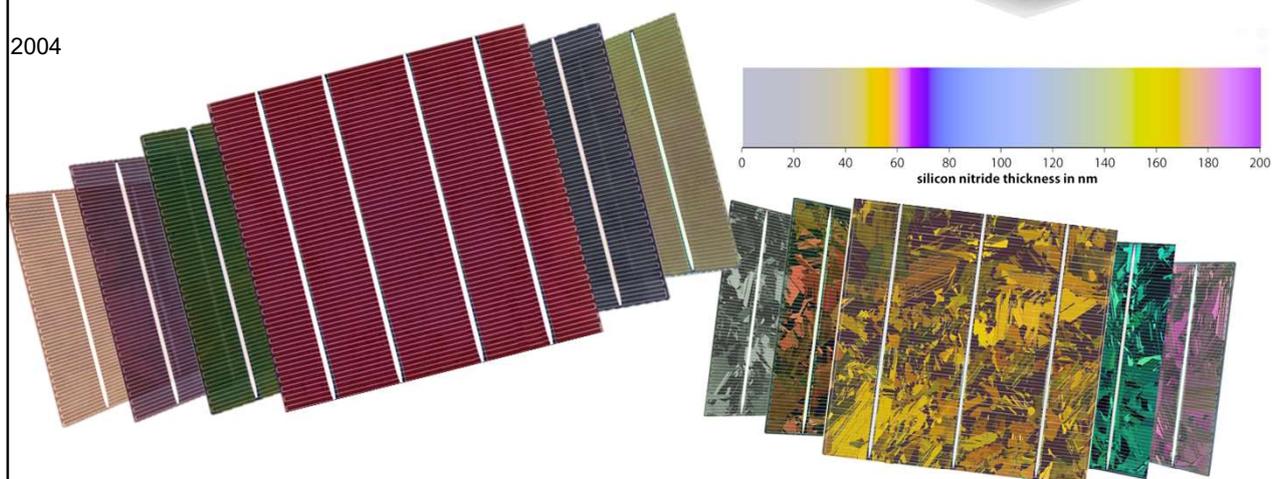
5

:: csem

EPFL
PV-lab
IEM NEUCHÂTEL
:: csem

CELLULES COLORÉES

2004



Cellules en silicium cristallin colorées en jouant sur l'épaisseur du revêtement antireflet

6

:: csem

EPFL
PV-lab
IEM NEUCHÂTEL
csem

FEUILLE COLORÉE

FREE SUNS
SOLAR ROOFS



Ferlens (VD) Bioley-Magnoux (VD)

EPFL
PV-lab
IEM NEUCHÂTEL
csem

FEUILLE COLORÉE - ART

Compáz (CH) **BE SMART**



VERRE COLORÉ

Close-up

Wuppertal - DE

Impression céramique numérique = Digital Ceramic Printing(DCP) **csem**

11

EPFL
 PV-lab
 IEM NEUCHÂTEL
 KameleonSolar

Glass
 Encapsulant
 Cells
 Encapsulant
 Glass

VERRE COLORÉ

Genk, BE

Middelburg, NL

Impression céramique numérique **csem**

12

EPFL
 PV-lab
 IEM NEUCHÂTEL
 csem

KameleonSolar
 with a touch of
 soltech

Glass
 Encapsulant
 Cells
 Encapsulant
 Glass

spreitenbach, CH
 glaströsch
 HSLU Hochschule Luzern
 3S Swiss Solar Solutions
 solarix

EPFL
PV-lab
IEM NEUCHÂTEL
csem

VERRE COLORÉ

COULEUR INTERFERENTIELLE

MERCK

Ceramic Colors
Wolbring




Pâtes colorées spéciales pour la sérigraphie avec des flocons de mica recouverts d'une fine couche de dioxyde de titane (pigments photoniques) csem

13

EPFL
PV-lab
IEM NEUCHÂTEL
csem

VERRE COLORÉ

COULEUR INTERFERENTIELLE

Kromatix™




Amsterdam

Lausanne

Copenhagen, DK

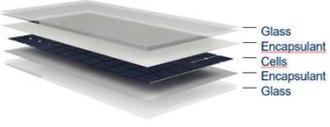
Traitements de surface nanotechnologiques csem

14

EPFL
PV-lab
TEM NEUCHÂTEL
csem

VERRE COLORÉ

MorphoColor, Fraunhofer ISE



COULEUR INTERFERENTIELLE



Freiberg, DE

15

Structure lamellaire

csem

... un feu d'artifice de possibilités

Désolée de ne pas mentionner toutes les entreprises et approches !!



EPFL
PV-lab
ITEM NEUCHÂTEL
csem

COÛT : LE PANNEAU SOLAIRE COMME ÉLÉMENT DE CONSTRUCTION

BIPV = combinaison de fonctionnalités

- Couverture
- Production d'énergie

Coût = Élément BIPV – Matériel de couverture remplacé – Production d'électricité - Subventions

FORT IMPACT DES POLITIQUES PUBLICS

Est-ce financièrement équivalent à un élément non-actif?
- Oui, cela peut l'être !

Est-ce que cela réduit l'empreinte carbone totale ?
- Oui, dans de nombreux cas, même pour les façades nord !

The carbon intensity of integrated photovoltaics A Virtuani, Joule 7 (11), 2511-2536 (2024) :: csem

17

EPFL
PV-lab
ITEM NEUCHÂTEL
csem

PERFORMANCE

0 10 20 30 40 50 → % losses Efficiency

Interferential coating

- Merck / Ceramic Colors Wolbring (Colorquant) → <math>< 20\%</math>, depends on colour and/or chosen glare
- MorphoColor Fraunhofer ISE → Blue Green Red

Coloured Glass

- Sunage (-11- -18%) → 35 (-11 - -28%)
- Glas Trösch (<math>< 25\%</math>) → -45% (White)
- Kameleon Solar Colorblast (-10 - -50%) → Darker-range, Mid-range, Brighter-range

Encaps.

- Solaxess / 3S (14 colours: -10 - -40%) → Dark grey, Light grey, Beige, White

Post-Manufact.

- SolarSkin, Sistine Solar (-12- -15%)

0 10 20 30 40 50 → % losses Power

Effets angulaires possibles

Chaîne d'approvisionnement complexe

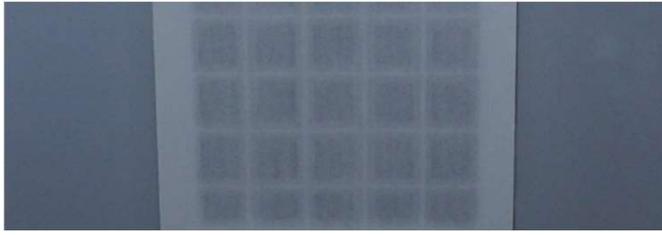
Fortement dépendant de la technologie et de la couleur
Compromis : esthétique ↔ performance ↔ coût

18 :: csem



DÉFIS AVEC LES REVÊTEMENTS/MATÉRIAUX UTILISÉS

Dégradation



Avant
Après exposition
Avant

Tests approfondis de chaque revêtement/pigments/matériaux utilisés pour toute la diversité des tests, en conjonction avec les technologies de cellules changeantes et les schémas d'interconnexion

Stabilité de la couleur

Sample ID	Colorimeter	Spectrometer	LAI colorimeter
Ivory 0 mm			
Ivory 3.2 mm			
Ivory 6.4 mm			



19



TESTS DE FIABILITÉ & AMÉLIORATION

Exemple de plateforme CSEM avec ligne d'extrusion pour polymère personnalisé, fabrication de modules et infrastructure de tests intensifs pour modules et modules colorés





Les défis de fiabilité doivent être pris au sérieux !



20

TECHNIQUES DE COLORATION POUR LE PV : CONCLUSION

- Révolution dans les panneaux photovoltaïques pour l'intégration aux bâtiments au cours des 10 dernières années
- Remplacement des éléments de construction inactifs par des éléments actifs
- Multiples solutions, produits et entreprises actives - chaque approche a ses avantages et inconvénients
- Une opportunité de maintenir les activités de niche sur le marché européen avec un potentiel de croissance



A. Borja Block et al., "Colouring solutions for building integrated photovoltaic modules: A review," Energy and Buildings, vol. 314. Elsevier BV, p. 114253, Jul. 2024. doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114253.

21



22

NOUVEAU CAS - BIPV



-  Certificate of Advanced Studies (CAS) / Modules individuels
-  Septembre 2025 à janvier 2026
-  Campus UNIL-EPFL, Lausanne
-  S'INSCRIRE

PHOTOVOLTAÏQUE INTÉGRÉ AUX BÂTIMENTS (BIPV)

csem



REMERCIEMENTS

Funded in part by the **European Union's Horizon 2020** research and innovation programme under the **Be-SMART** project (818009) and the **Marie Skłodowska-Curie** grant agreement 754354.

Funded in part by **DELIGHT** project (SOLAR-ERA.NET), **Building integrated lightweight PV (BeePV)** (INNOSUISSE project number 104.300.1 IP-EE) and **Swiss excellence government scholarship** (grant id: 2023.0173).

Funded in part by the **European Union** and by the **Swiss State Secretariat for Education, Research and Innovation (SERI)** under grant agreements 101096126 (**SEAMLESS-PV**), 101136094 (**SPHINX** project) and 101136112 (**INCREASE** project).

We gratefully acknowledge support from all PV-Lab, CSEM team members and all the institutions that kindly collaborated in this work.



benedicte.bonnet-eynard@csem.ch





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



PV-lab
IEM NEUCHÂTEL



csem



Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN



Colouring techniques for PV

References

- [01] https://energyec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en
- [02] Figure from: HZB Home https://www.helmholtz-berlin.de/projects/baip/bipv_en.html
- [03] Building in Zürich, Switzerland, with terracotta foil. 3S Swiss Solar Solutions AG
- [04] Test installation of MegaSlate Flair DCP coloured modules in Bern with a varied range of colours. Image courtesy of 3S Swiss Solar Solutions AG.
- [05] SUM prototype from Kameleon Solar. (A) Façade. (B) Close-up of the small spaced out DCP hexagons. (C) Full façade. Images provided by Kameleon Solar, Team SUM
- [06] A portfolio of Colorquant product samples from Ceramic Colors Wolbring. Image provided by Ceramic Colors Wolbring GmbH
- [07] Building in Zürich, Switzerland, with terracotta foil. Images provided 3S Swiss Solar Solutions AG
- [08] Freesuns project in Fertens, Switzerland, with different tones of terra cotta solar tiles. (A) Distant perspective. (B) Near perspective. (C) Close-up view. Images courtesy of Freesuns
- [09] Solaxess
- [10] Computer Science Building of the University of Belfast with Vanceva coloured foils. (A) Main entrance. (B) Façade. Images courtesy of Vanceva
- [11] Project for DEWA R & D from Onyx solar employing see-through coloured a-Si. Image provided by Onyx solar
- [12] First building equipped with Kromatix technology at EPFL main campus. Images courtesy of Kromatix™ SA
- [13] Iconic BIPV building of the Copenhagen International School with blue green Kromatix glass. Images courtesy of Kromatix™ SA
- [14] Morphocolor Fraunhofer ISE
- [15] BIPV building made with a Solaxess nanotechnology white film. Image courtesy of Solaxess
- [16] LOFSolar
- [17] LOFSolar
- [18] Murdoch University Greenhouse with ClearVuePV windows. Images courtesy of ClearVuePV
- [19] Explanatory schematic - ClearVuePV LSC transparent window. Images courtesy of ClearVuePV
- [20] Sistine Solar projects. La Monarch mural and Solar flower at Southeast New Mexico College. Images provided by Sistine Solar
- [21] Examples of realizations using coloured PV modules by Comp'az. Images courtesy of Association Compáz
- [22] A. Borja Block et al., "Colouring solutions for building integrated photovoltaic modules: A review," Energy and Buildings, vol. 314. Elsevier BV, p. 114253, Jul. 2024. doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114253.
- [23] C. Kutter, et al., Decorated building-integrated photovoltaic modules: power loss, color appearance and cost analysis, in: 35th Eur. Photovolt. Sol. Energy Conf. Exhib. 1488-1492, 2018, p. 5, doi: 10.4229/35THEUPVSEC20182018-6A0.8.6, 3529 kb.
- [24] A. Borja Block, et al., Accurate color characterization of solar photovoltaic modules for building integration, Solar Energy, Volume 267, 2024, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X23008617>
- [25] M. Courtant, et al., Colorimetry of modules for building-integrated photovoltaic applications, July 2024, <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202309105779>