



HAL
open science

Caractérisations avancées, modélisations multi-physiques et multi-échelles de dispositifs : des cellules aux modules photovoltaïques

Anne Migan-Dubois

► To cite this version:

Anne Migan-Dubois. Caractérisations avancées, modélisations multi-physiques et multi-échelles de dispositifs : des cellules aux modules photovoltaïques. Energie électrique. UPMC - Paris 6 Sorbonne Universités, 2016. tel-01420660

HAL Id: tel-01420660

<https://hal.science/tel-01420660v1>

Submitted on 20 Dec 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Habilitation à Diriger des Recherches

Anne Migan

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs : des cellules aux modules photovoltaïques

Corinne Alonso	Professeur des universités <i>Rapporteur</i>	LAAS
Christelle Aupetit	Professeur des universités <i>Examineur</i>	Xlim
Marc Hélier	Professeur des universités <i>Examineur</i>	L2E
Jean-Paul Kleider	Directeur de recherche <i>Examineur</i>	GeePs
Esidor Ntsoenzok	Professeur des universités <i>Rapporteur</i>	CEMHTI
Abdelilah Slaoui	Directeur de recherche <i>Rapporteur</i>	iCube



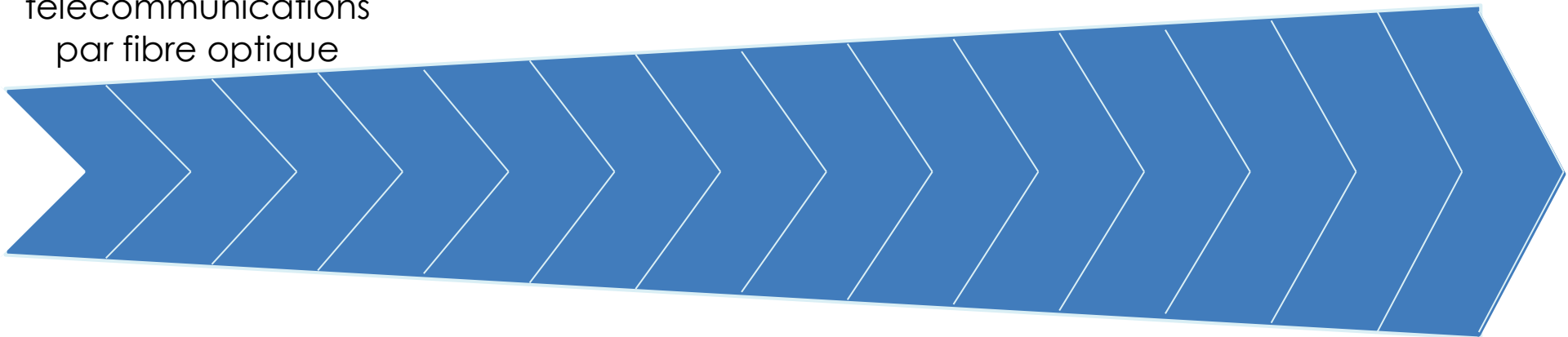
Parcours professionnel



Parcours professionnel



Impact de défauts
de composants sur
les performances
des systèmes de
télécommunications
par fibre optique



Simulations
Dispo. → Syst.

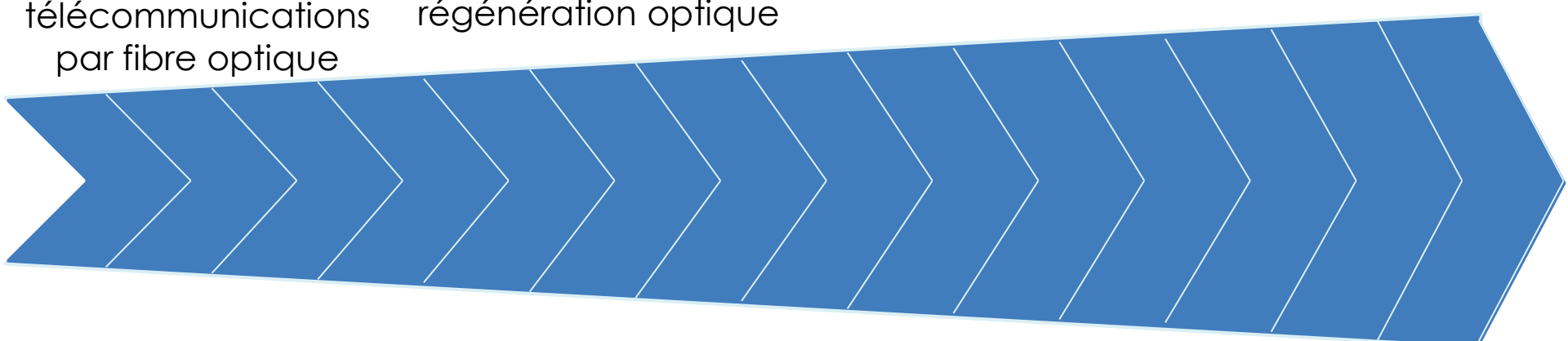
Parcours professionnel



Impact de défauts de composants sur les performances des systèmes de télécommunications par fibre optique



Modélisation physique de l'auto-échauffement de composants pour régénération optique



Simulations
Dispo. → Syst.

Simulations
Dispo.

Parcours professionnel

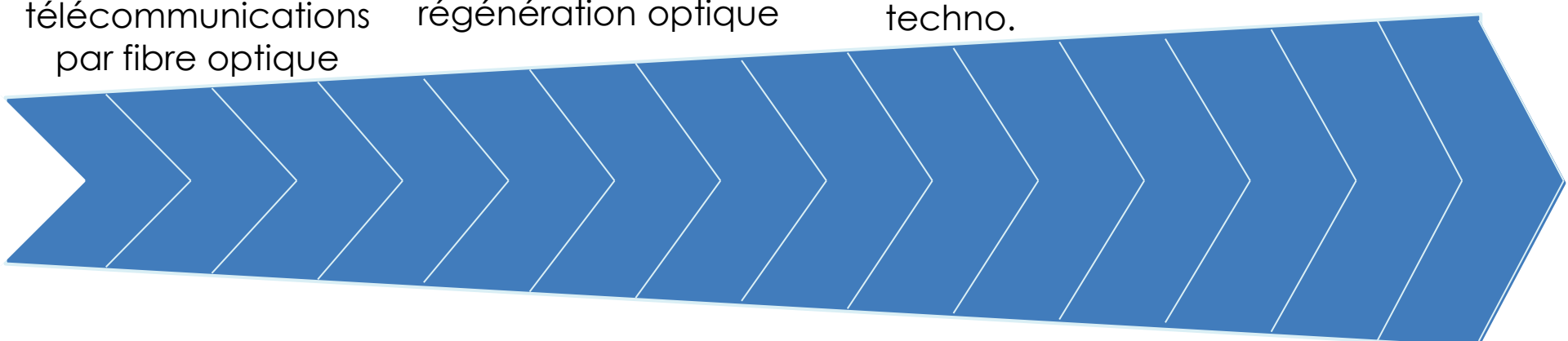


Impact de défauts de composants sur les performances des systèmes de télécommunications par fibre optique



Modélisation physique de l'auto-échauffement de composants pour régénération optique

Modélisations et caractérisations de cellules photovoltaïques de différentes techno.



Simulations
Dispo. → Syst.

Simulations
Dispo.

Simu. & Carac.
Dispo.

Parcours professionnel



Impact de défauts de composants sur les performances des systèmes de télécommunications par fibre optique

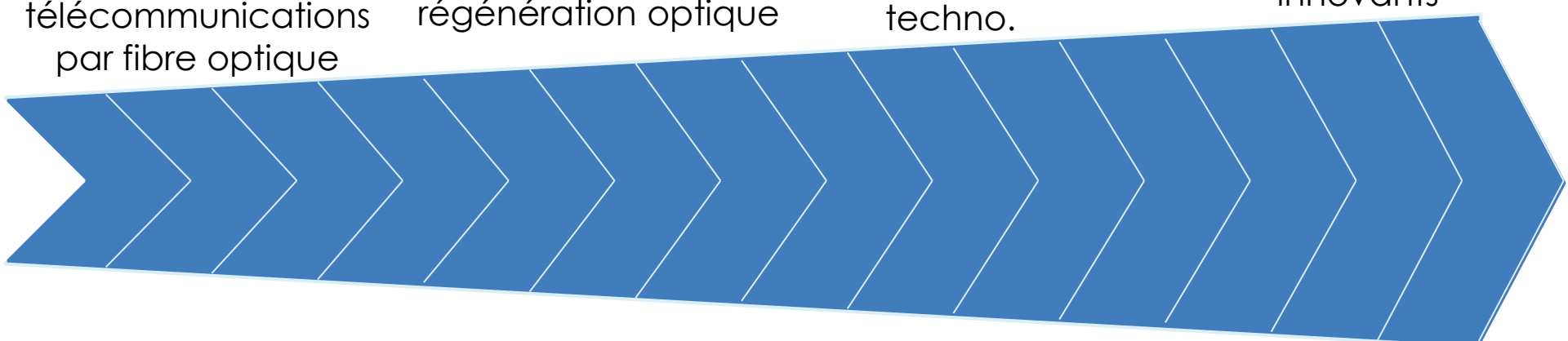


Modélisation physique de l'auto-échauffement de composants pour régénération optique



Modélisations et caractérisations de cellules photovoltaïques de différentes techno.

Modélisations et caractérisations de modules PV en conditions réelles et systèmes innovants



Simulations
Dispo. → Syst.

Simulations
Dispo.

Simu. & Carac.
Dispo.

Simu. & Carac. →
Dispo. + Syst.

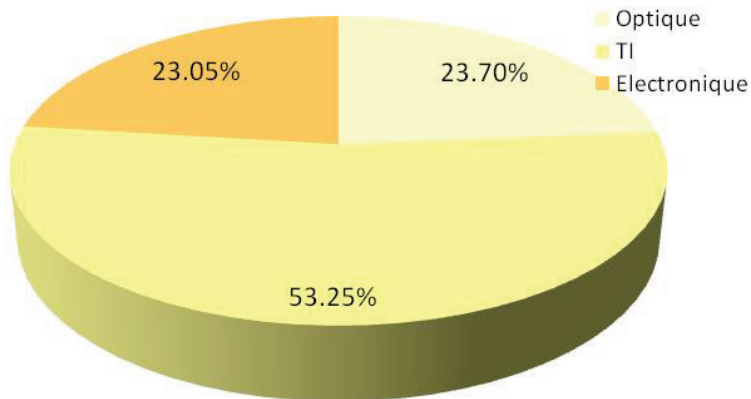


- ▶ Parcours professionnel
- ▶ Enseignement
- ▶ Passé + Présent + Futur
- ▶ Actimétrie
- ▶ Futur
- ▶ Conclusion

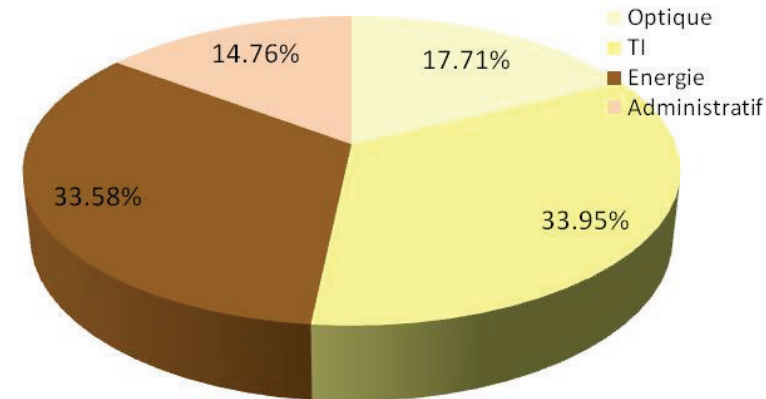
Depuis 1998 :

- ▶ 670 heures de cours magistraux (1000 HETD)
- ▶ 620 heures de travaux dirigés
- ▶ 1 640 heures de travaux pratiques

2002/2003



2015/2016

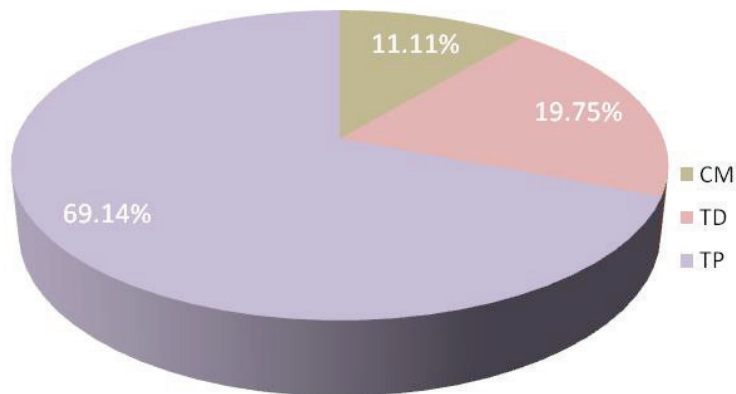


Répartition thématique

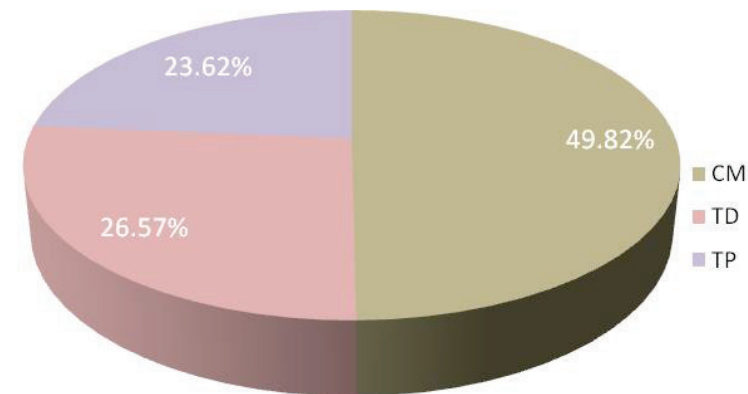
Depuis 1998 :

- ▶ 670 heures de cours magistraux (1000 HETD)
- ▶ 620 heures de travaux dirigés
- ▶ 1 640 heures de travaux pratiques

2002/2003



2015/2016

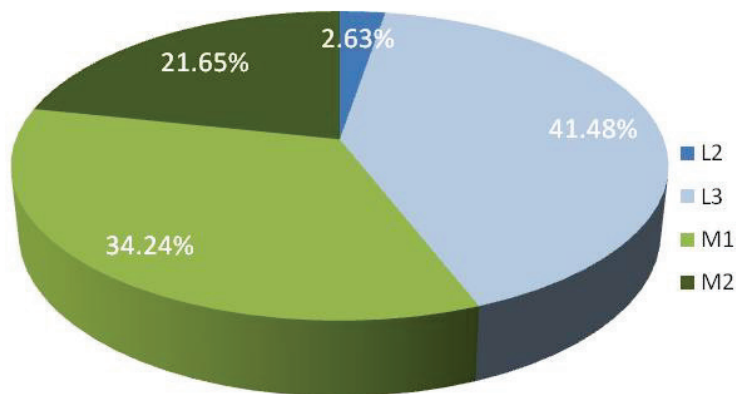


Répartition par type d'enseignements

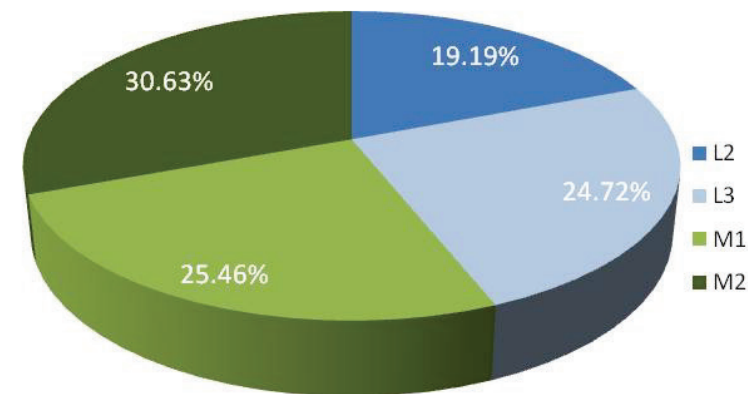
Depuis 1998 :

- ▶ 670 heures de cours magistraux (1000 HETD)
- ▶ 620 heures de travaux dirigés
- ▶ 1 640 heures de travaux pratiques

2002/2003



2015/2016



Répartition Licence - Master

Encadrements :

- ▶ 5 étudiants d'IUT
- ▶ 14 stagiaires de M2 recherche
- ▶ 3 Apprentis
- ▶ 5 doctorants



2013-2016



2013-2016



2012-2014



2007-2011



2008-2011

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

Les spécificités de mon travail de recherche :

- ▶ La modélisation de cellules PV innovantes
- ▶ La caractérisation de modules PV
- ▶ Le développement d'outils de caractérisation
- ▶ Les systèmes PV innovants



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

1. La modélisation de cellules PV innovantes

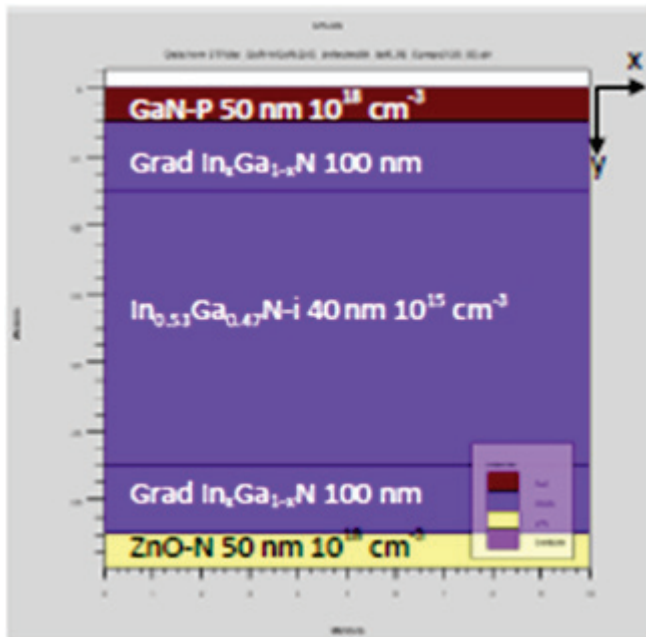
1. Optimisation de la configuration par modélisation :

- **Ingénierie de la bande interdite**

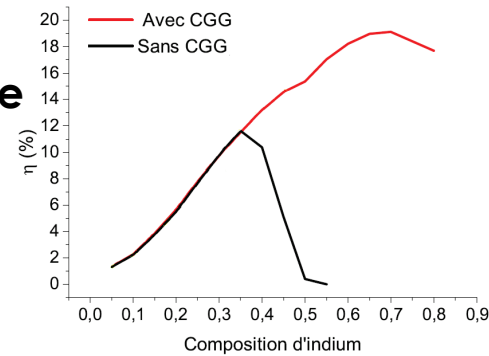
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

1. La modélisation de cellules PV innovantes

1. Optimisation de la configuration par modélisation : l'InGaN

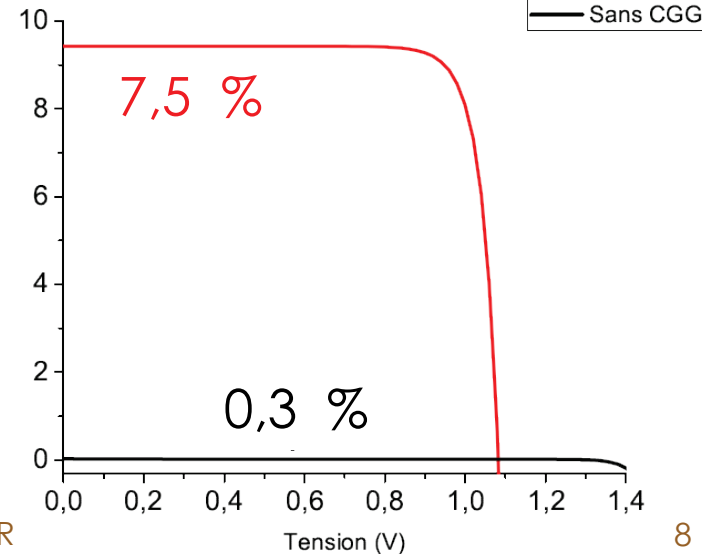
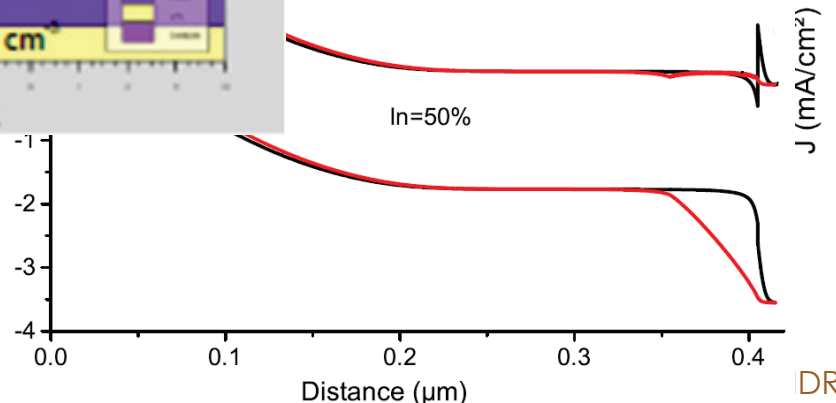


- Ingénierie de la bande interdite



Avec CGG
Sans CGG

In=50%

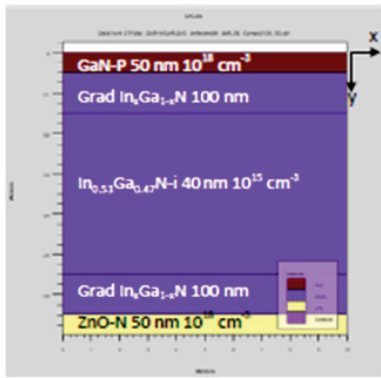


[RI-21] El Huni W. et al.

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

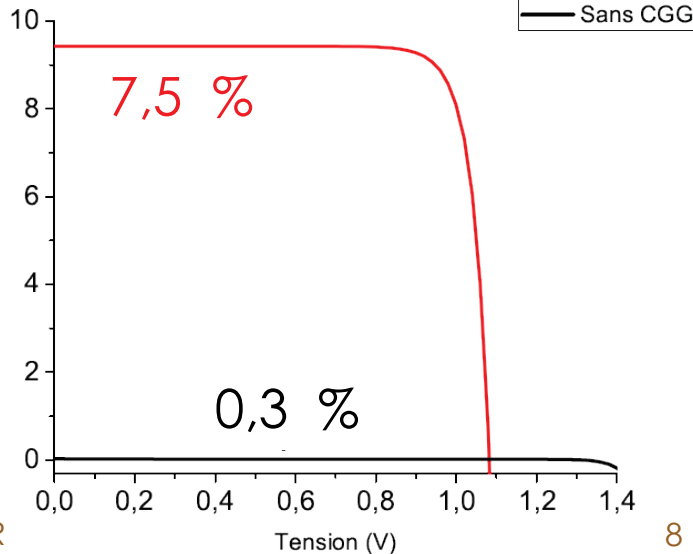
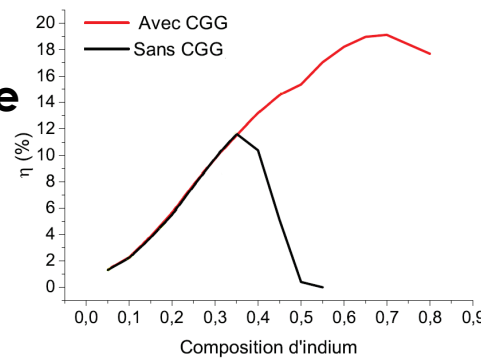
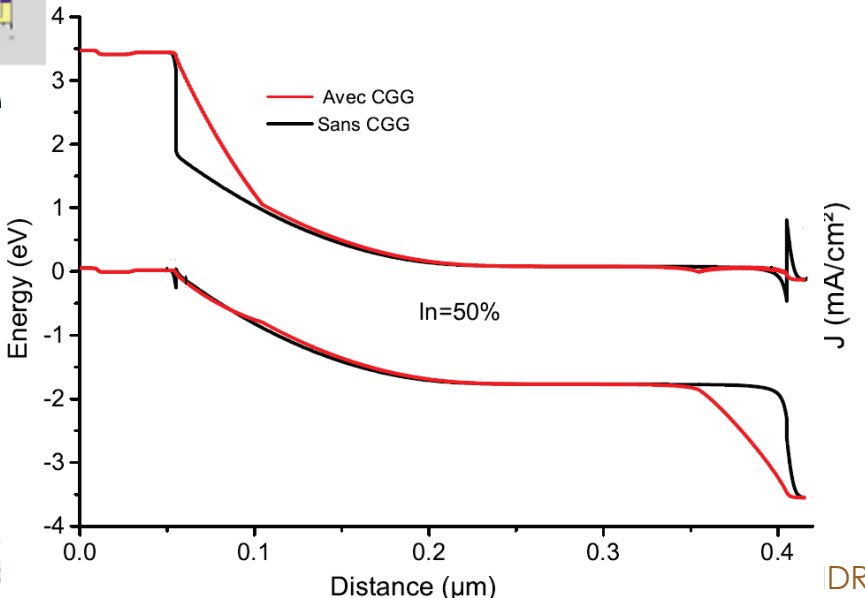
1. La modélisation de cellules PV innovantes

1. Optimisation de la configuration par modélisation : l'InGaN



[RI-21] El Huni W. et al.

- Ingénierie de la bande interdite

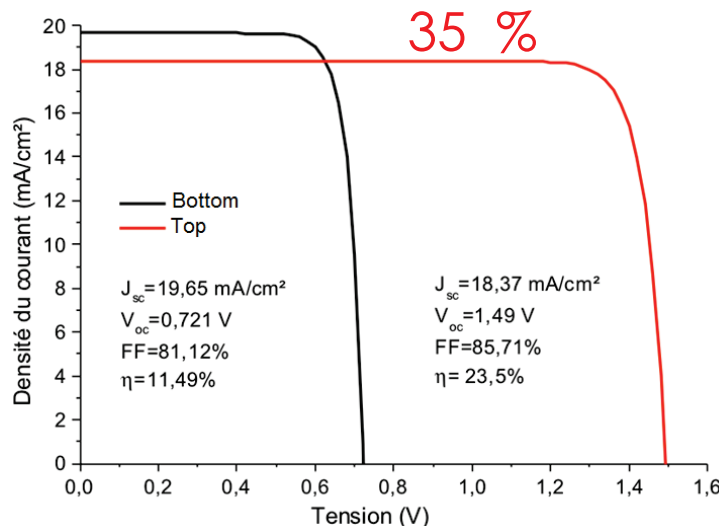


Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

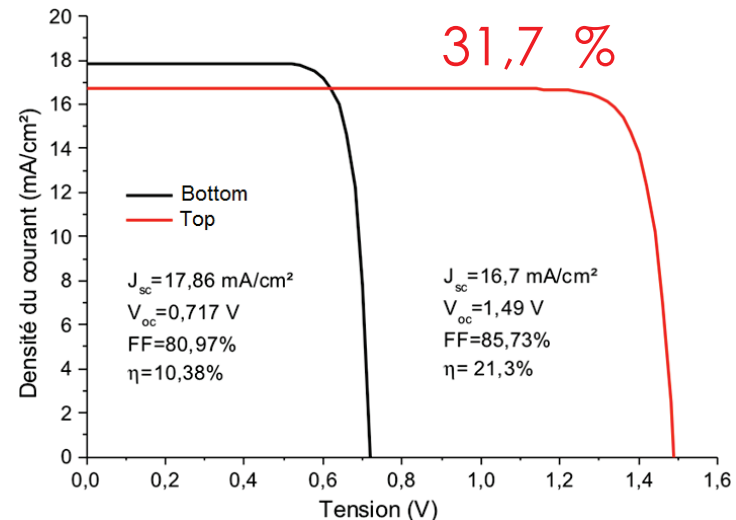
1. La modélisation de cellules PV innovantes

1. Optimisation de la configuration par modélisation : les multi-jonctions

- Ingénierie de la bande interdite



Configuration brevetée



Configuration classique

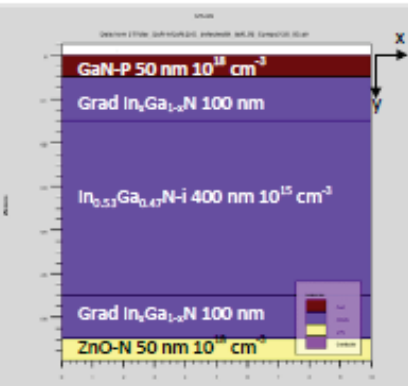
[BI-3] : DJEBBOUR Z. *et al.*

- Brevet
- Article à venir

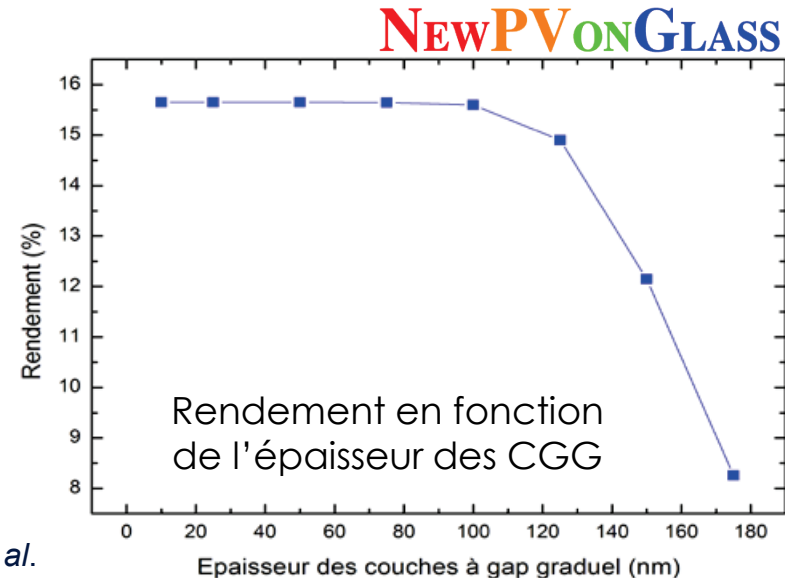
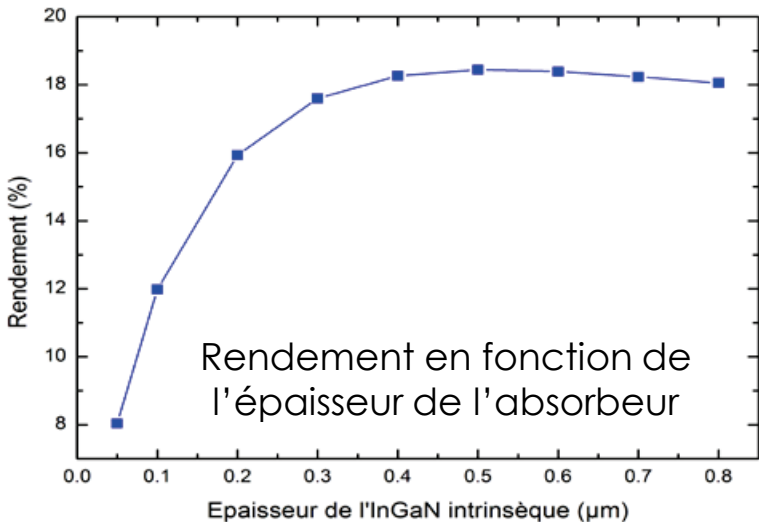
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

1. La modélisation de cellules PV innovantes

1. Optimisation de la configuration par modélisation : l'InGaN



- Ingénierie de la bande interdite
- **Optimisation de l'architecture**



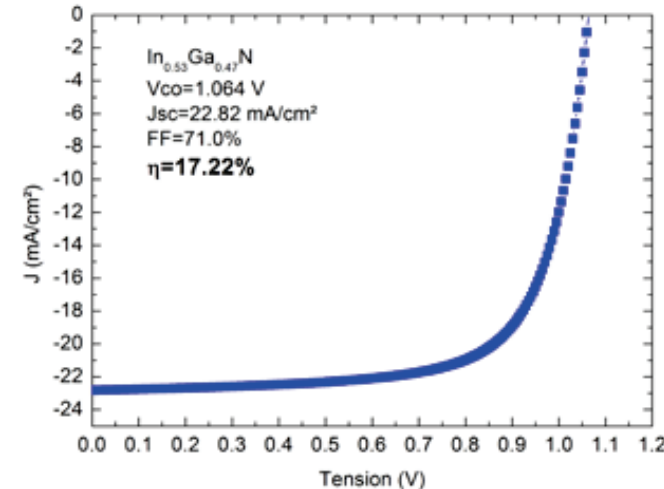
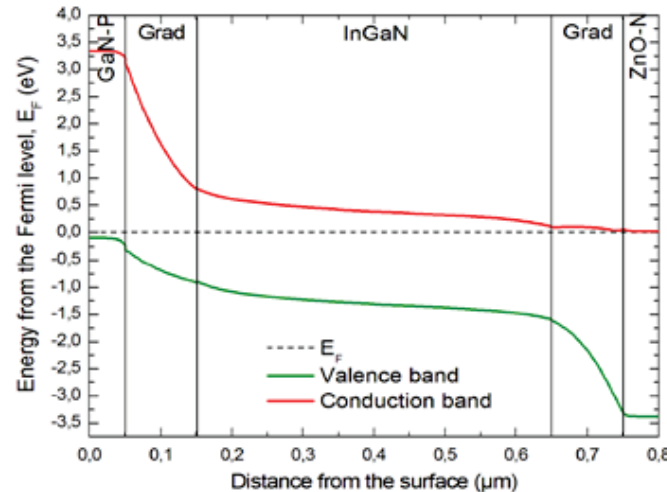
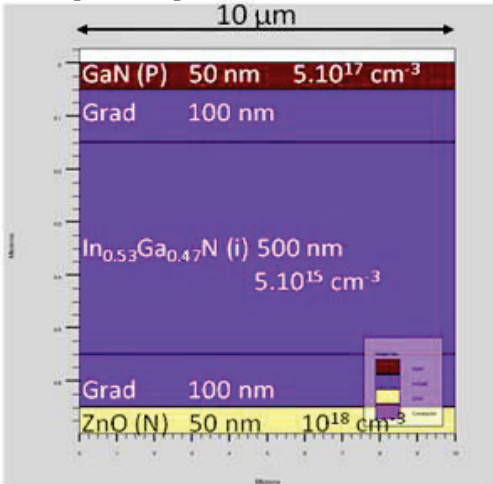
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

1. La modélisation de cellules PV innovantes

1. Optimisation de la configuration par modélisation : l'InGaN

- Ingénierie de la bande interdite
- **Optimisation de l'architecture**

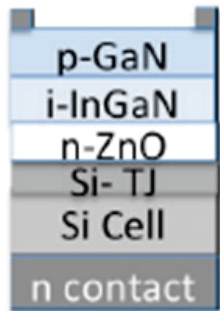
[CN-18] : MIGAN A. *et al.*



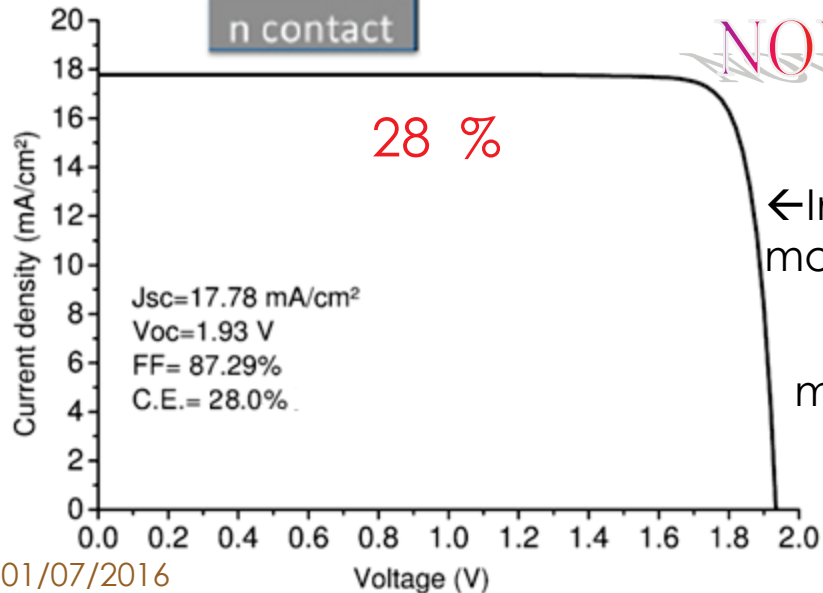
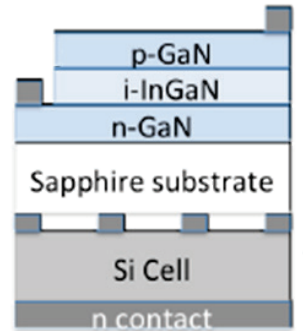
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

1. La modélisation de cellules PV innovantes

1. Optimisation de la configuration par modélisation : les multi-jonctions



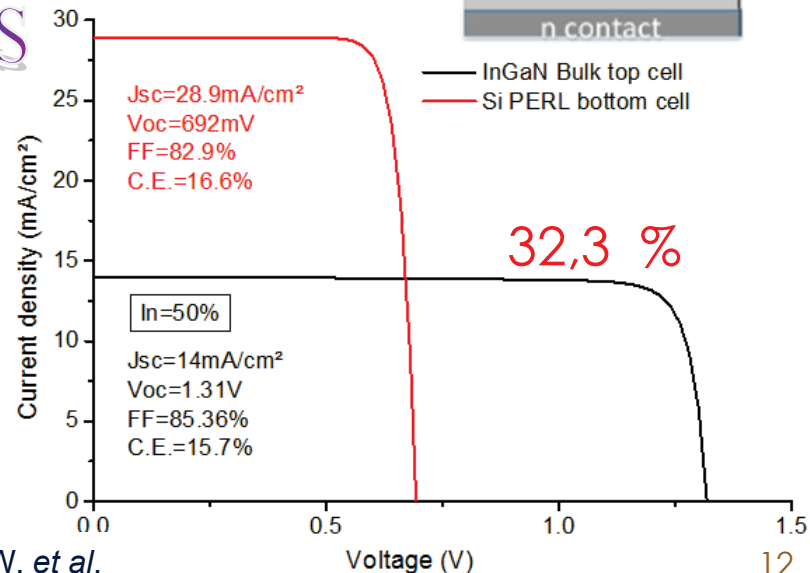
- Ingénierie de la bande interdite
- **Optimisation de l'architecture**



NOVAGAINS

← Intégration monolithique

Empilement mécanique →

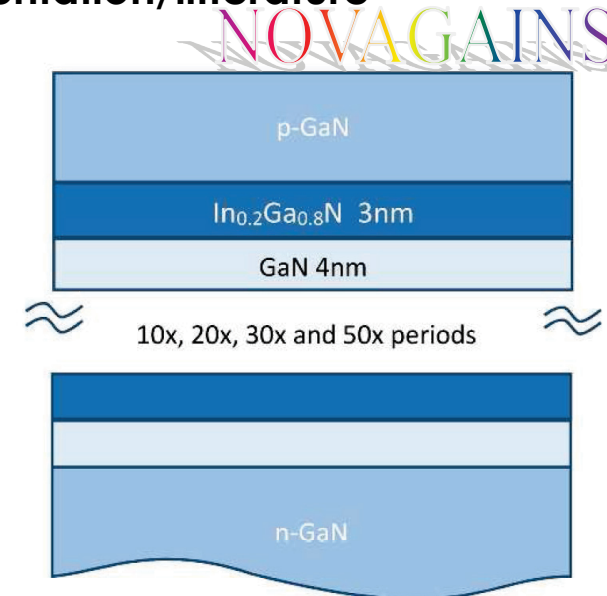
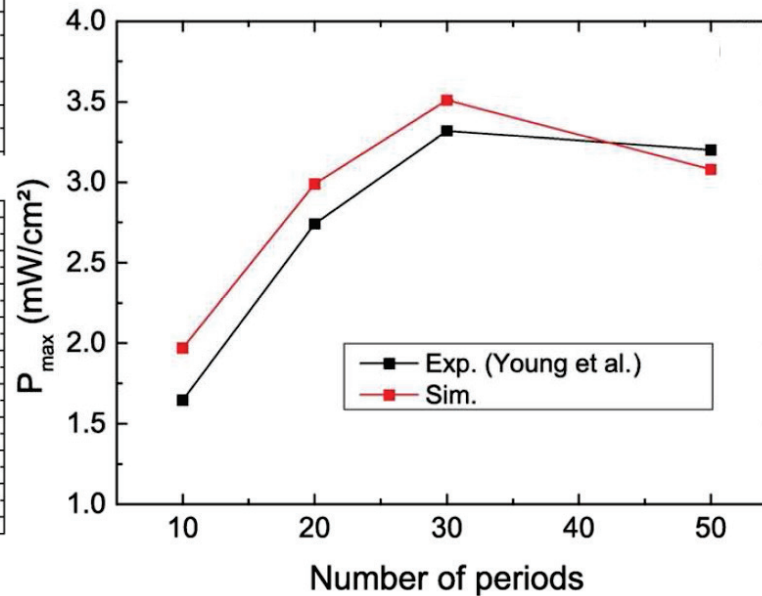
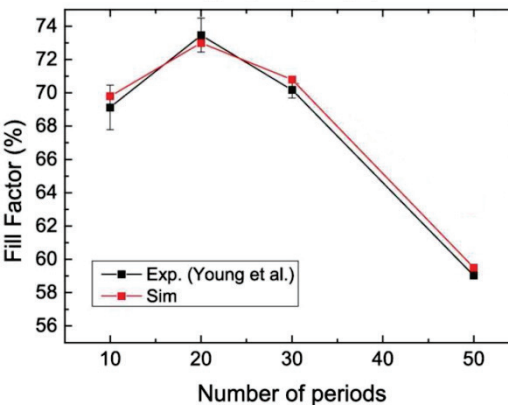
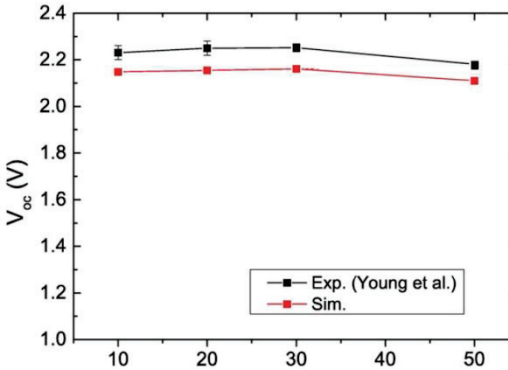
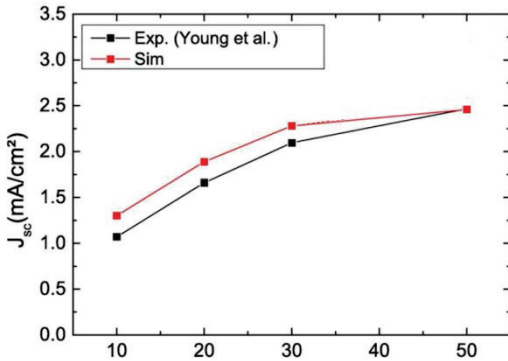


Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

modélisation de cellules PV innovantes

à la configuration par modélisation : l'InGaN

- Ingénierie de la bande interdite
- Optimisation de l'architecture
- **Validation par l'expérimentation/littérature**

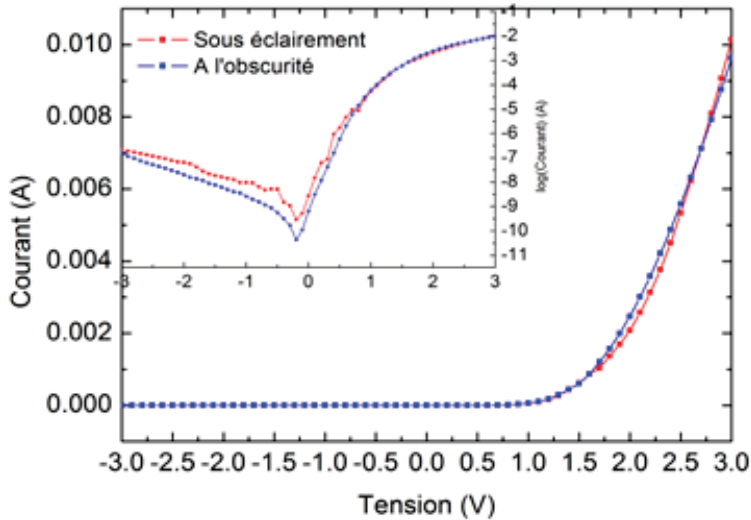


Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

1. La modélisation de cellules PV innovantes

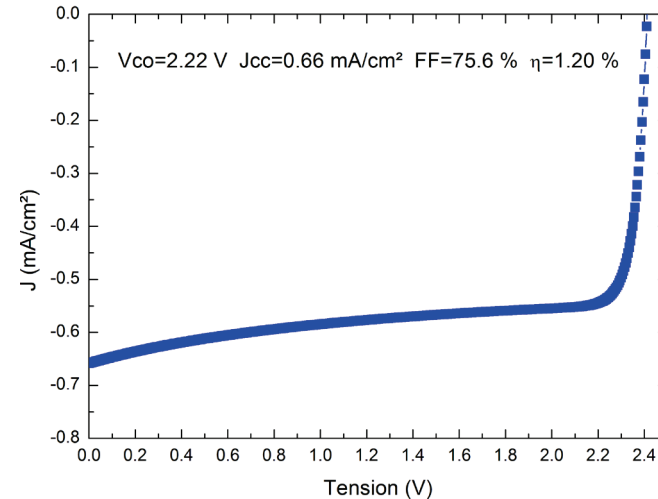
2. Comprendre le process : l'InGaN

NEWPVONGLASS



Caractéristiques J(V) mesurées

150nm p-GaN	p-GaN, $1e17cm^{-3}$
50nm GaN:NiD	barrière de diffusion
InGaN	25nm, 8% Indium
50nm GaN:NiD	barrière de diffusion
750nm n-GaN	reprise d'épitaxie, n-GaN, dopé $3e18cm^{-3}$
GaN STN	$3.5\mu m$, dopé n, $3e18cm^{-3}$



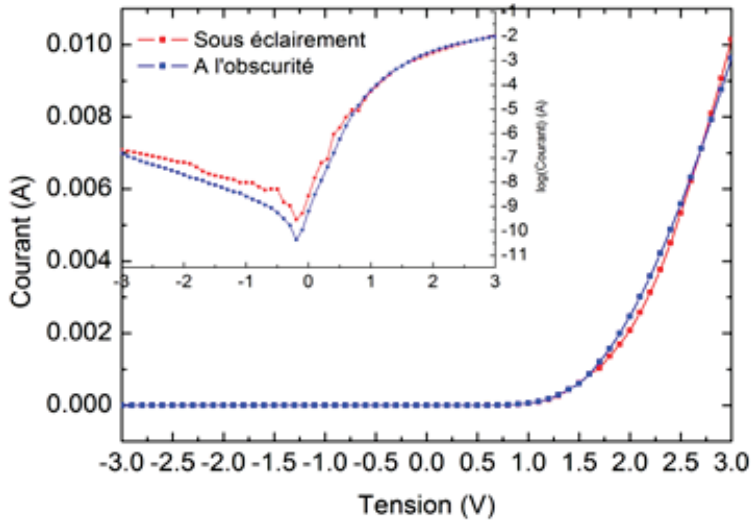
J(V) modélisé

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

1. La modélisation de cellules PV innovantes

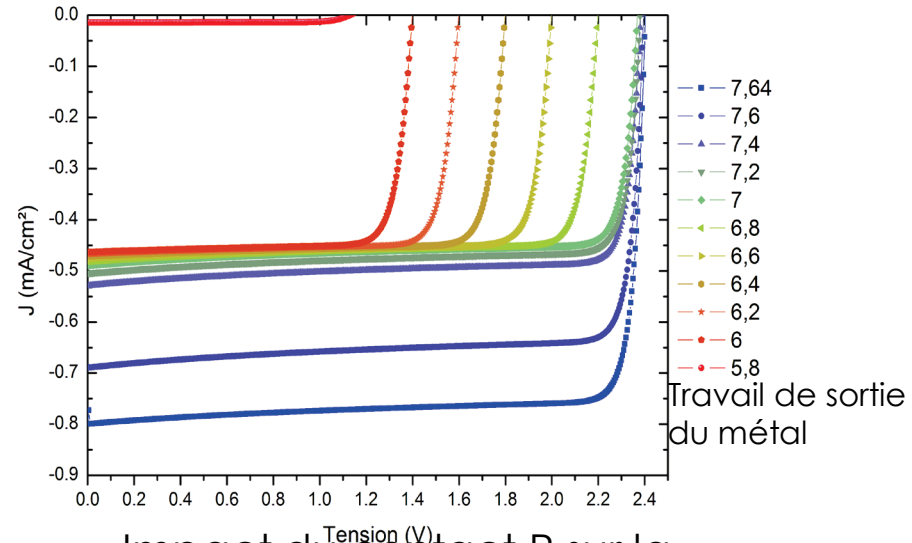
2. Comprendre le process : l'InGaN

NEWPV ON GLASS



Caractéristiques J(V) mesurées

150nm p-GaN	p-GaN, $1e17cm^{-3}$
50nm GaN:NiD	barrière de diffusion
InGaN	25nm, 8% Indium
50nm GaN:NiD	barrière de diffusion
750nm n-GaN	reprise d'épitaxie, n-GaN, dopé $3e18cm^{-3}$
GaN STN	$3.5\mu m$, dopé n, $3e18cm^{-3}$

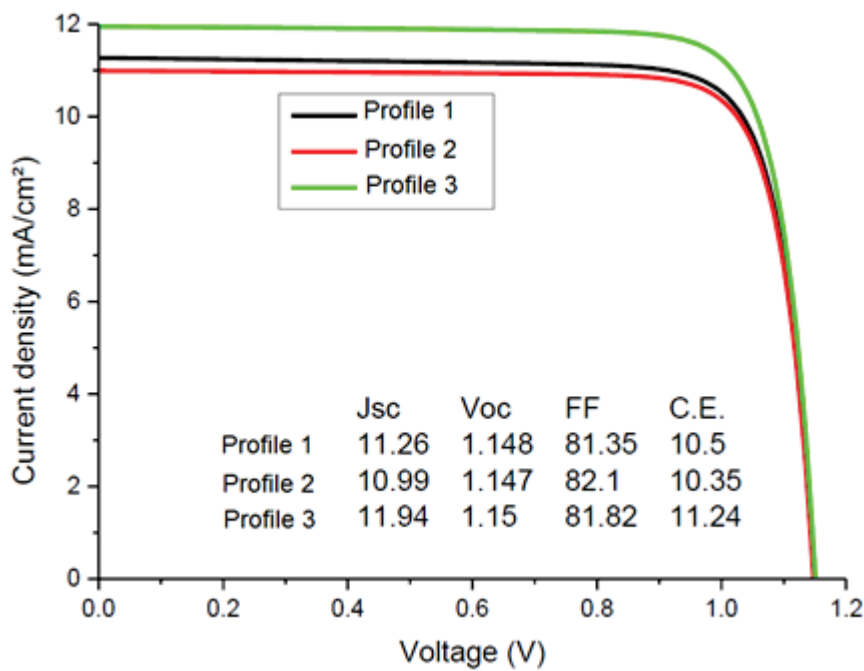


Impact du contact P sur la caractéristique J(V)

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

1. La modélisation de cellules PV innovantes

2. Comprendre le process : les multi-jonctions



○ Brevet en cours



INSTITUT
PHOTOVOLTAÏQUE
D'ÎLE-DE-FRANCE



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

1. La modélisation de cellules PV innovantes

3. Perspectives

- Renforcer la thématique multi-jonction
- Se rapprocher des laboratoires qui font de la croissance
- Le projet ANR Novagains qui a été prolongé de 9 mois avec les premières cellules tandem à venir
- Recherche de partenaires industriels pour exploiter les brevets

↪ **Interactions fortes pour affiner les paramètres des modèles**

↪ **Faire des propositions originales et les valider par des dispositifs (croissance, matériaux, process...)**

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au GeePs



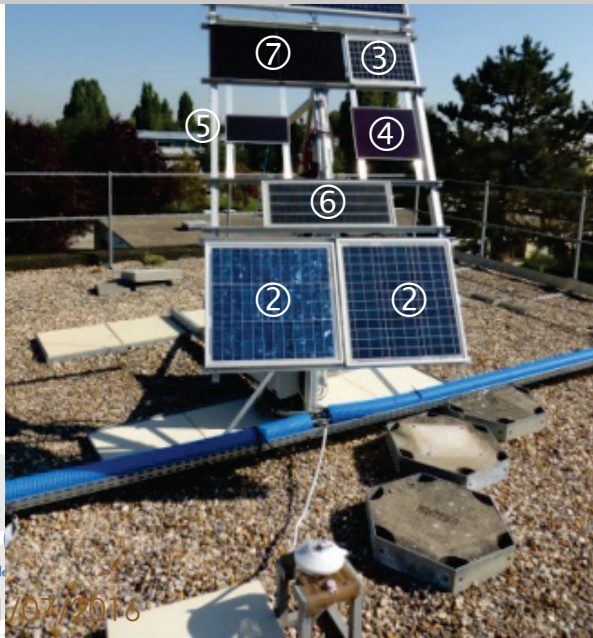
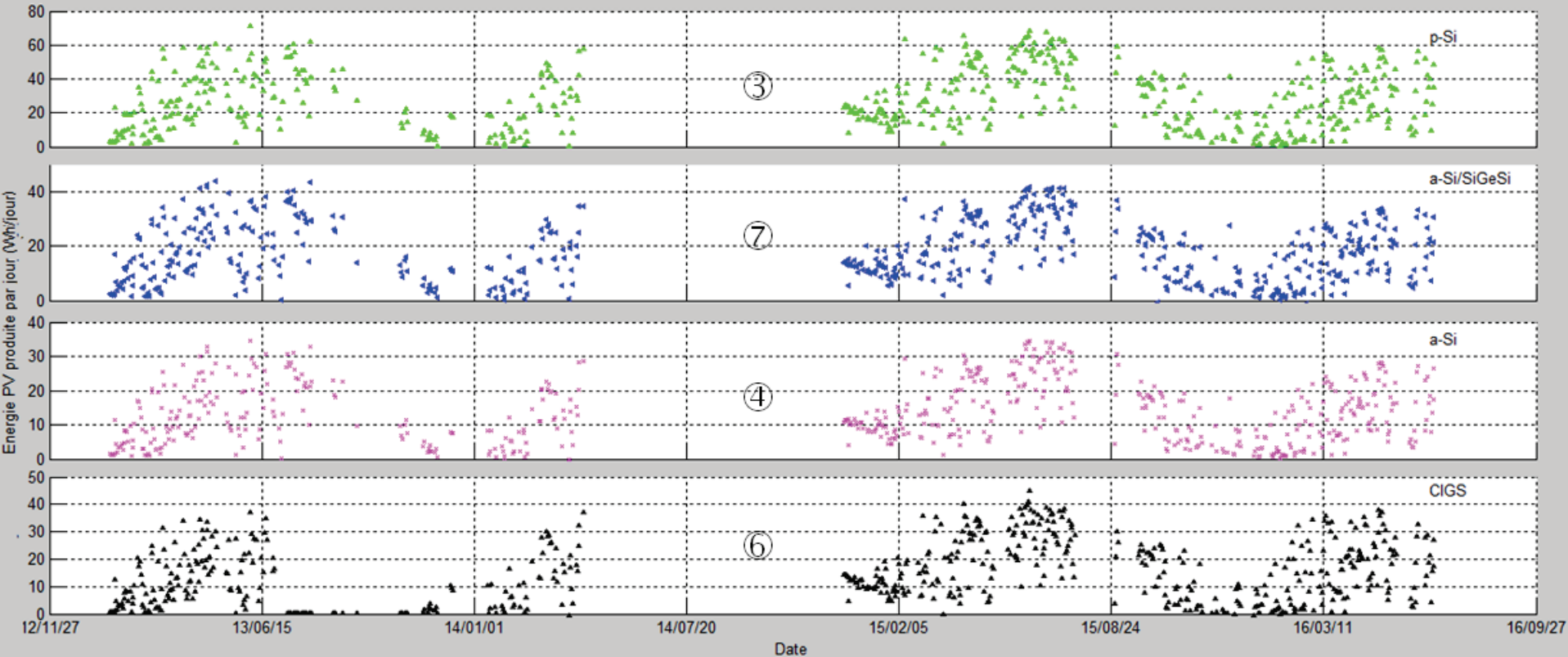
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au GeePs

1. La plateforme « Tracker »



	Technologie	Surface (cm ²)	P _{MPP} (W _c)
①	c-Si	1884	30
②	p-Si	2303	30
③	p-Si	776	10
④	a-Si	867	4.8
⑤	a-Si	413	1.5
⑥	CIGS	1884	9
⑦	a-Si/a-SiGe	1904	10



	Technologie	Surface (cm ²)	P _{MPP} (W _c)
①	c-Si	1884	30
②	p-Si	2303	30
③	p-Si	776	10
④	a-Si	867	4.8
⑤	a-Si	413	1.5
⑥	CIGS	1884	9
⑦	a-Si/a-SiGe	1904	10

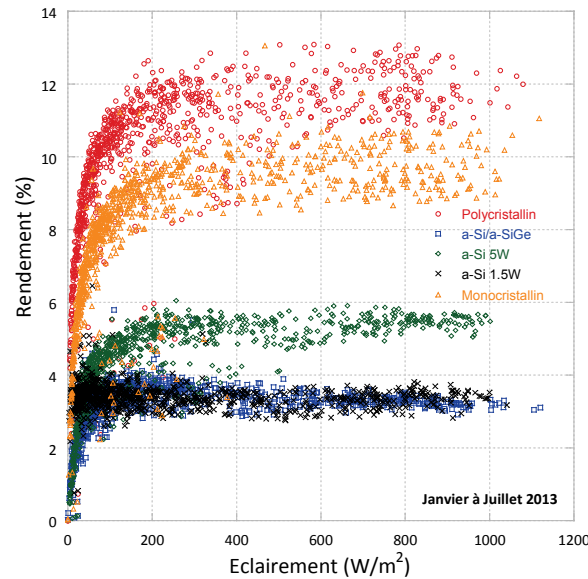
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au GeePs

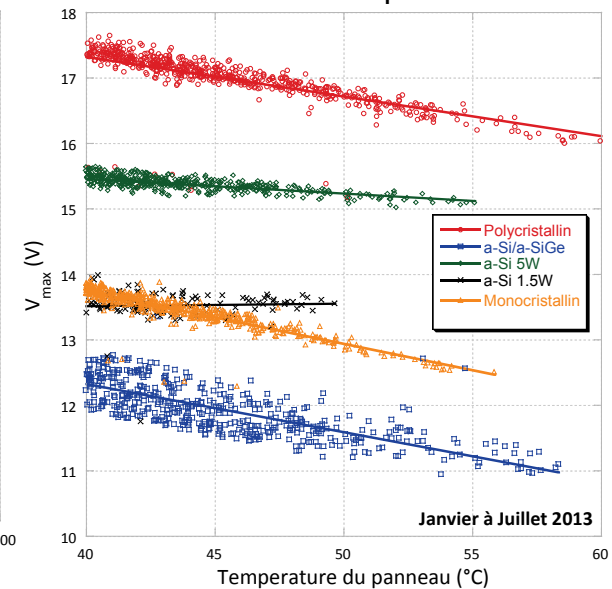
1. La plateforme « Tracker »



Effet du faible éclairement



Effet de la température



[CI-33] : MAMBRINI T. *et al.*

[CI-32] : MAMBRINI T. *et al.*

[CN-20] : MAMBRINI T. *et al.*

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au GeePs

1. La plateforme « Tracker »



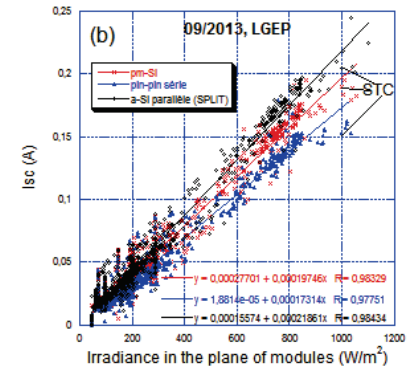
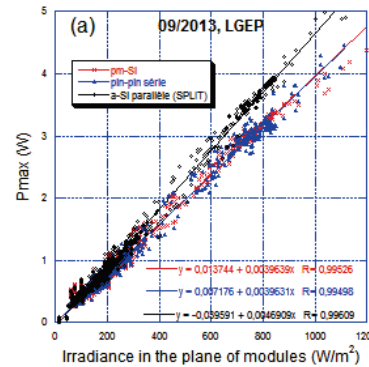
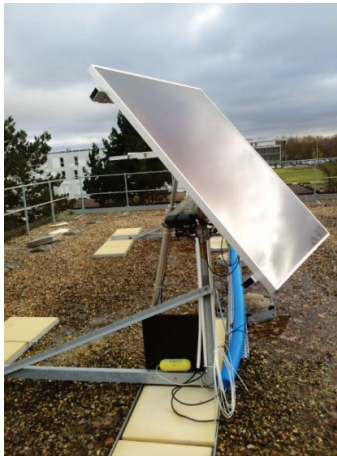
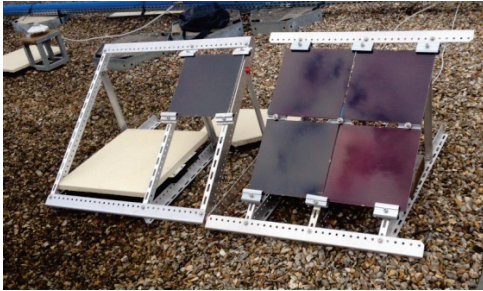
PERSPECTIVES :

- Contrôle qualité
- Outils mathématiques
- Interprétation des mesures

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au GeePs

2. La plateforme « Accueil »



[RI-18] : MAMBRINI T. *et al.*

[CI-34] : MAMBRINI T. *et al.*



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au GeePs

2. La plateforme « Accueil »



PERSPECTIVES :

- Vieillissement en conditions réelles
- Vieillissement accéléré
- Caractéristiques I(V)
- Réponses spectrales



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

Limsi

LMD

LIPICM

GeePS
Electrical Engineering - Paris

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au SIRTA



SIRTA

SITE INSTRUMENTAL DE RECHERCHE
PAR TELEDETECTION ATMOSPHERIQUE

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs



2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au SIRTA

1. Pourquoi le SIRTA ? Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique



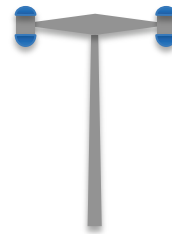
Global,
Diffus



UVI, UVA,
UVB



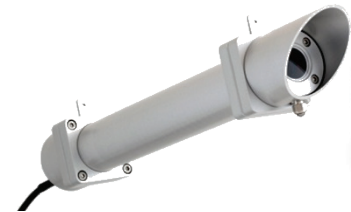
Global,
Diffus



Global
up and down



PAR



Synergies entre mesures issues de plus de 20 instruments liés au rayonnement



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au SIRTÀ

2. La plateforme PV1



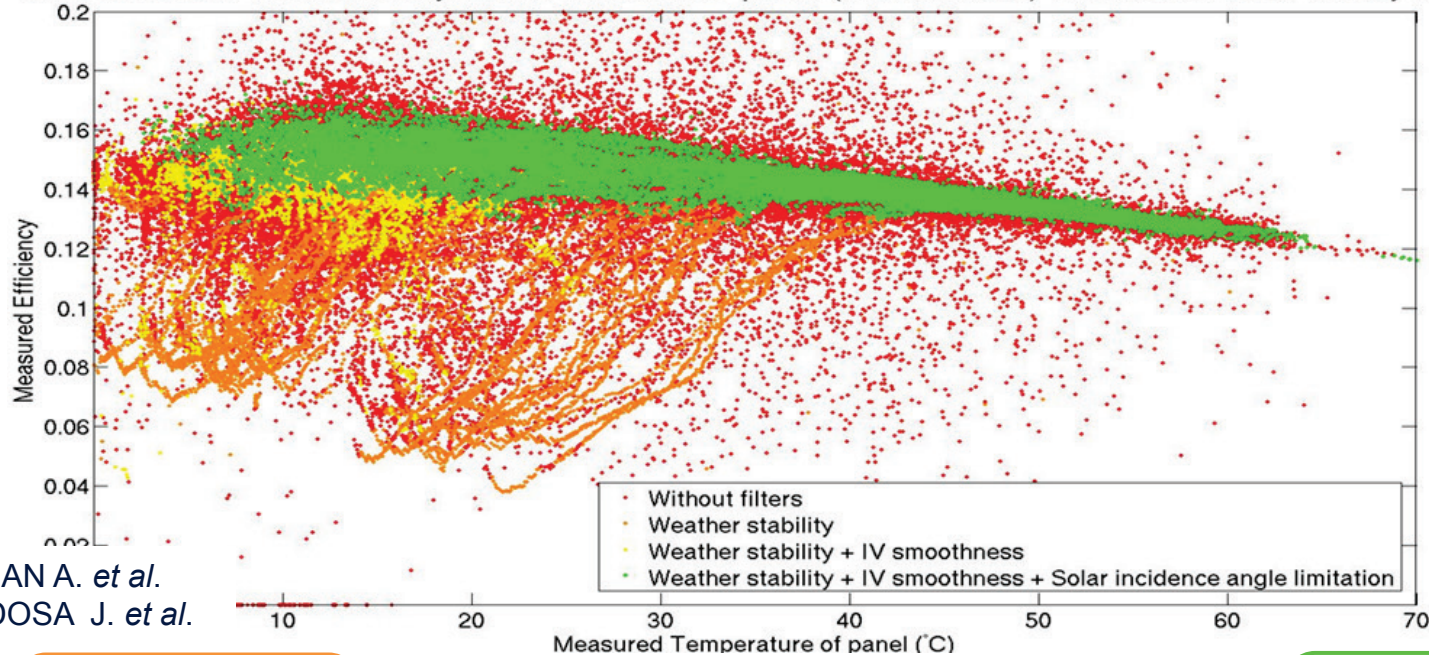
	Technologie	Surface (m ²)	P _{MPP} (W _c)
SHARP	a-Si/μc-Si	1.42	128
FranceWatts	c-Si	1.64	250
SolarFrontier	CIS	1.23	150
Panasonic	HIT	1.26	240
FirstSolar	CdTe	0.72	82.5
Uni-Solar	a-Si souple	2.16	144

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au SIRT

2. La plateforme PV1 : Développement d'outils de traitement

Data extraction from monocrystalline silicon solar panel (FranceWatts) from March 2015 to May 2015



[CI-42] : MIGAN A. *et al.*

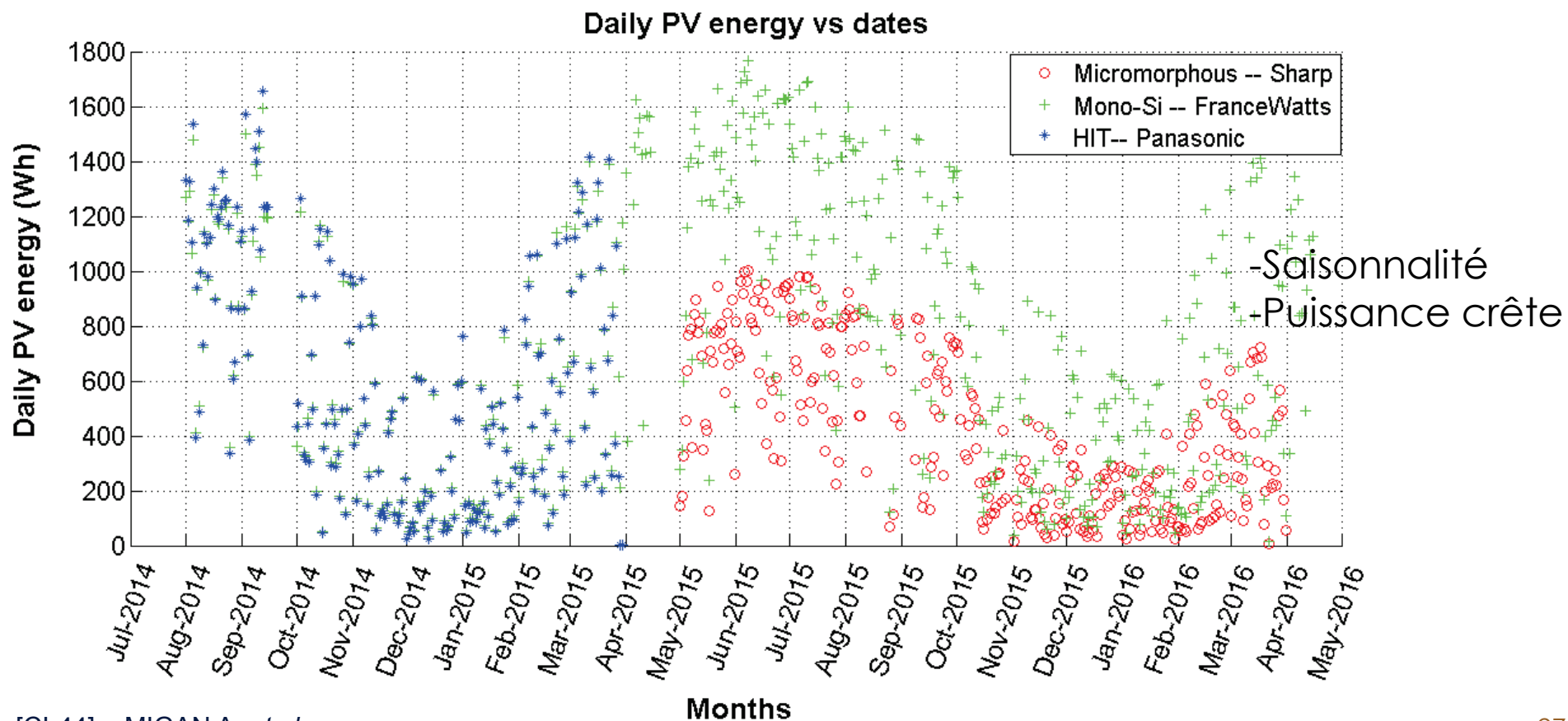
[CI-39] : BADOSA J. *et al.*



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au SIRT

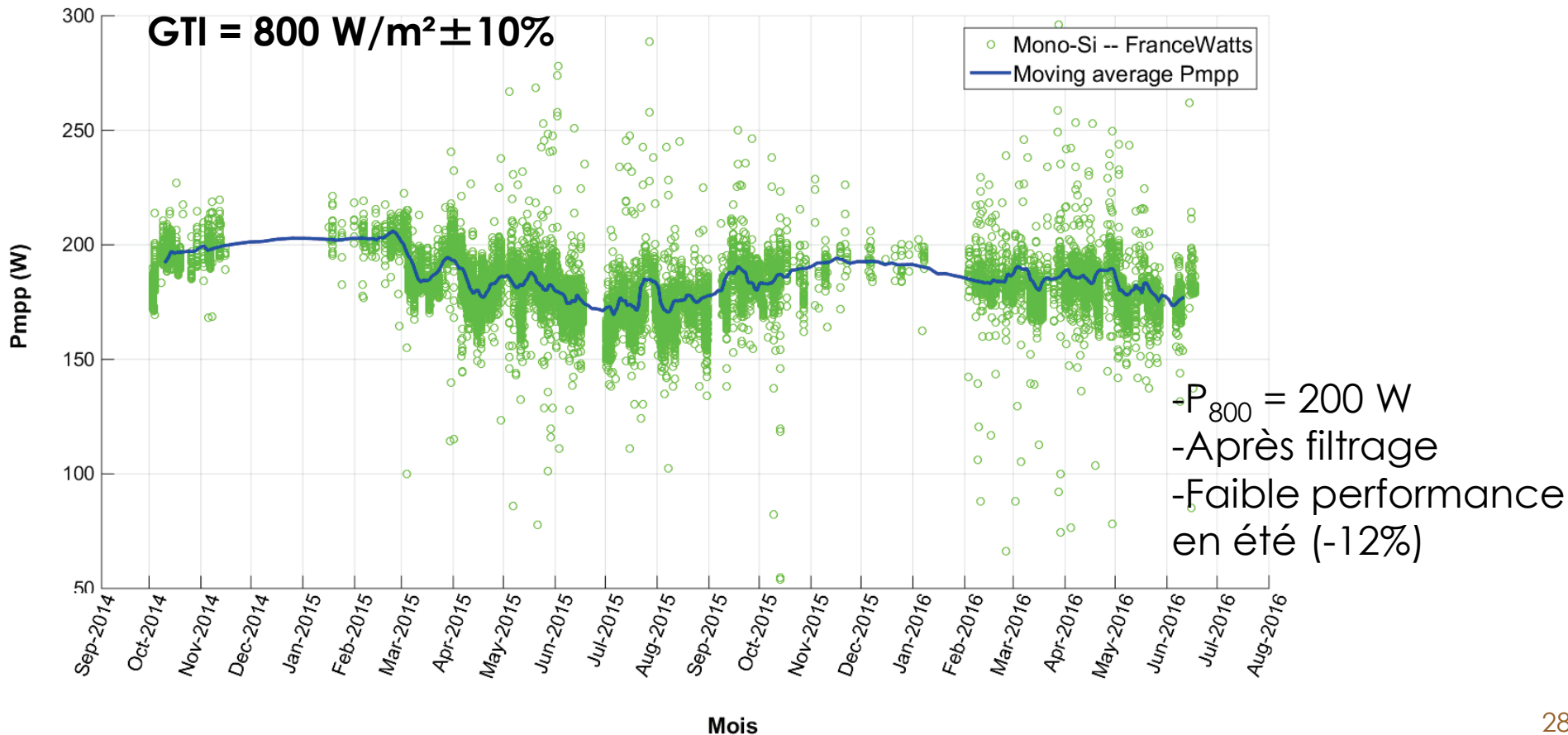
2. La plateforme PV1 : Résultats



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au SIRTÀ

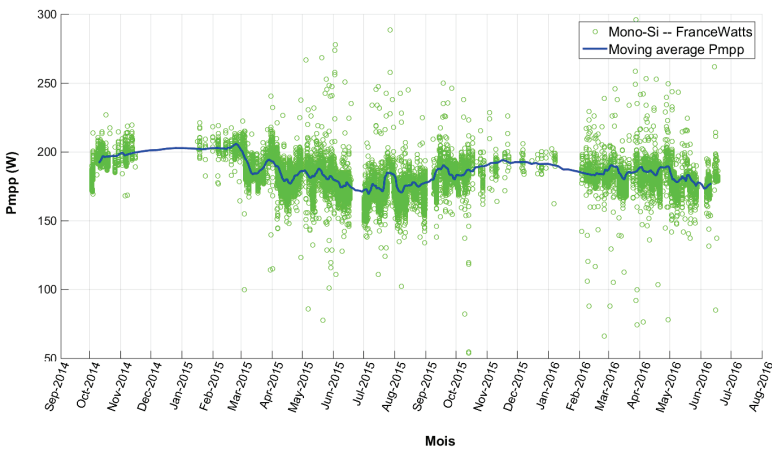
2. La plateforme PV1 : Résultats



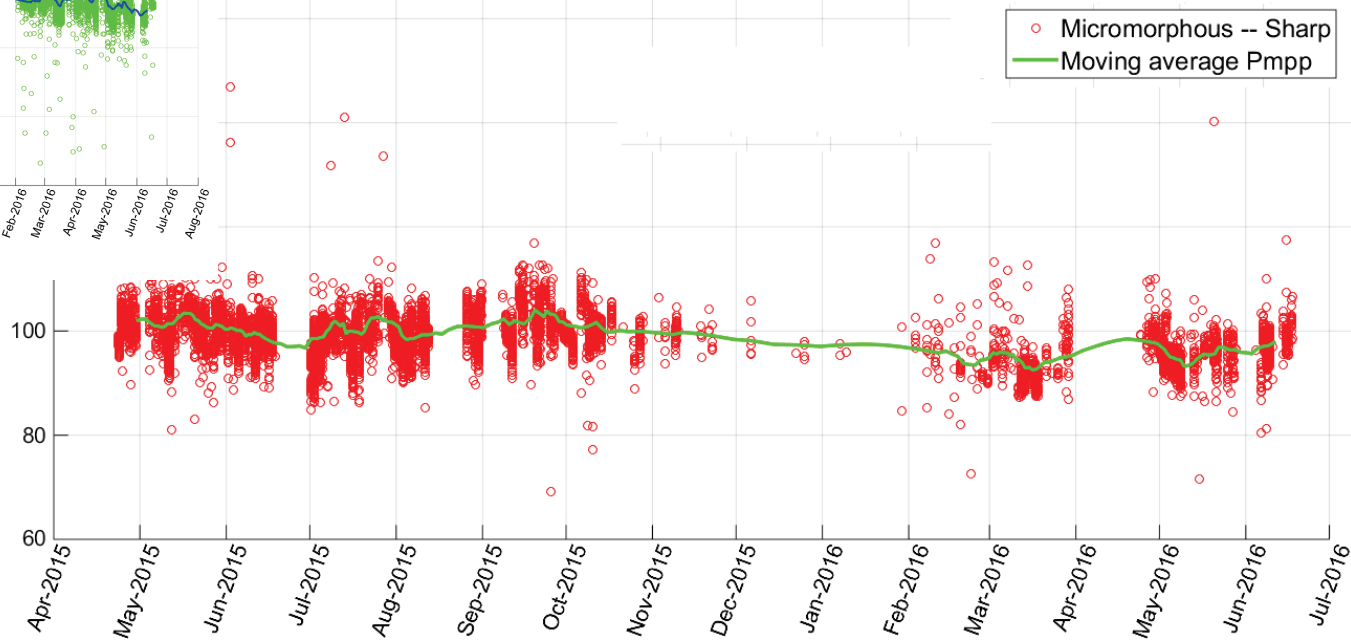
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au Sirta

2. La plateforme PV1 : Résultats



GTI = 800 W/m² ± 10%



-P₈₀₀ = 102 W
-Après filtrage
-Performance plate
(-6%)

Mois

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au SIRT

2. La plateforme PV1 :

PERSPECTIVES :

- **Validation des mesures :**

- Actuellement, nous travaillons sur la validation des mesures de température
- Quelles représentations pour quel effet ?
- Traitement des mesures du spectre solaire et corrélations avec les performances PV
- Nouveaux systèmes commerciaux d'instrumentation

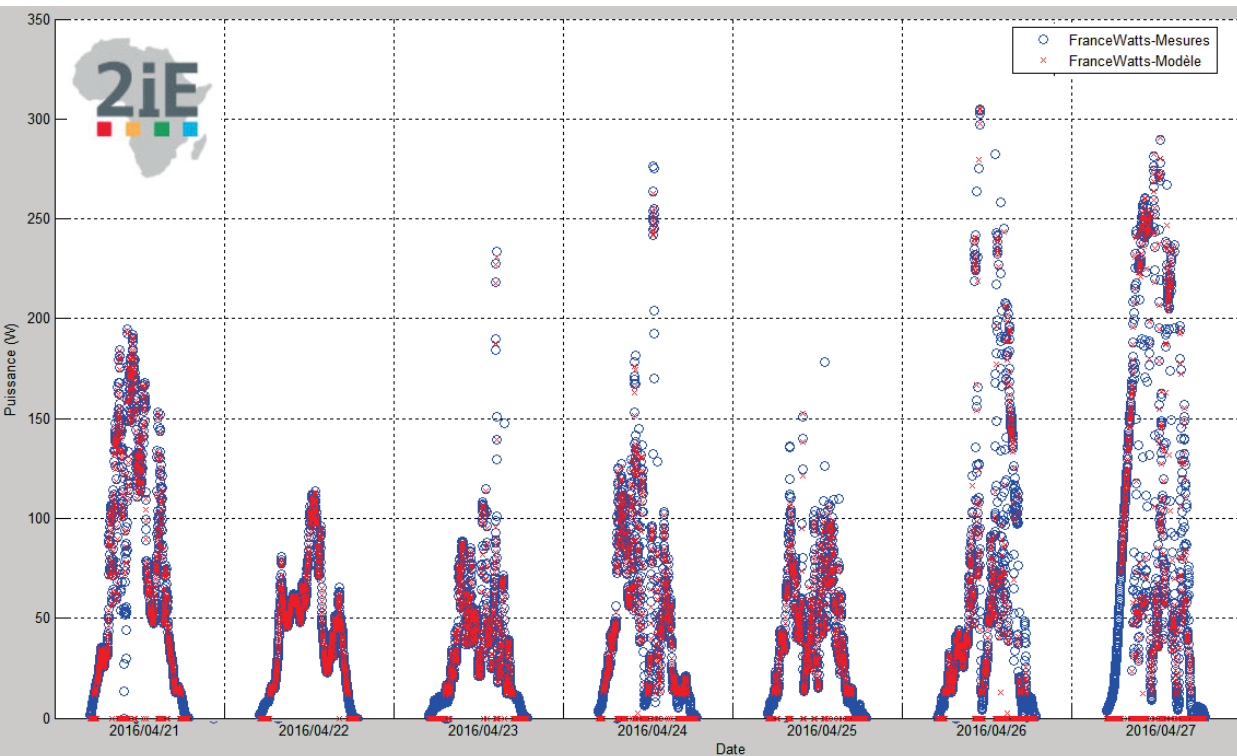
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au SIRTÀ

2. La plateforme PV1 :

PERSPECTIVES :

- **Modélisation électrique :**



- Extraction des paramètres électriques d'un modèle à une diode
- Apprentissage du modèle
- Évolution des paramètres avec les conditions atmosphériques
- Évolution des paramètres dans le temps
- Évaluation de l'incertitude de la modélisation

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

2. La caractérisation en extérieur : Les plateformes au SIRTÀ

2. La plateforme PV1 :

PERSPECTIVES :

- **Vieillessement :**



- Vieillessement en conditions réelles
- Vieillessement accéléré

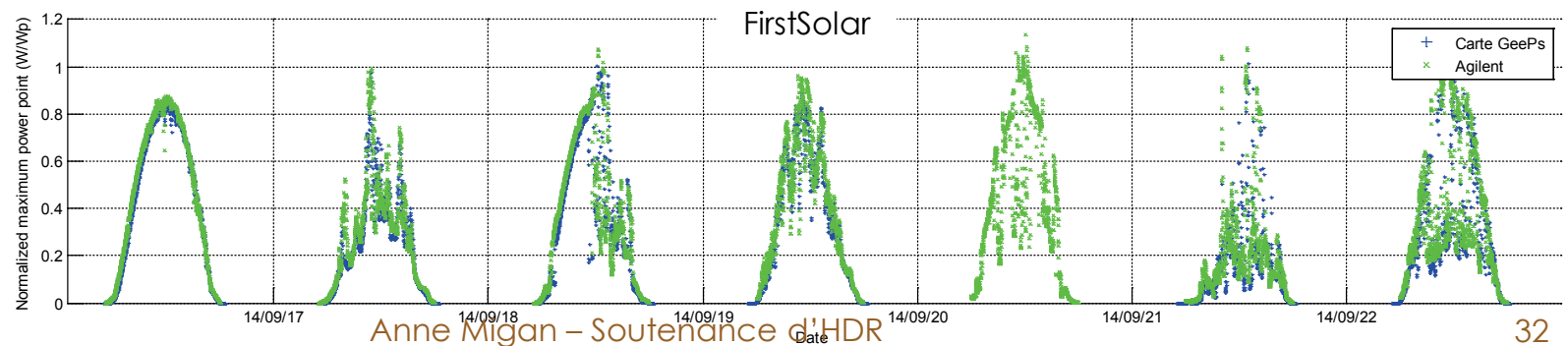
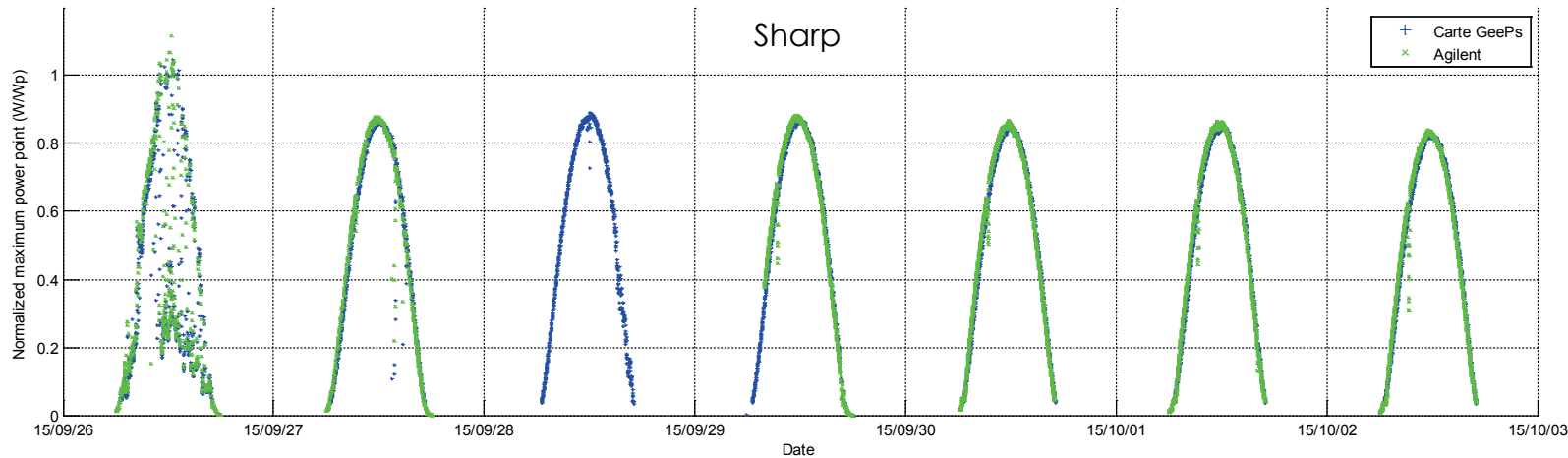
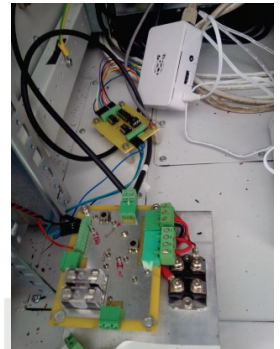
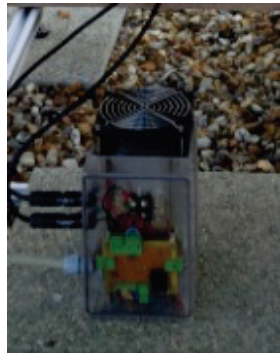
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

3. Le développement d'outils de caractérisation



1. L'analyseur de modules :

Erreur moyenne de 4%



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

3. Le développement d'outils de caractérisation

1. L'analyseur de modules :

PERSPECTIVES :

- **Nouvelles techniques de caractérisation :**



- Thermographie IR
- Electroluminescence



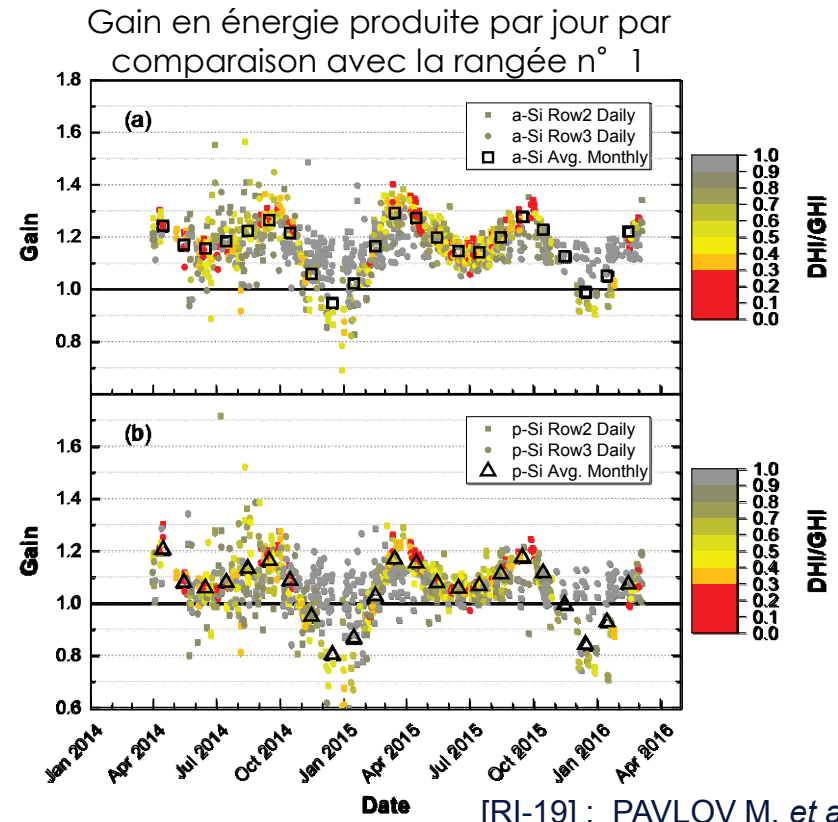
Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

4. Systèmes innovants :

1. ALEPH : Amélioration de L'Efficacité Photovoltaïque par l'emploi de miroirs plan fixes



- Gain annuel moyen : +19.2% (a-Si)
+8.6% (p-Si)



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

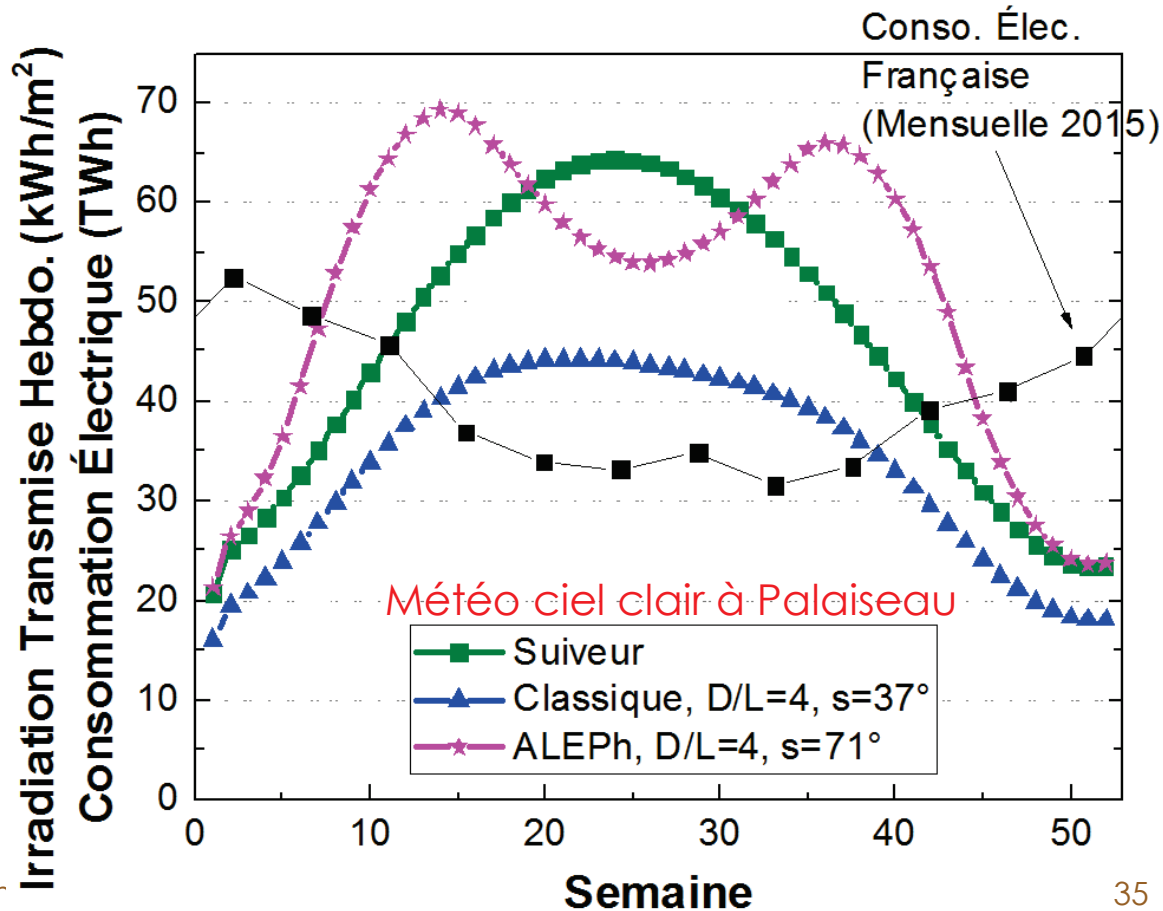
4. Systèmes innovants :

1. ALEPH: Amélioration de L'Efficacité Photovoltaïque par l'emploi de miroirs plan fixes

- Gain annuel moyen :

Ciel clair : 52%
SIRTA 2015 : 41%

[CI-40] : PAVLOV M. *et al.*
[CI-37] : PAVLOV M. *et al.*



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

4. Systèmes innovants :

1. ALEPH : Amélioration de L'Efficacité Photovoltaïque par l'emploi de miroirs plan fixes

PERSPECTIVES :

- Modèle optique de firs de rayon associé à un modèle électrique avancé en cours de validation
- Démonstrateur de taille réelle sur le nouveau bâtiment du SIRTÀ



MISTIGrid

Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

4. Systèmes innovants :

2. PERSPECTIVES : Route solaire



sense CITY IFSTAR



Caractérisations avancées, modélisations multi-physique et multi-échelle de dispositifs

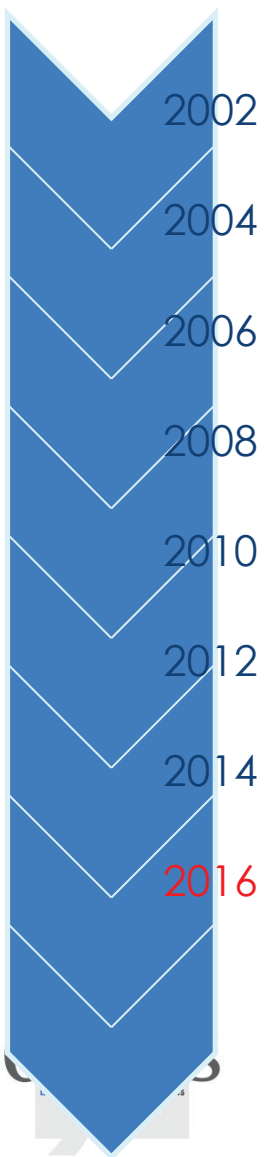
4. Systèmes innovants :

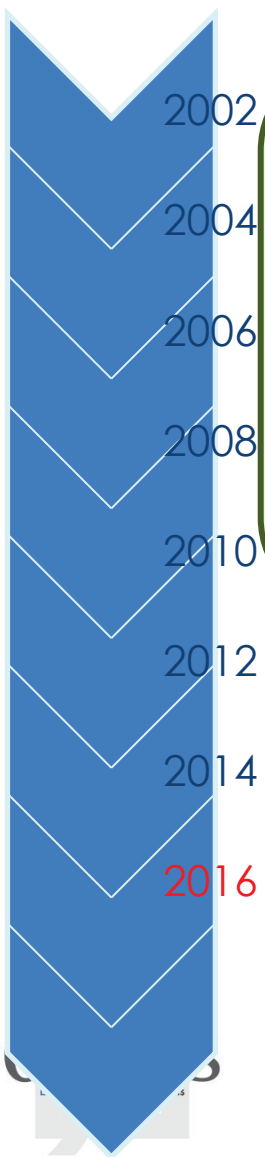
3. PERSPECTIVES : TubSol



- Système suiveur+réflecteurs
- Modèle analytique
- Gain de 1.7 dans le sud de la France comparé à une installation classique
- Demande de financement pour un prototype en cours
- Fort partenariat industriel

Actimétrie



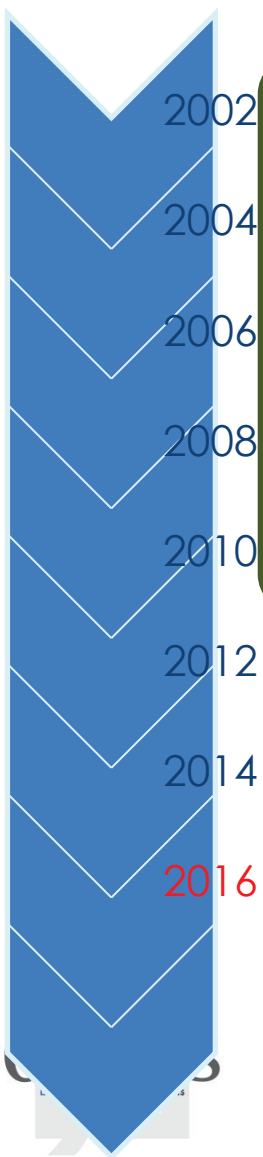


CIGS  

Caractérisations électriques
pour augmenter les
rendements sur de grandes
surfaces

2016

3 ANR
1 contrat industriel
9 RI – 13 CI – 4 CN



CIGS

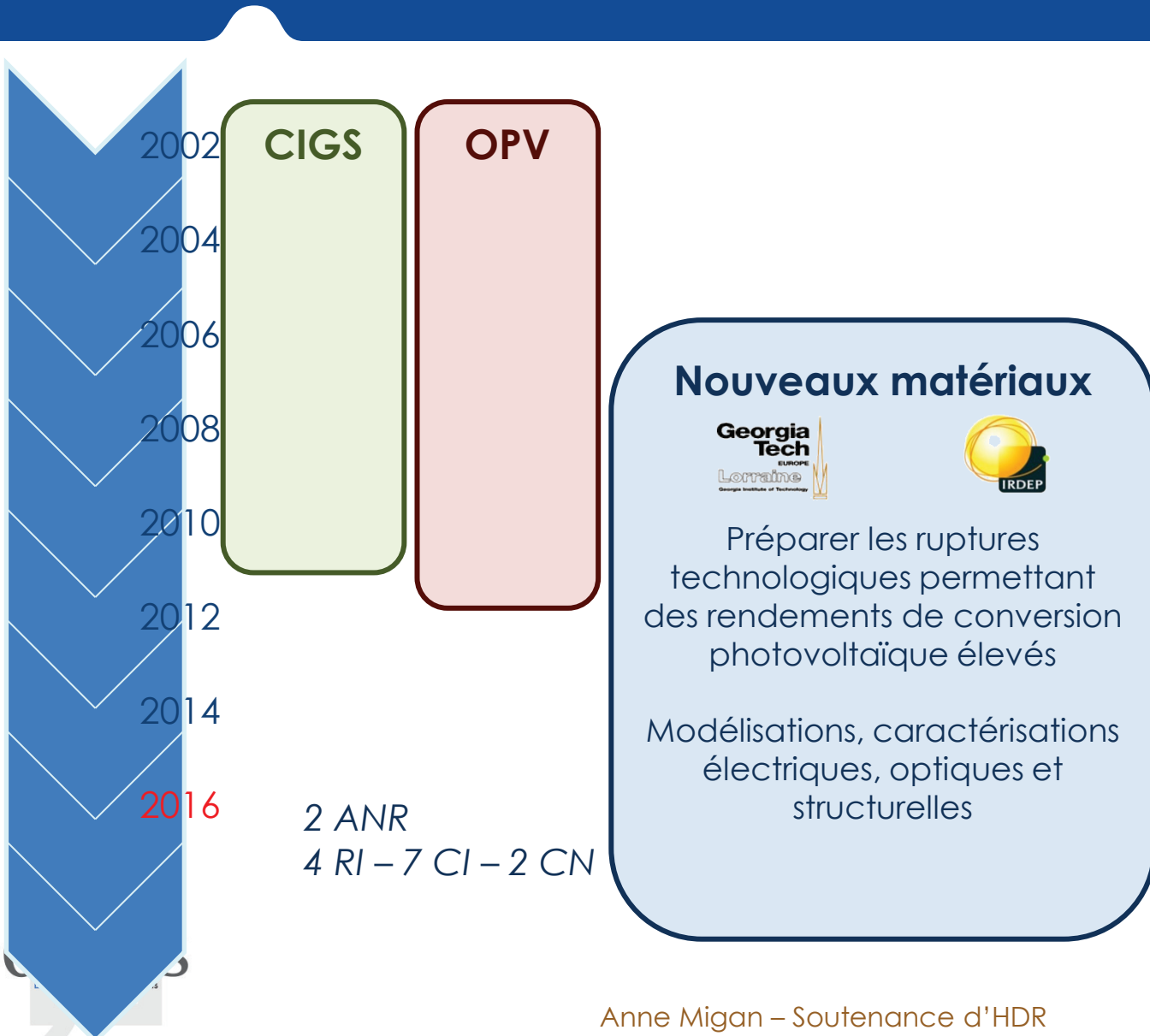


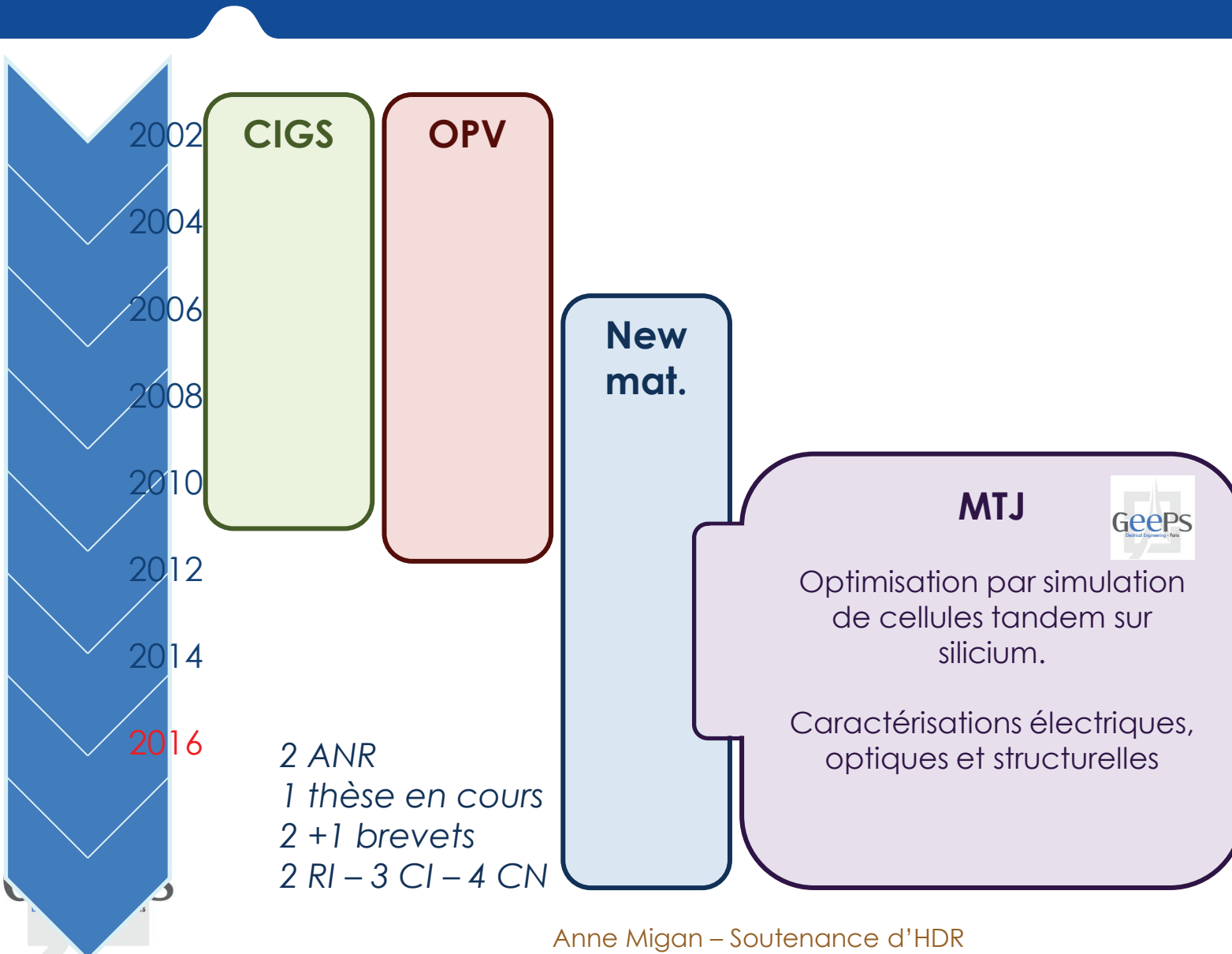
OPV

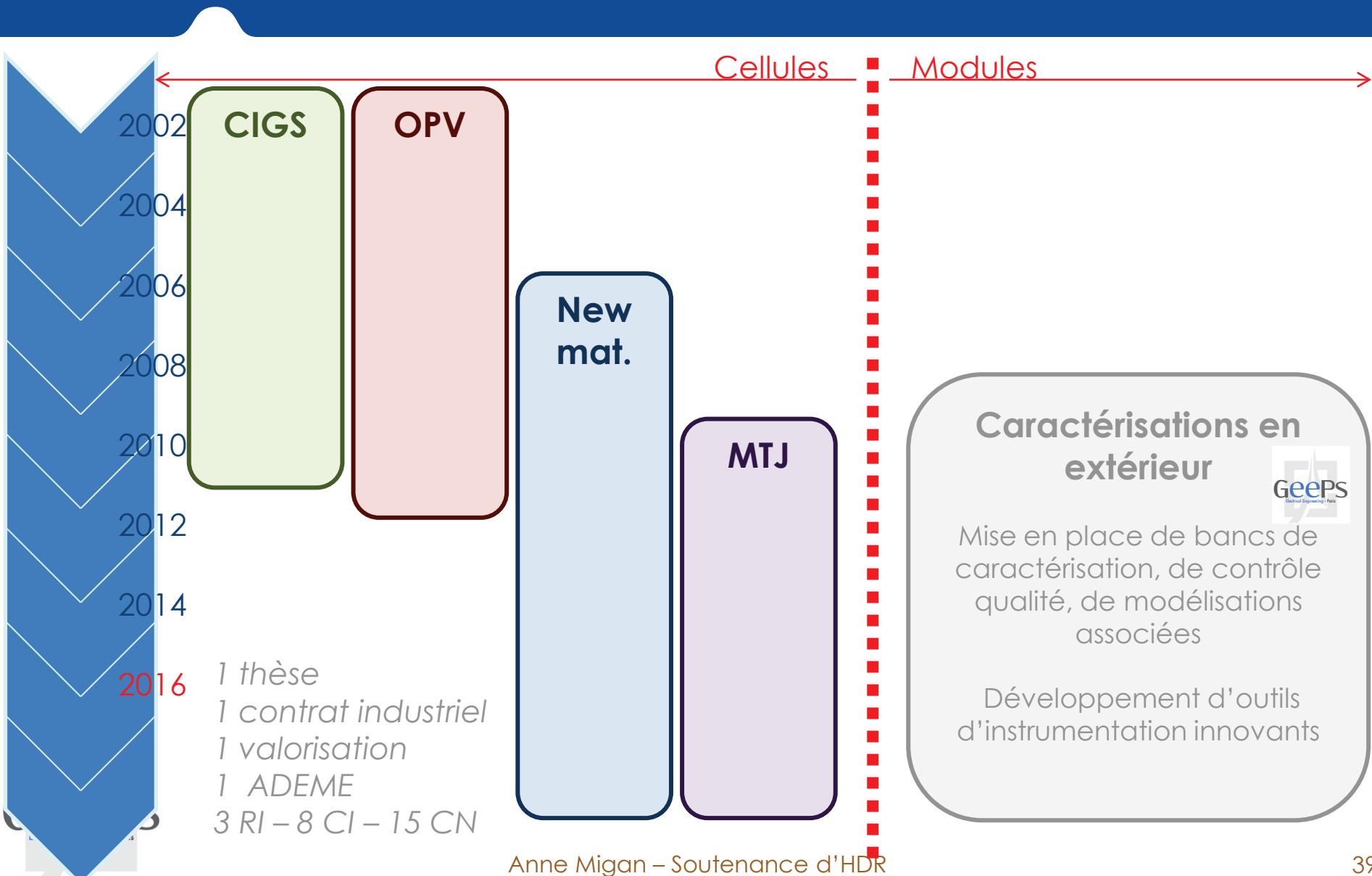


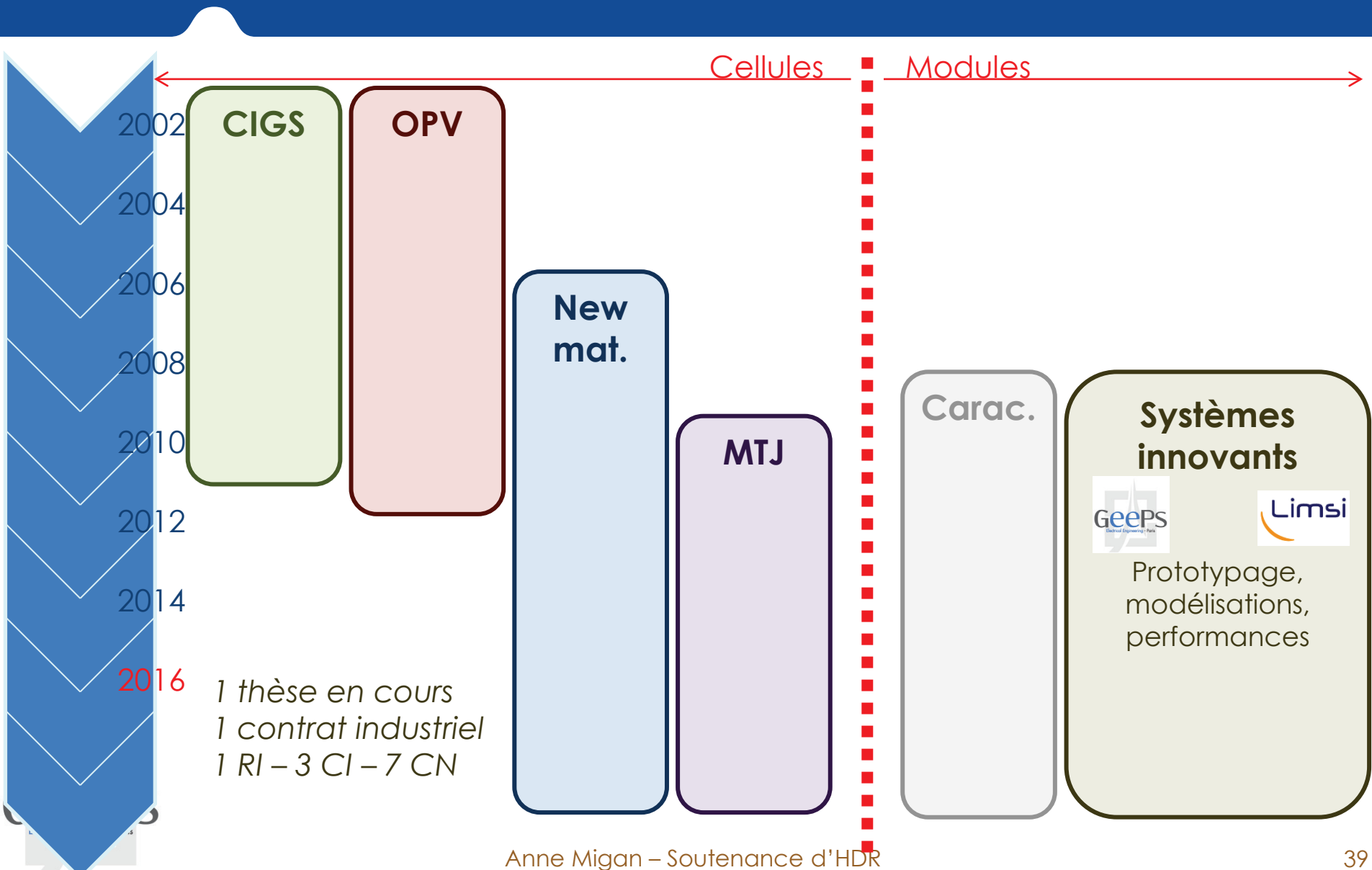
Développement de
techniques de
caractérisations électriques
adaptées aux matériaux
organiques

2 ANR
2 thèses
2 RI – 4 CI – 4 CN

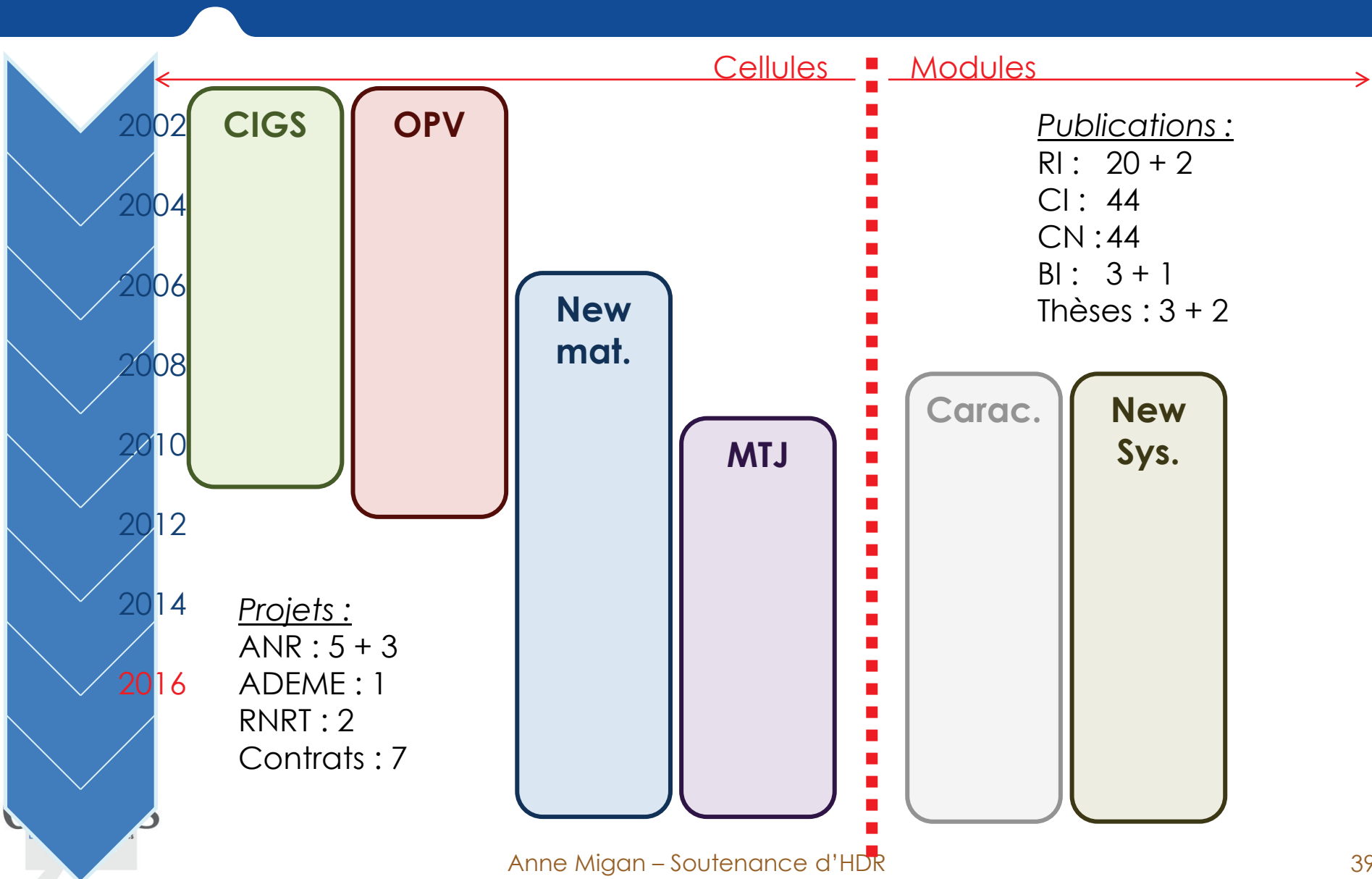








Actimétrie



Programme de recherche

Mes projets de recherche :

- Les projets déjà engagés
- Les projets d'avenir

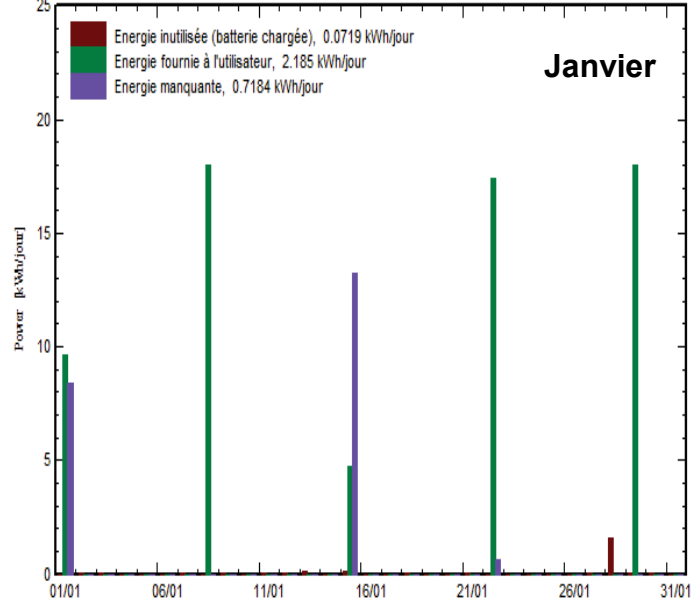
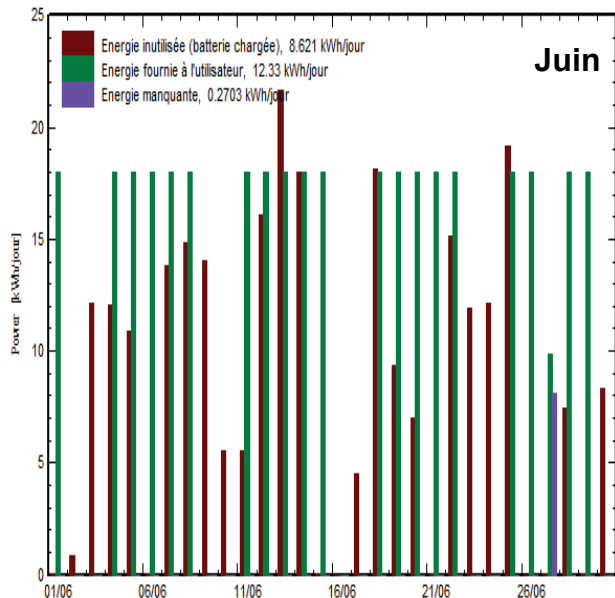
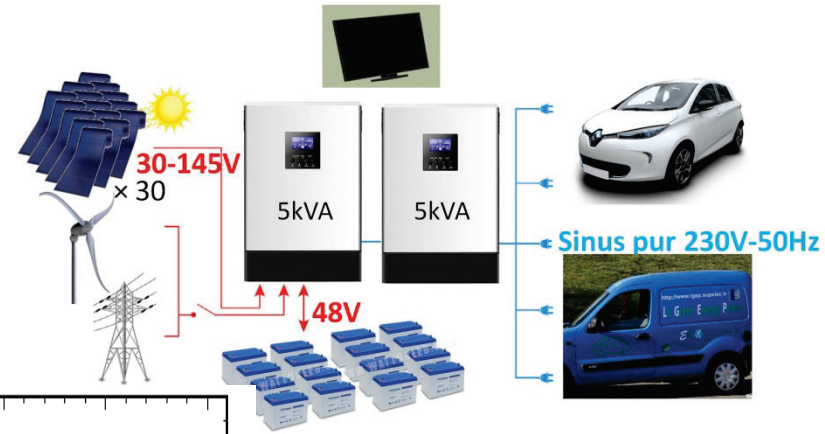


Programme de recherche

1. Les projets déjà engagés :

1. Les micro-réseaux

- La centrale Bernard Malherbe au GeePs



- ↳ **Démonstrateur pédagogique**
- ↳ **Cas d'école d'un système complet**

Programme de recherche

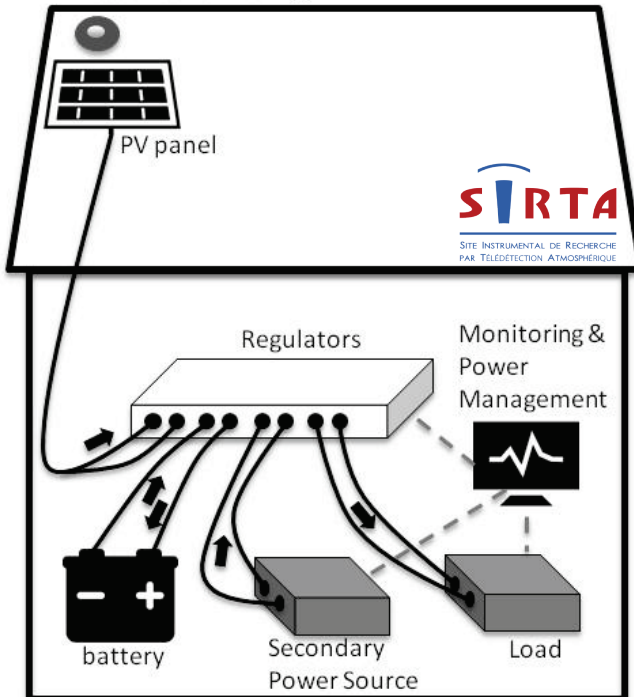
1. Les projets déjà engagés :

1. Les micro-réseaux

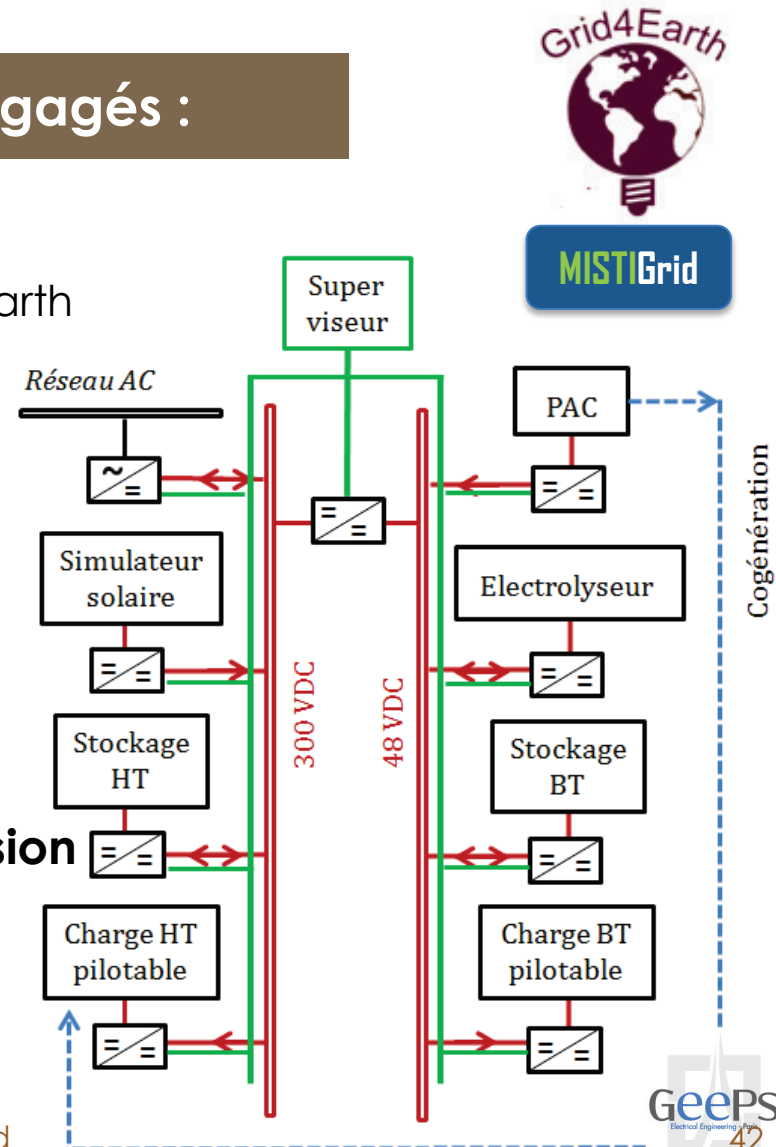


Resource monitoring

- Les nano-réseaux émulsés de Grid4Earth



- ↪ Utilisation des mesures PV
- ↪ Validation des modèles PV
- ↪ Niveaux de précision des modèles de prévision



Programme de recherche

1. Les projets déjà engagés :

2. S'ouvrir à d'autres puissances

- Nouveau bâtiment du SIRTA
- Bâtiment du Pôle Entreprenariat et Innovation
- *Dimensionnement*
- *Monitoring*
- *Suivi de production PV/des consommations*
- *Suivi des conditions atmosphériques*

- Bureau d'études Technique Solaire
- Centrale photovoltaïque JIPAIBET : 3MW_c
- *Suivi de production en sortie d'onduleur*
- *Suivi des conditions atmosphériques*



- ↪ **Observations des contraintes associées aux systèmes**
- ↪ **Outils de caractérisations adaptés aux systèmes**
- ↪ **Outils de diagnostics**
- ↪ **Facteurs d'échelle**

Programme de recherche

2. Les projets d'avenir :

Programme de recherche

2. Les projets d'avenir :

1. Des cellules aux modules



- ↪ **Caractérisation en extérieur de techniques nouvelles (de fabrication, d'encapsulation, de connexion, d'intégration...)**
- ↪ **Fabrication de modules PV adaptés à ALEPH**

Programme de recherche

2. Les projets d'avenir :

2. S'ouvrir à d'autres climats



Cameroun



Burkina Faso



Algérie



Sénégal



Iran

↪ **Comportement des modules PV en environnement sévère**

↪ **Vieillessement, dégradations, défauts**

↪ **Formation**

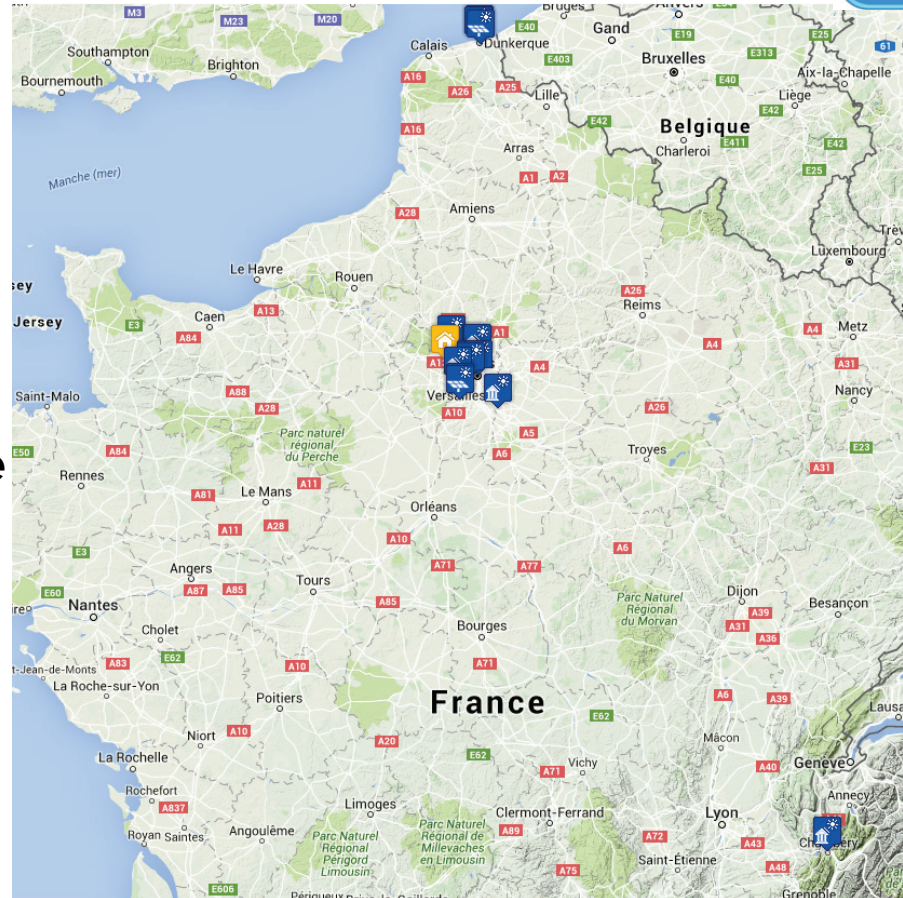
Programme de recherche



2. Les projets d'avenir :

3. Une plateforme collaborative

↳ **Fédérer la recherche dans le domaine de la caractérisation de modules PV en conditions réelles**



Modélisation
cellules PV

Caractérisations
de modules PV

Systèmes PV
innovants

Conclusion

Plateforme
modélisation

MTJ
IPVF

IPVF

Modélisation
cellules PV

III-V/Si
IPVF

Route
solaire

TubSol

Systèmes PV
innovants

Validation
mesures

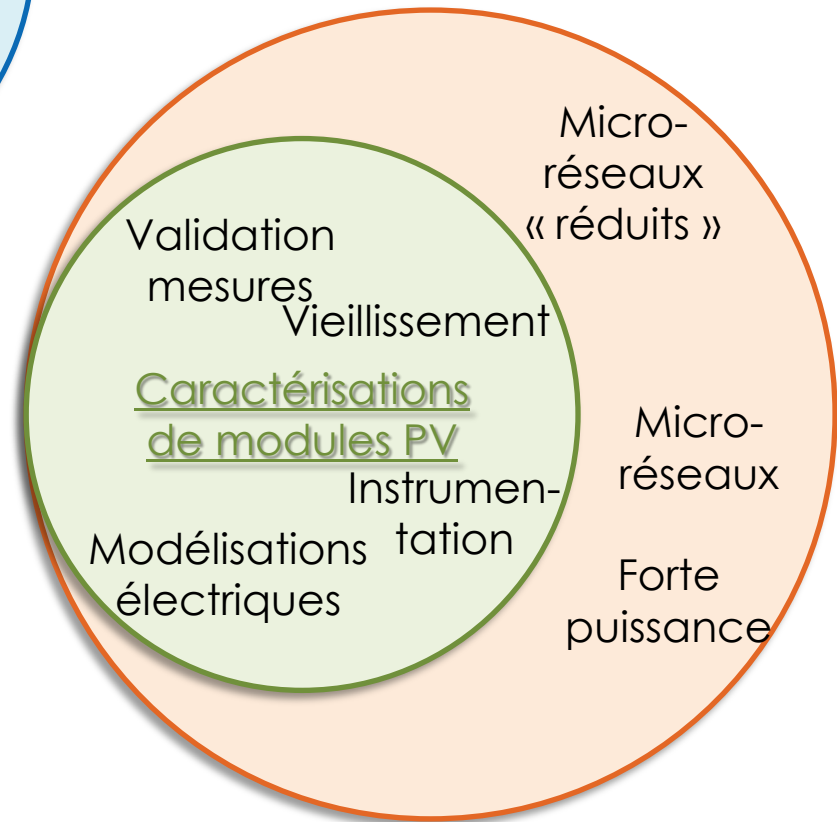
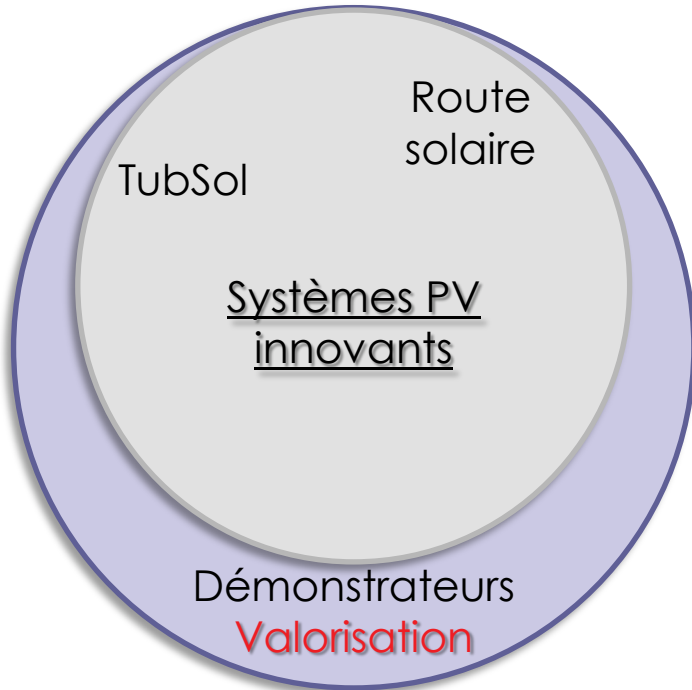
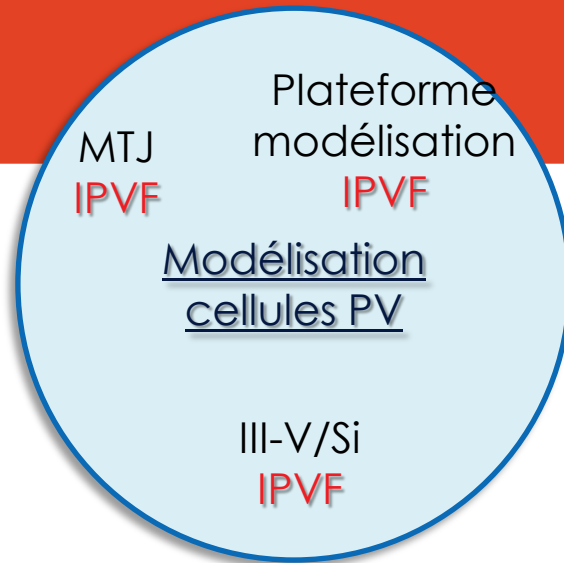
Vieillessement

Caractérisations
de modules PV

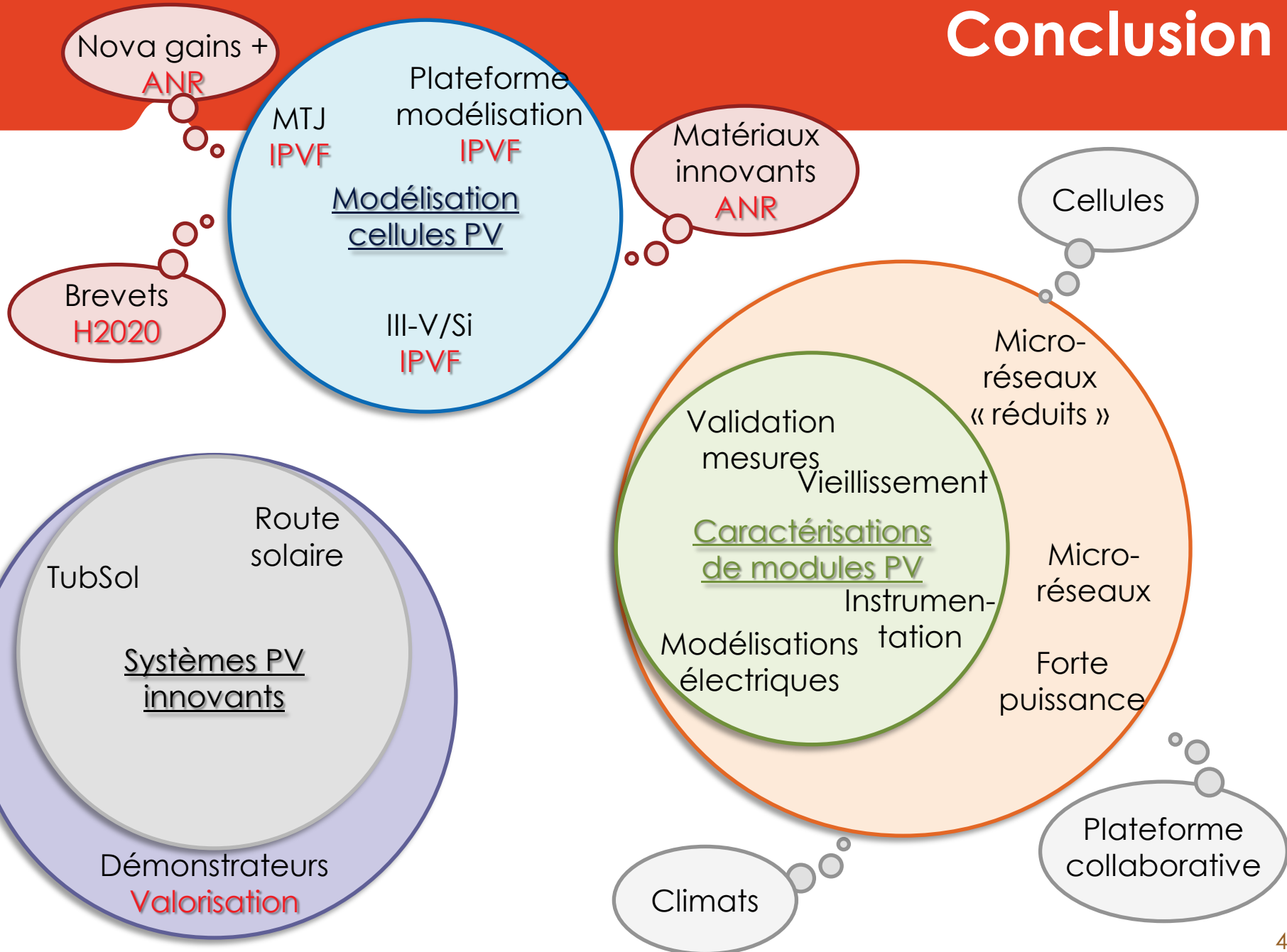
Instrumentation

Modélisations
électriques

Conclusion



Conclusion



Remerciements

Raphaël David Frédéric Walid Martial Christophe
Zakaria Aurore Christine Laurent Vincent Daniel Hélène
Yves Sylvain Denis Éric Marko Corinne Sonia
Sophie Gaëlle Arouna Olivier Claude Virginie Jean-Michel Olivier
Demba Olivier Christophe Jordi Nabil Emmanuelle
Marie-Estelle Françoise Florence Thomas Philippe Xavier Thérèse
Mohamed Adel Alexandra Michel Léonor Abdou Aurélie Arnold
Gwendoline José Éric Richard Peiqing Marc Farouk
Alain Alexandre David Nathalie Thomas Laurent Antoine
Aïssatou Gaële Laurent Maëva Georges Olivier Lydia
Cédric Vincent Bao Guillaume Christophe Charlotte Paul
Michel Denis Joaquim Esidor Zhuoxiang Papa
Aurélien Christelle Florian Kieu Hamid Aude
Marie-Christine Hélène Gérard Maman

Merci de votre attention

FIN

UPMC
1804 SORBONNE UNIVERSITÉS

