

Campagne de mesures des performances des installations photovoltaïques en Tunisie



Equipe de travail



Objectif

Evaluer la performance des installations photovoltaïques sur le territoire tunisien :
130 installations auditées parmi 13000 raccordées au réseau fin 2016



- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

- Echantillonnage
 - * Etapes
 - * Analyse du parc actuel
 - * Critères de sélection
 - * Programme des visites
 - * Résultats d'échantillonnage
 - Résultats de la campagne de mesures
 - Questionnaire clients
 - Points de vigilance et recommandations

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

Données transmises par l'ANME

Installateur	District	Client	CITE	Date de MES	Référence	Gouvernorat	Puissance (kWc)
			AOUINA	16/01/2016	215106720	TUNIS	2,0
			LES BERGES DU LAC	07/04/2016	5632290	TUNIS	2,0
			CARTHAGE BYRSA	21/04/2016	217777630	TUNIS	2,0

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

Données transmises par l'ANME

Critères de sélection

Installateur	District	Client	résidentiel/in dustriel	CITE	Date de MES	Référence	Gouvernorat	Puissance (kWc)	Zone	Première installation	Dernière installation	Première installation étà >10kWc	Installation >10kWc	Installation à Pc<=2kWc	Petit installateur (<50 installations)	Installateur présent sur plus du 1/5 du territoire	Installateur présent uniquement dans ce gouvernorat	Commentaire (ou voir l'installateur)	Installation à moins de 1 km du bord de mer)	Total
ETOU NSOUR		Résidentiel	AOUINA	16/01/2016	215106720	TUNIS	2,0	Z2	0	1	0	0	1	1	0	1			4	
MAP MED ASSA S		Résidentiel	LES BERGES DU LAC	07/04/2016	5632290	TUNIS	2,0	Z2	0	1	0	0	1	1	0	1		*	4	
EST TRAD SALE M		Résidentiel	CARTHAG E BYRSA	21/04/2016	217777630	TUNIS	2,0	Z2	0	1	0	0	1	1	0	1			4	

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

Rendement global d'installation

Qualité des cellules PV

Calcul du productible



$$PR = \frac{Pac \text{ onduleur}}{Pc \text{ champ PV}}$$

Détermination du Facteur de Forme constructeur

$$FF = \frac{Umpp * Impp}{Uoc * Icc}$$

Igp (W/m²)	T°C	Inclinaison (°)	Azimuth (°)	FF	Pdc Trika (STC)	Pac inst (W)	Nm / chaîne	Nc	Marque Module	Référence Module	Origine	Pc (Wc)	Umpp (V)	Impp (A)	Voc (V)	Icc (A)	Marque Onduleur	230/400	Référence Onduleur	Pn (W)	Umppt min (V) DC	Umppt max (V) DC	Imax (A) DC
------------	-----	-----------------	-------------	----	-----------------	--------------	-------------	----	---------------	------------------	---------	---------	----------	----------	---------	---------	-----------------	---------	--------------------	--------	------------------	------------------	-------------

Mesures du traceur
de courbe I(V)

Données modules

Données Onduleur

E injectée + (E produite – E soutirée)

$$TAC = \frac{Prod - Export}{Prod}$$

Productible Pvgsi (kWh/kWc)	Performance énergétique (kWh/kWc)	Commentaire	Enregie Pvgsi (kWh)	Energie Pvgsi (kWh/an)	Energie produite kWh	Energie produite annuelle (kWh/an)	Δenergie réelle/PVgis (%)	Nbre d'heures de fonctionnement	Energie injectée (kWh)	Energie soutirée (kWh)	Energie totale consommée (kWh)	Energie consommée mensuelle (kWh/mois)	Autoconsommation
-----------------------------	-----------------------------------	-------------	---------------------	------------------------	----------------------	------------------------------------	---------------------------	---------------------------------	------------------------	------------------------	--------------------------------	--	------------------

Etude énergétique: réel vs les simulations PVGIS

Inv HT (DT)	Sub (DT)	Inv (DT/kWc)	Sub (DT/Wc)	Sub (%)	Inv après sub	Coût du Wc après sub (DT/kWc)	Tarif kWh solaire (DT/kWh)	TRB hors sub	TRB avec Sub	TRB Theorique			TEC	Prix du revient du kWh (DT/kWh)
								Hors sub	Avec Sub	ka (t =3,7% et n=30ans)				

Etude économique

Rentabilité des installations

Ph1	Ph2	Ph3	U12	U23	U31	V1t	V2t	V3t	Rt	Utn
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	-----------	------------



Mesures de tension réseau

Bon raccordement réseau STEG		Respect couleurs câbles		Sens cablage disj/diff OK		Présence différentiel		Présence disjoncteur		Bonne réalisation coffrets DC & AC		Bon serrage des borniers AC/DC		Bonne réalisation Terre / Structure		Boucle Induction champs PV		Présence Masque		Nettoyage régulier des modules		Propreté des modules le jour J		Présence dossier technique chez le client																			
Bon	Pas Ma sab le	Ma uv	NC	Oui	No n	NC	Oui	No n	NC	No n	30 mA	30 A	0m	NC	Oui	NO N	NC	Bo n	Pas Ma sab le	Ma uv a is	NC	Oui	Non	NC	Bo n	Pas Ma sab le	Ma uv a is	NC	Oui	Non	NC	Imp orta nt	Faib le	Auc un	Oui	Non	NC	Oui	Non	NC	Oui	Non	NC

Evaluation des défauts rencontrés

Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

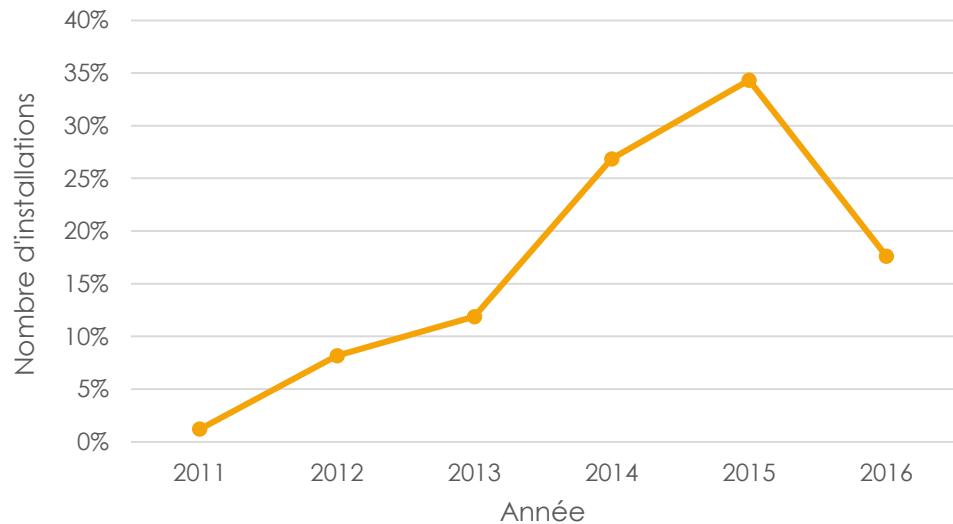
Etapes

- * Analyser l'état actuel de mise en œuvre de l'ensemble des installations PV existantes
- * Sélectionner un échantillon représentatif du parc
- * Auditer l'échantillon sélectionné
- * Analyser les résultats
- * Proposer des mécanismes pour améliorer la qualité et maintenir les performances des installations existantes
- * Elaborer des recommandations pour un concept de service après-vente.

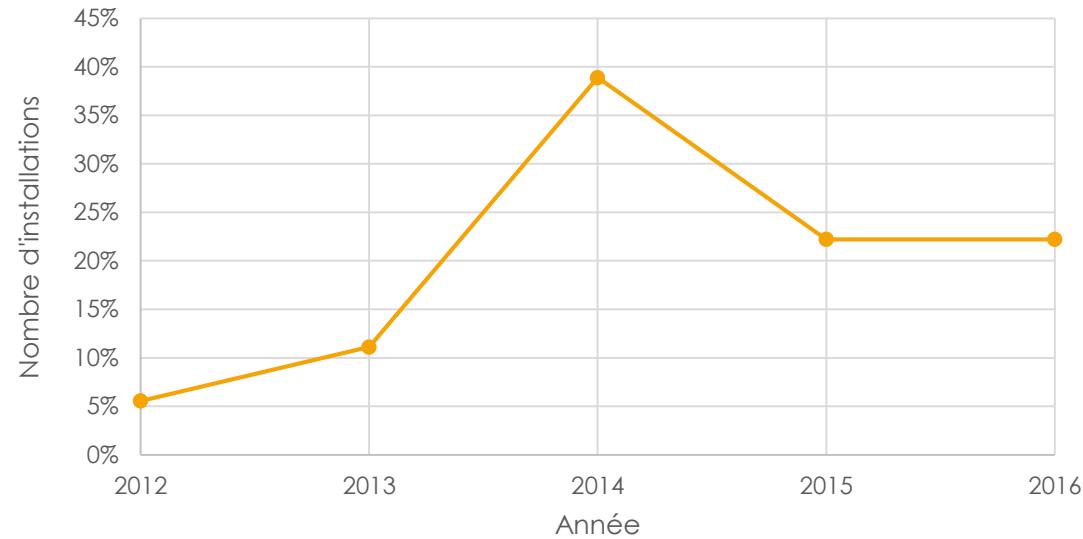
- Echantillonnage
 - * Etapes
 - * Analyse du parc actuel
 - * Critères de sélection
 - * Programme des visites
 - * Résultats d'échantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

Analyse du parc actuel

Année de mise en service



Evolution des installations BT



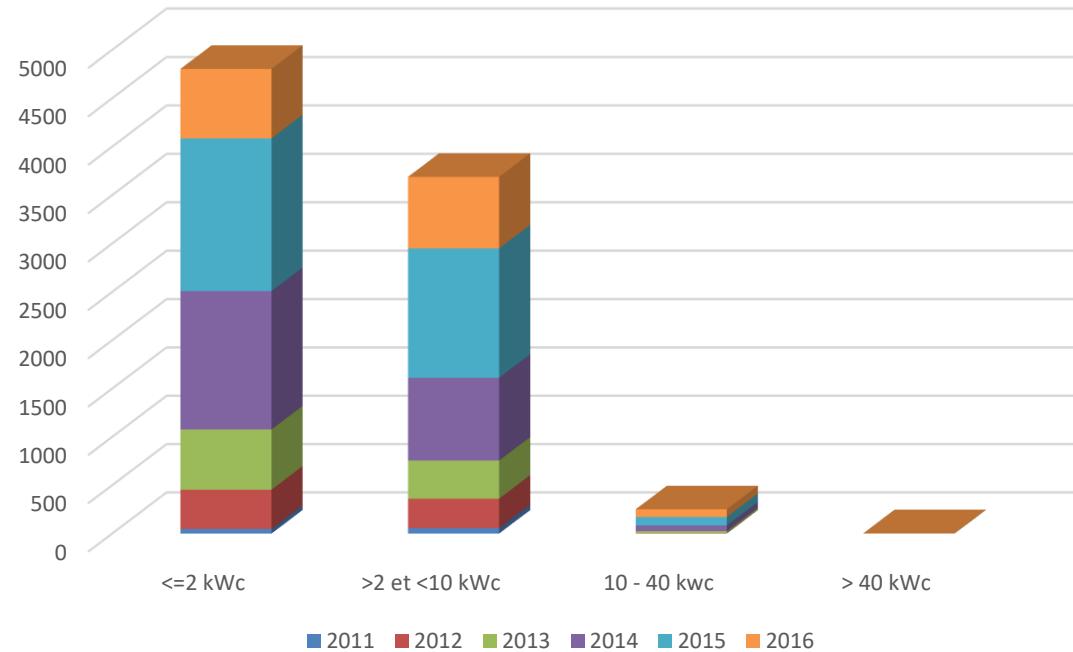
Evolution des installations MT

Analyse du parc actuel

Puissance raccordée

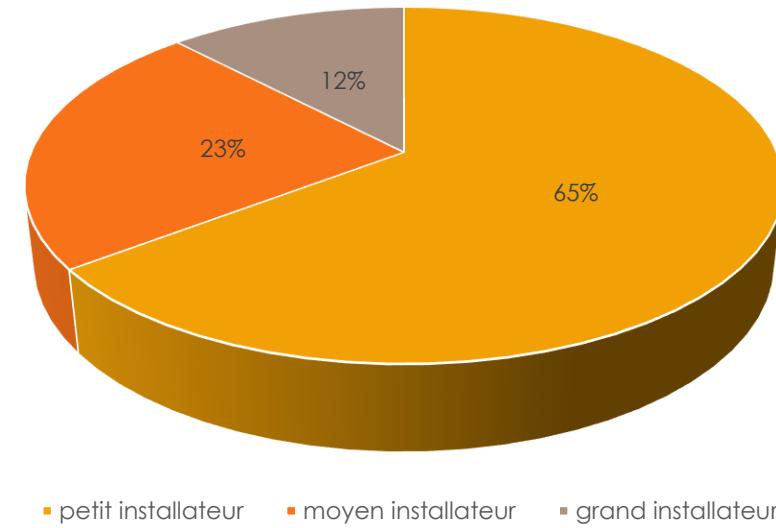
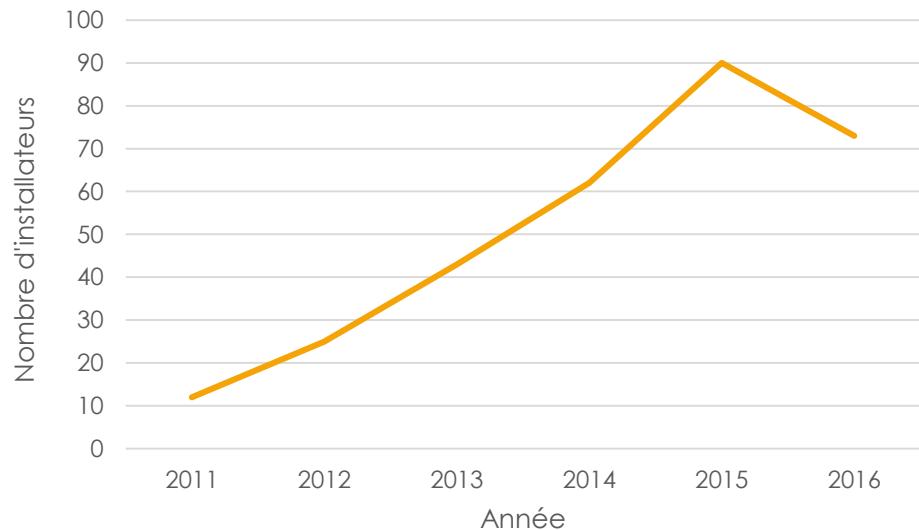
Puissance	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<=2 kWc	48	406	623	1432	1577	717
>2 et <10 kWc	57	304	395	856	1338	739
10 - 40 kwc	0	4	20	61	87	80
> 40 kWc	0	0	0	0	1	3

Total raccordé: 26,5 MWc en 2016



Analyse du parc actuel

Installateur

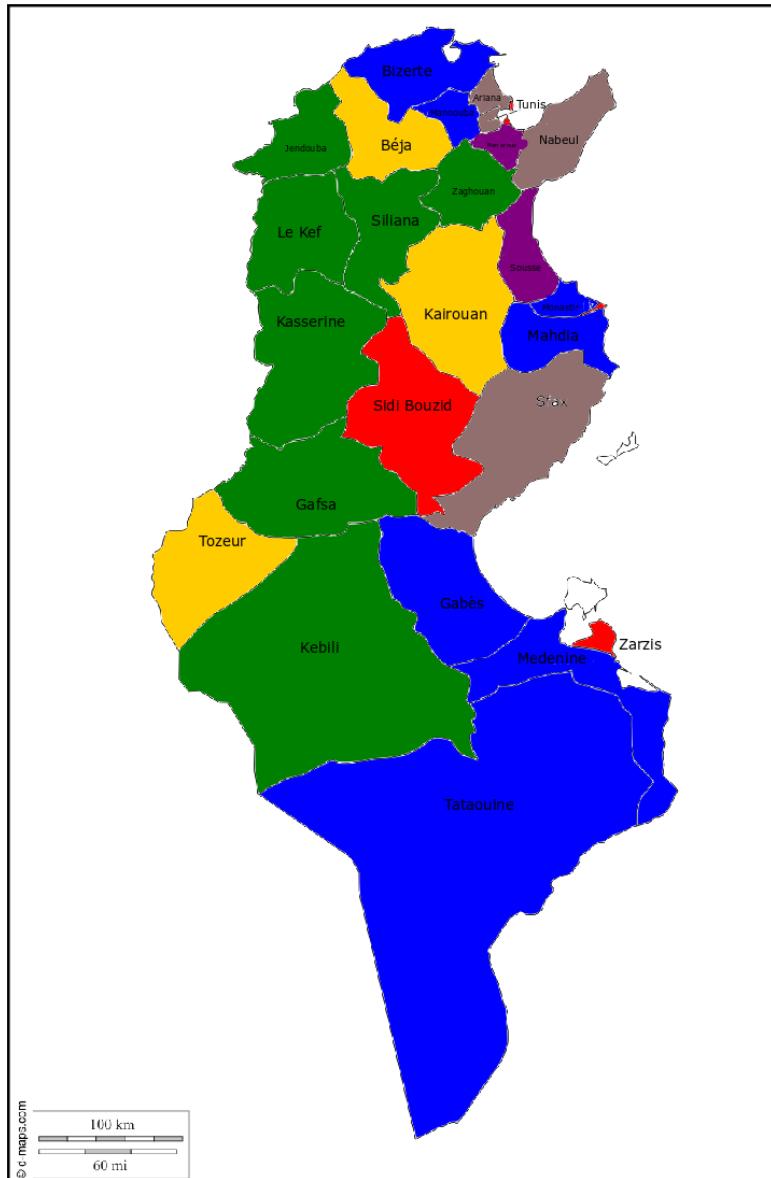
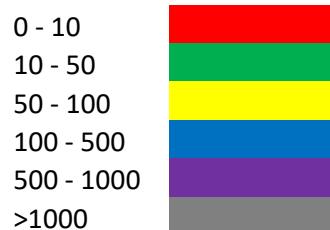


■ petit installateur ■ moyen installateur ■ grand installateur

Petit installateur (nbre installations < 50)
Moyen installateur (nbre installations < 200)
Grand installateur (nbre installations > 200)

Analyse du parc actuel

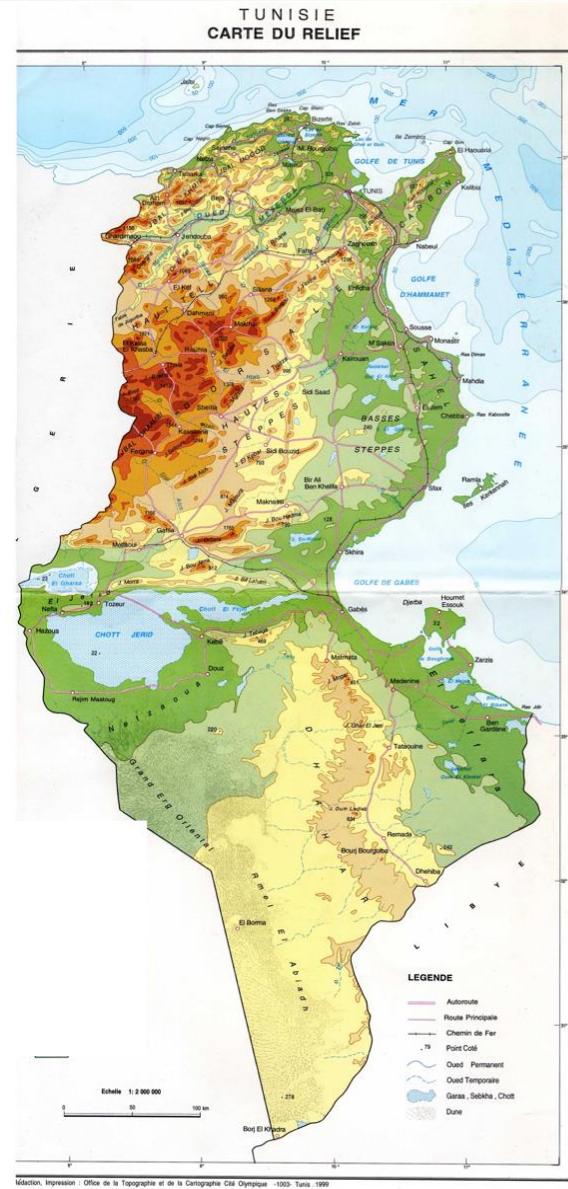
Nombre d'installations



Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

Le relief



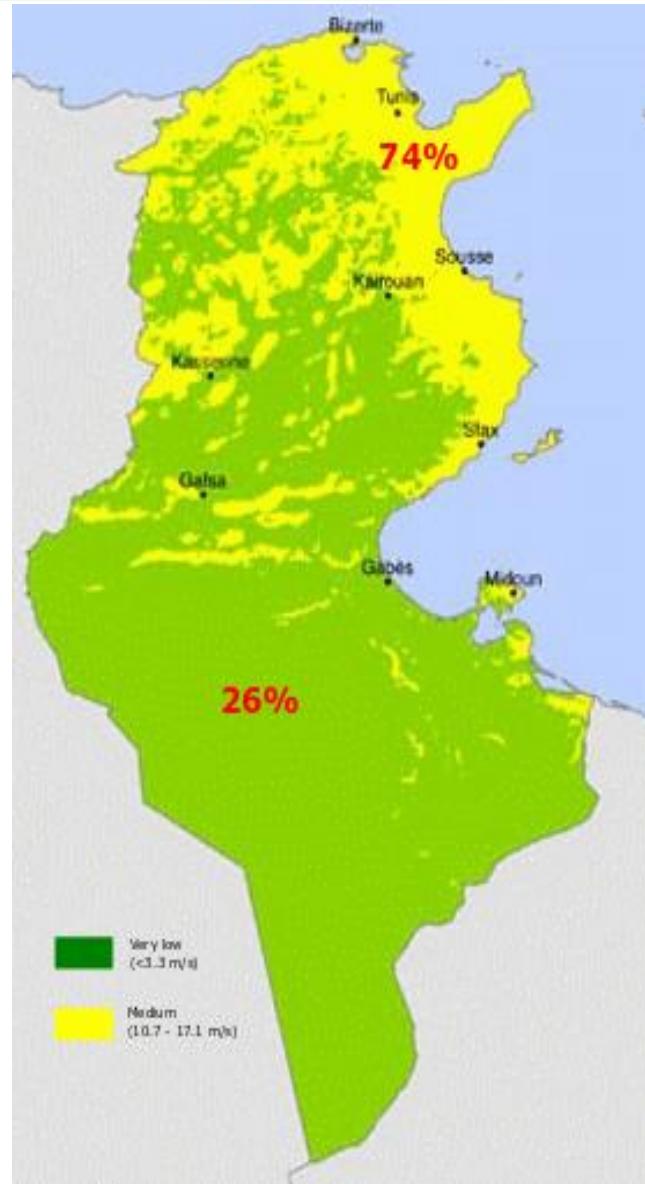
Part des installations
par zone



Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

Le vent



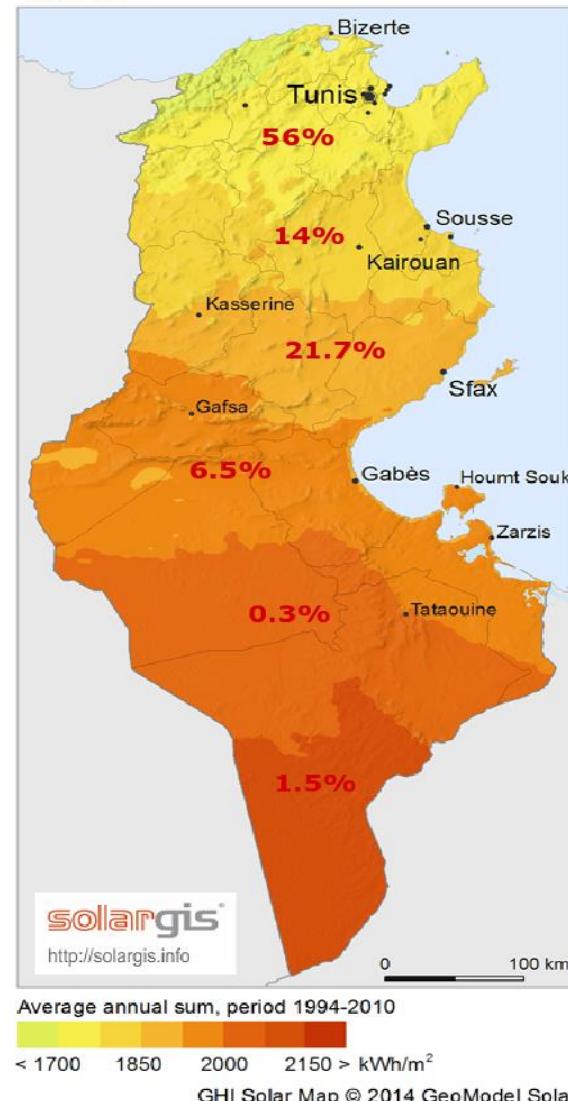
Part des installations
par zone

Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

L'irradiation solaire

Global Horizontal Irradiation (GHI)
Tunisia

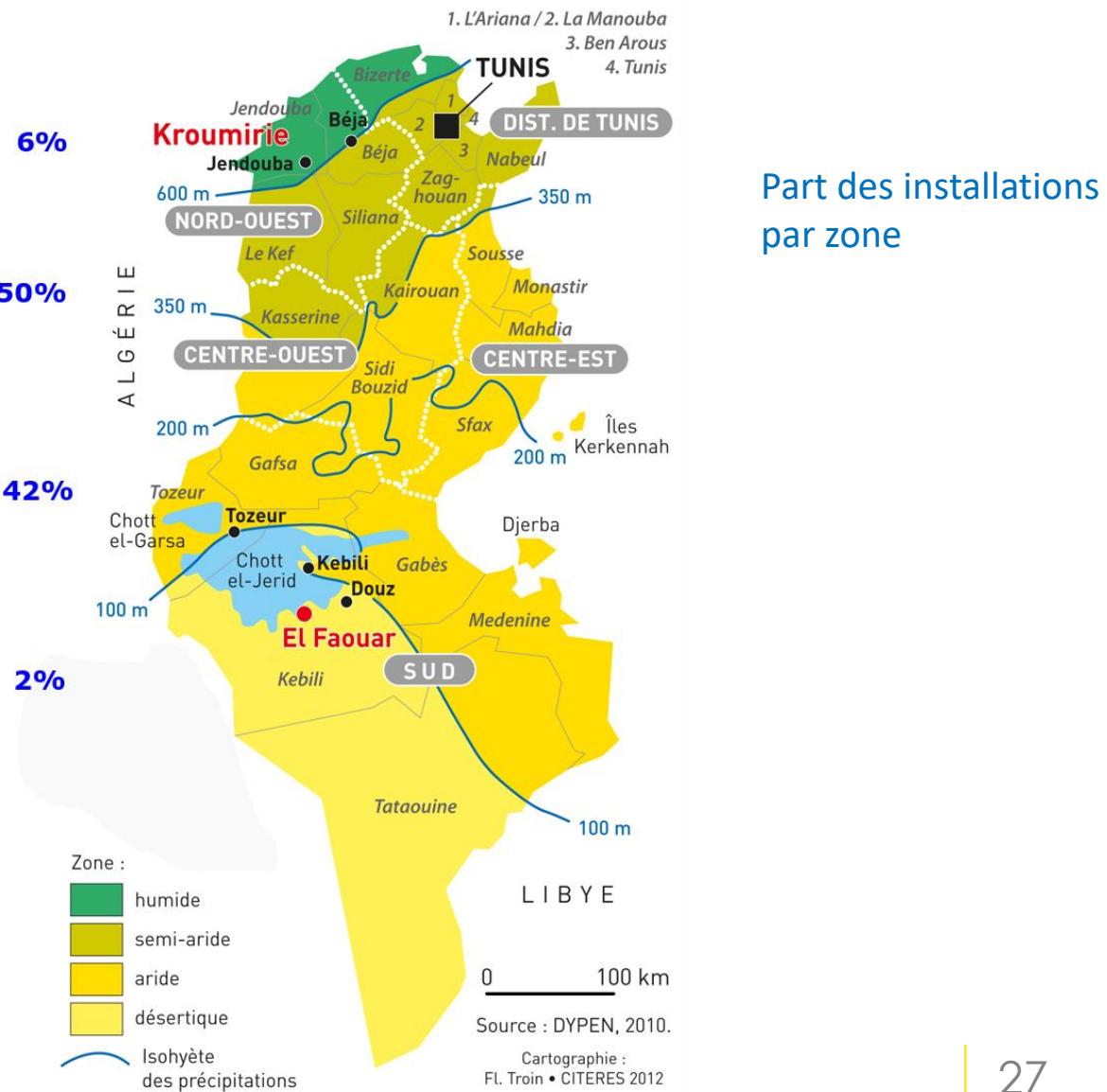


Part des installations
par zone

Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

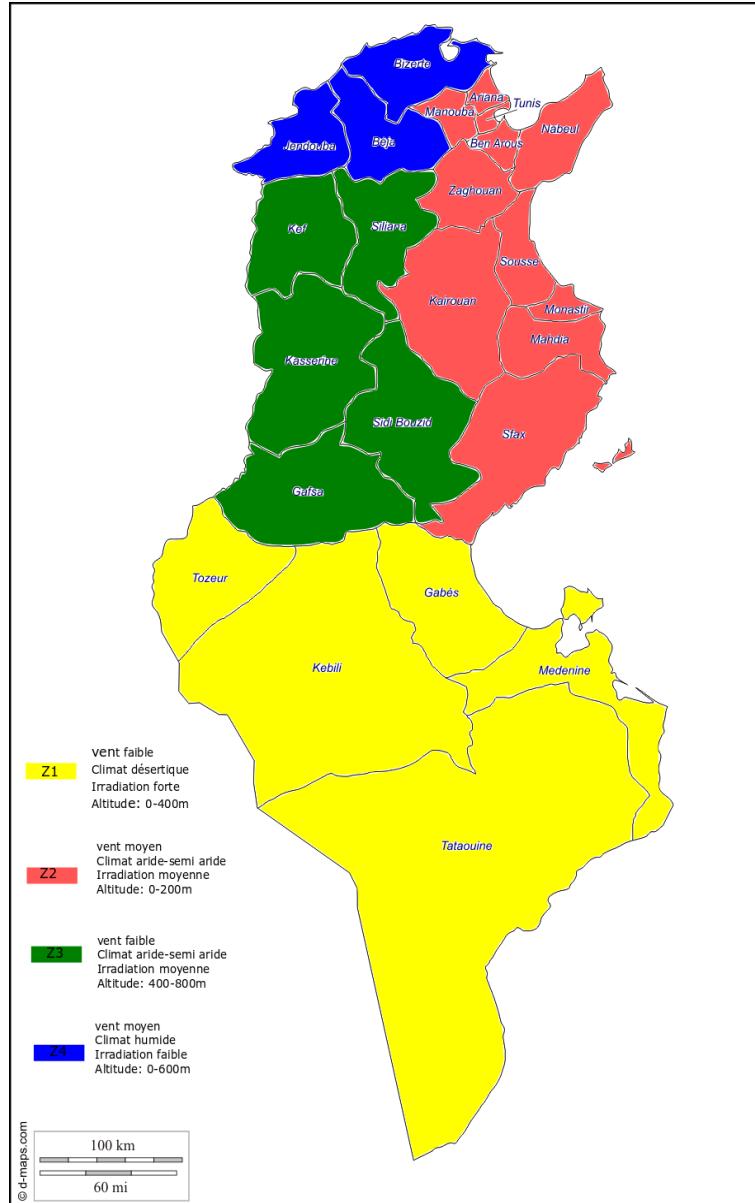
L'humidité



Analyse du parc actuel

Facteurs climatiques

Z1	Z2	Z3	Z4
Vent faible	Vent moyen	Vent faible	Vent moyen
Climat désertique	Climat semi-aride	Climat aride	Climat humide
Irradiation forte	Irradiation moyenne	Irradiation moyenne	Irradiation faible
Altitude 0-400 m	Altitude à-200 m	Altitude 400-800 m	Altitude 0-600 m



- Echantillonnage
 - * Etapes
 - * Analyse du parc actuel
 - * Critères de sélection
 - * Programme des visites
 - * Résultats d'échantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

Critères de sélection

N° visite	Installateur	Age (an)	Référence	Gouvernorat	Puissance (kWc)	Zone	Première installation	Dernière installation	Première installation et $P_c > 10 \text{ kWc}$	Installation à $P_c > 10 \text{ kWc}$	Installation à $P_c \leq 2 \text{ kWc}$	Petit installateur (<50 installations)	Installateur présent sur plus du 1/5 du territoire	Installateur présent uniquement dans ce gouvernorat	Installation à moins de 1 km du bord de mer)
-----------	--------------	----------	-----------	-------------	-----------------	------	-----------------------	-----------------------	---	---------------------------------------	---	--	--	---	--



Evaluer
l'évolution de
la prestation



Evaluer
l'adaptation aux
différents climats

Critères de sélection

Données					Critères de sélection											
Fournisseur	Réf STEG	Gouvernorat	PUISANCE	année MES	Zone	première installation	dernière installation	première installation et à plus de 2 branches (>10 kWc)	installation à plus de 2 branches (>10 kWc)	installation à P _c <= 2kWc	petit installateur (<50 installations)	installateur présent sur plus du 1/5 du territoire	installateur présent uniquement dans ce gouvernorat	commentaire (où voir l'installateur)	installation à moins de 1 km du bord de mer	Total
SOLAIRE PLUS	31693 430 0	NABEUL	13,0	2015	Z2	1	0	1	1	0	1	1	1	1 à voir à Nabeul		6
GREENSYS	337206160	NABEUL	10,0	2015	Z2	1	0	1	1	0	1	0	0	1 à voir à nabeul		5
SOLAIRE PLUS	155817401	ARIANA	15,0	2015	Z2	1	0	1	1	1	0	1	1	0		5
SOLAIRE PLUS	1121535	TUNIS	12,0	2015	Z2	1	0	1	1	1	0	1	1	0		5
TUNCOM	906345111	TOZEUR	11,5	2014	Z1	1	0	1	1	0	1	0	0	0		4
MES ENERGIE ET SECURITE	164664200	ARIANA	10,0	2015	Z2	1	0	1	1	0	0	0	0	0		3
EIM	162012510	ARIANA	2,0	2015	Z2	1	1	0	0	0	1	1	0	1		5
EIM	176387600	ARIANA	2,0	2015	Z2	1	1	0	0	0	1	1	0	1		5
EIM	177671460	ARIANA	2,0	2015	Z2	1	1	0	0	0	1	1	0	1		5
EIM	204274801	ARIANA	1,0	2015	Z2	1	1	0	0	0	1	1	0	1		5
EIM	230143600	BEN AROUS	2,0	2015	Z2	1	1	0	0	0	1	1	0	1		5



130 installations sélectionnées réparties dans tout le territoire tunisien

- Introduction
- Echantillonnage
 - * Etapes
 - * Analyse du parc actuel
 - * Critères de sélection
 - * Programme des visites
 - * Résultats d'échantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

5 semaines d'audit

15/01/2018

Au

09/02/2018

26/02/2018

Au

02/03/2018

Gouvernorat	Date	Nombre de jours	Nombre d'installations	Type d'installation
Tunis	15/01/2018-17/01/2018 26/01/2018	4	21	BT
Ariana	26/02/2018-27/02/2018 02/03/2018	3	17	BT
Ben Arous	28/02/2018	1	7	BT
Zaghouan	09/02/2018	0.5	1	BT
Béja	18/01/2018	1	5	BT
Le Kef	19/01/2018	1	5	BT
Bizerte	22/01/2018	1	6	BT
Nabeul	23/01/2018-24/01/2018 01/03/2018	3	18	BT
Sousse	25/01/2018	1	5	BT
Kairouan	29/01/2018	1	6	BT
Sfax	30-01/2018-31/01/2018	2	7	MT
Gabès	01/02/2018 05/02/2018	2	11	BT
Médenine	02/02/2018	1	5	BT
Kebili	06/02/2018	1	5	BT
Tozeur	07/02/2018-08/02/2018	2	10	BT
Gafsa	09/02/2018	0.5	1	BT

Echantillonnage

Résultats de la campagne de mesures

Questionnaire clients

Points de vigilance et recommandations

Etapes

Analyse du parc actuel

Critères de sélection

Programme des visites

Résultats d'échantillonnage

<https://www.google.com/maps/d/edit?hl=fr&mid=1agbszdo0zsRWZZJYkHBr3rrgGNGdVme-&ll=35.64883697919634%2C8.718425593749998&z=8>



- Echantillonnage
 - * Etapes
 - * Analyse du parc actuel
 - * Critères de sélection
 - * Programme des visites
 - * Résultats d'échantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

Echantillonnage

Résultats de la campagne de mesures

Questionnaire clients

Points de vigilance et recommandations

Etapes

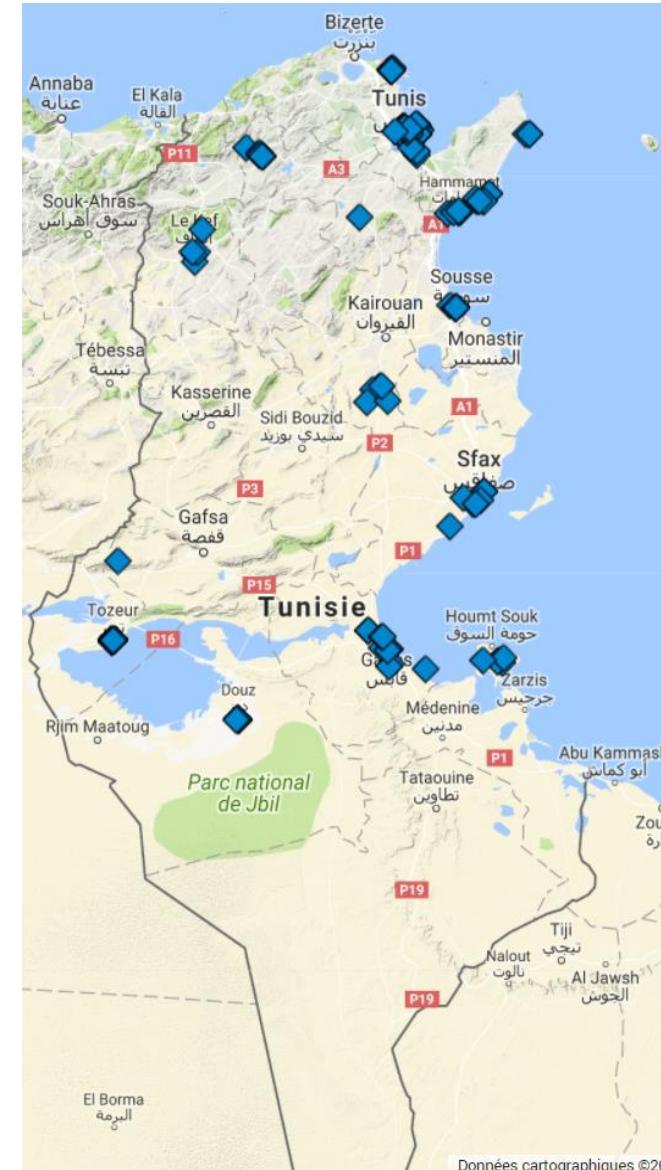
Analyse du parc actuel

Critères de sélection

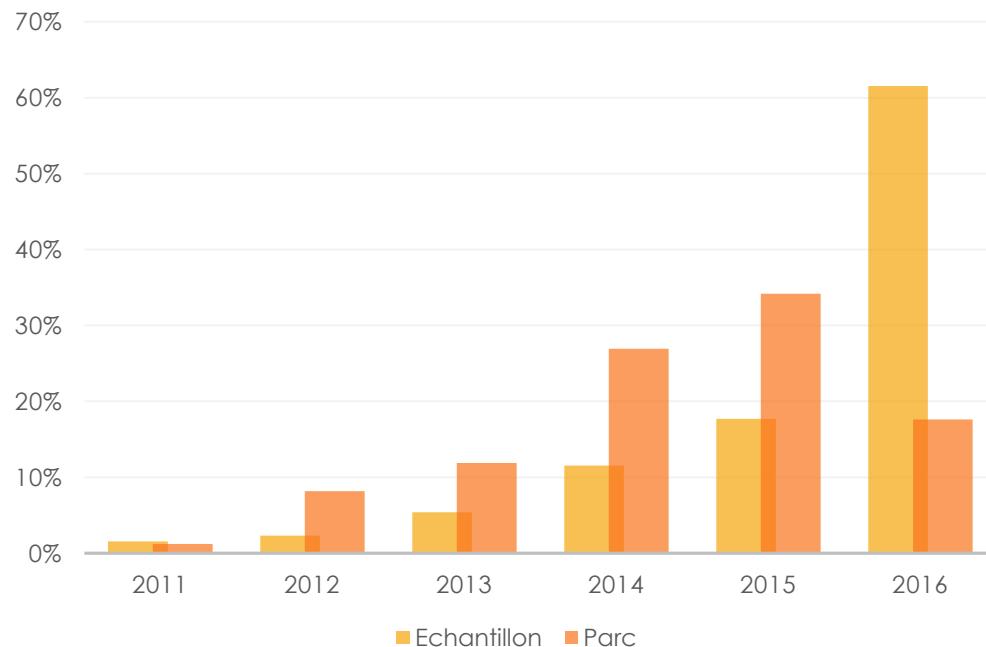
Programme des visites

Résultats d'échantillonnage

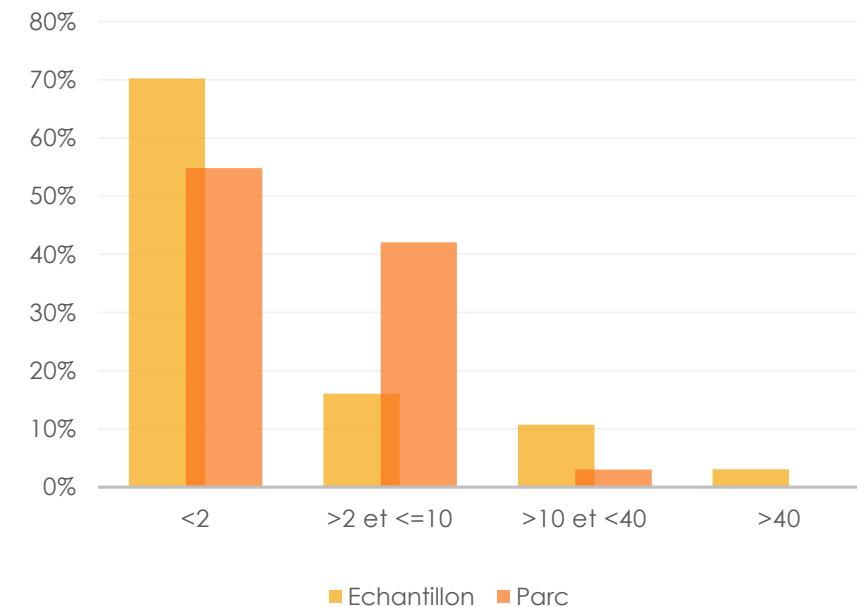
Nombre d'installations	131
Puissance totale (kWc)	900
Age moyen (an)	2.3
Production totale (MWh)	2780
Nombre de kilomètres (km)	~10000
Nombre de gouvernorats	16
Nombre d'installateurs	46



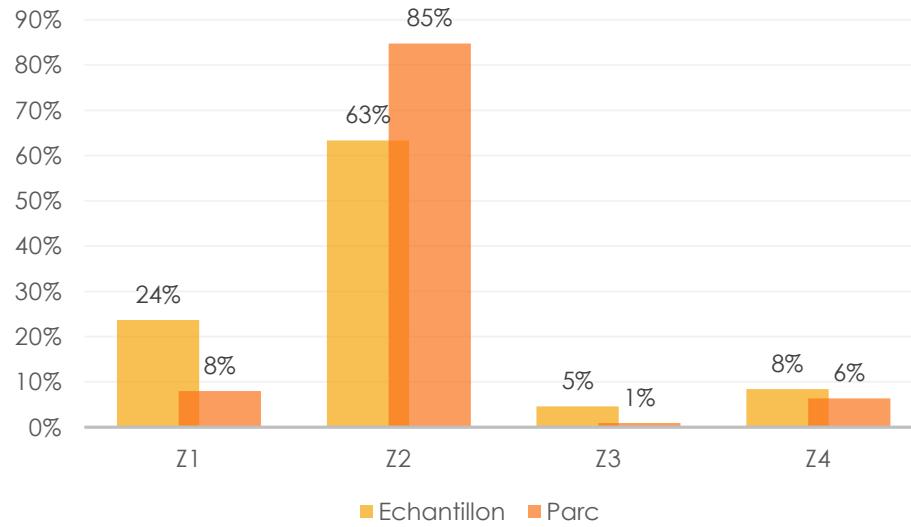
Année de mise en service



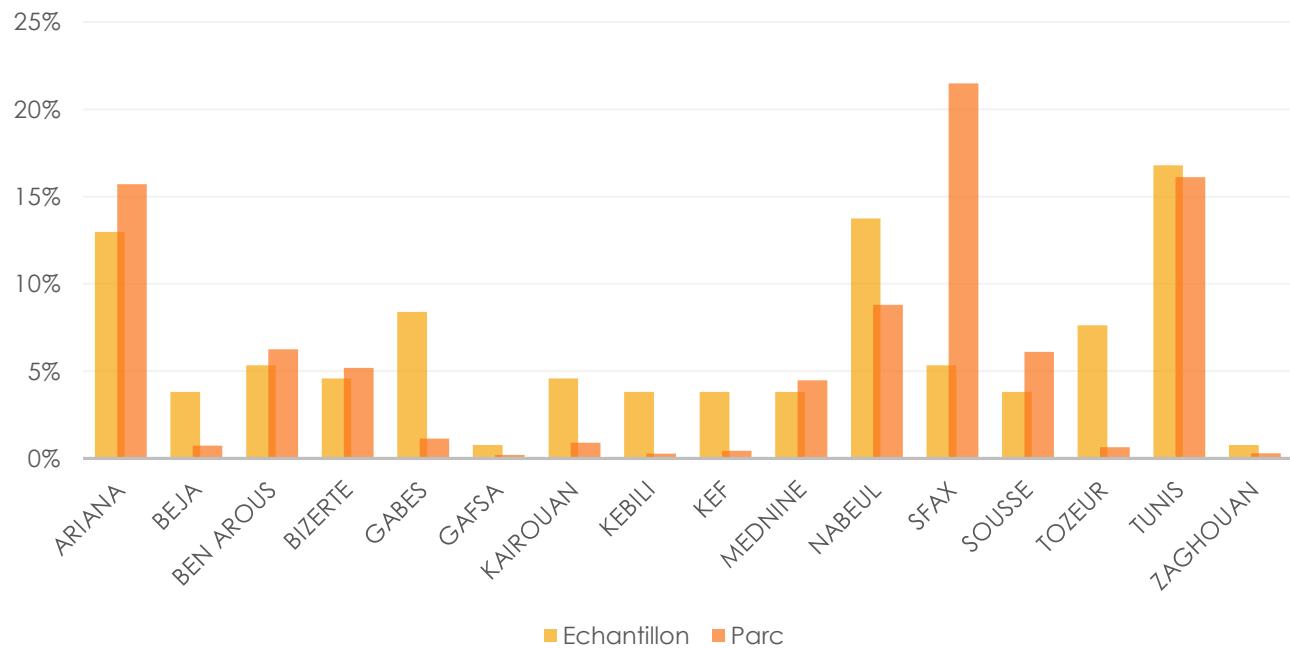
Puissance crête



Zone d'implantation



Gouvernorat visité



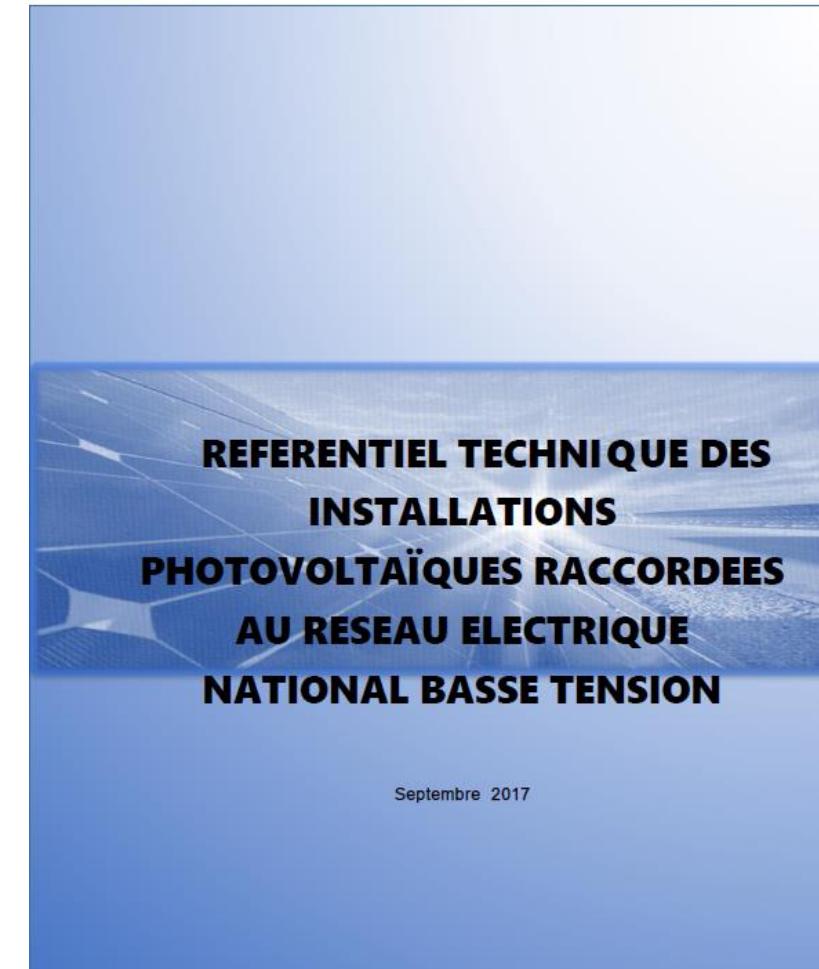
- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
 - * Cadre technique et législatif
 - * Points de contrôle et de mesures
 - * Performance énergétique
 - * Rentabilité économique
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations
- Conclusion

En cours de publication...

Un document de travail lors de nos audits.

Aborde des problématiques concrètes avec des simplifications pratiques au niveau électrique.

Certains points restent néanmoins à approfondir.



- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
 - * Cadre technique et législatif
 - * Points de contrôle et de mesures
 - * Performance énergétique
 - * Rentabilité économique
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

Modules et structure

Onduleur

Coffrets DC AC

Réseau

INES		MISSION D'EXPERTISE 2018 D'INSTALLATIONS PV TUNISIENNES				giz International Services			
N° VISITE	N° SETEG		DATE	... / ... / ...	DEBUT	... H	FIN	... H	
GPS	" N		" E	GOOGLEMAP via SMARTPHONE			OUI	NON	
PHOTO DU SITE			REMARQUE						
Nbre TOTAL MODULE	Pic TOTALE		REMARQUE						
PHOTO TOITURE PV & FICHE MOD.				PRESENCE DEFAUT SUR MODULES PV		OUI	NON		
BONNE CONCEPTION STRUCTURE PV		OUI	NON	PROPRE MODULES PV		OUI	NON		
BONNE FIXATION MODULES PV		OUI	NON	NETTOYAGE REGULIER MODULE		OUI	NON		
BON ETAT Cables PV & Connecteur & JB		OUI	NON	PHOTOGRAPHIE THERMIQUE Module, Connecteur & JB					
CONTROLE ESPACE ENTRE RANGEE PV		H:	m	D:	m	CONFORMITE / BOUCLE INDUCTION		OUI	NON
REMARQUE / LEST			REMARQUE						
METEO						Azimuth	Temp ext	°C	
RELEVE MASQUE		OUI	NON	REMARQUE Proche & Lointain					
CAPTEUR TRI-KA		OUI	NON	CAPTEUR TRI-KA			INCLINAISON		
CAPTEUR TRI-KA		IGP (W/m²)		CAPTEUR TRI-KA			Temp Cell		
Nbre TOTAL ONDULEUR	PAC TOTALE		REMARQUE						
PHOTO LOCAL OND. & FICHE OND.				ARRET/PANNE/REMPLACEMENT		OUI	NON		
OND. N°1 CONFORME & FONCTIONNEL		OUI	NON	OND. N°2 CONFORME & FONCTIONNEL		OUI	NON		
PAC instant		REMARQUE / ERREURS / EVENEMENTS				PAC instant		REMARQUE / ERREURS / EVENEMENTS	
Heures fonct.						Heures fonct.			
Prod. Tot. kWh	CHAINE N°1	CHAINE N°2	CHAINE N°3	Prod. Tot. kWh		CHAINE N°1	CHAINE N°2	CHAINE N°3	
Nbre MODULE / Chaine				Nbre MODULE / Chaine					
Pac instantanée / Chaine				Pac instantanée / Chaine					
MISE HORS SERVICE DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (AC puis DC)									
MESURE I(V) TRI-KA / OND. N°1			OUI	NON	MESURE I(V) TRI-KA / OND. N°2			OUI	NON
REMARQUE			REMARQUE						
COFFRET DC CONFORME & FONCTIONNEL		OUI	NON	COFFRET AC CONFORME & FONCTIONNEL		OUI	NON		
BORNIERS & CONNECTEURS SERRES		OUI	NON	BORNIERS & CONNECTEURS SERRES		OUI	NON		
BON ETAT FUSIBLES & PARAFOUDRES DC		OUI	NON	BON ETAT FUSIBLES & PARAFOUDRES AC		OUI	NON		
PHOTOGRAPHIE THERMIQUE COFFRET DC				PHOTOGRAPHIE THERMIQUE COFFRET AC					
REMARQUE			REMARQUE						
COMPTEUR ELECTRIQUE		ENERGIE CONSOMMEE E+/0/1-80 (kWh)		ENERGIE INJECTEE E-/2-80 (kWh)					
		L1/N (V)		L1 / T (V)		T/N (V)		L1 / L2 (V)	
ANALYSE DU RESEAU		L2/N (V)		L2 / T (V)		RT (Ohm)		L2 / L3 (V)	
		L3/N (V)		L3 / T (V)		REMARQUE		L3 / L1 (V)	
CONFORMITE ARRIVEE RESEAU		OUI	NON	INVERSION / ORDRE DES PHASES		OUI	NON		
CONFORMITE CABLAGE DIFFERENTIEL		OUI	NON	PIQUET TERRE	Alu	Cuivre	Galva		
REMARQUE			REMARQUE						
REMISE EN SERVICE DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE (DC puis AC)									
QUESTIONNAIRE CLIENT REMPLI		OUI	NON	CONTACT & DOCUMENTS TECHNIQUES DU CLIENT					
REMARQUE / CLIENT									
DISTRIBUTION FLYER BDPV		OUI	NON	CONTACT DE L'INSTALLATEUR					
REMARQUE / INSTALLATEUR									



► Structure

Structure

- Matériaux
 - Acier galvanisé ++ Rigidité bord de mer
 - Aluminium ++
 - Acier +
 - Section OK ++
- Visserie
 - Inox ++
 - Soudage ++
 - Electrozingué -- Corrosion
- Résistance au vent
 - Qualité Lest +
 - Dimensionnement --
 - Haubanage +
 - Point d'encrage -



Tout tient avec des vis, mais les vis tiennent-elles?





► Résistance au vent

Un Lest approximatif

- ▶ Résistance au vent, une étude et dimensionnement difficile !
 - ▶ Selon le site
 - ▶ Selon l'environnement
 - ▶ Selon la hauteur du bâtiment
 - ▶ Selon la position des capteurs sur la toiture
- ▶ Le référentiel doit apporter des réponses simple aux cas les plus courants (Ce besoin et loin d'être traité) **contre les risques de:**
 - ▶ glissement,
 - ▶ soulèvement
 - ▶ retournement
- ▶ Les élingues et haubanages sont des sécurités efficaces

Lest et Haubanage

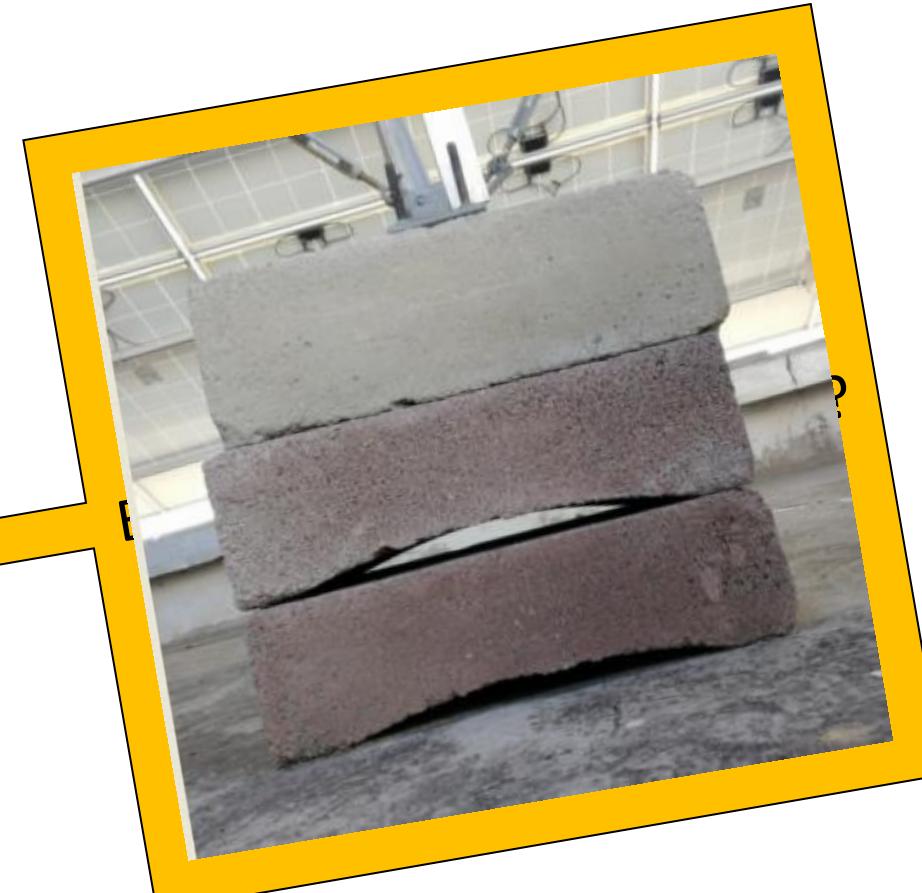


Vent à 100km/h = 70daN/m² Force



120kg





Lest et étanchéité

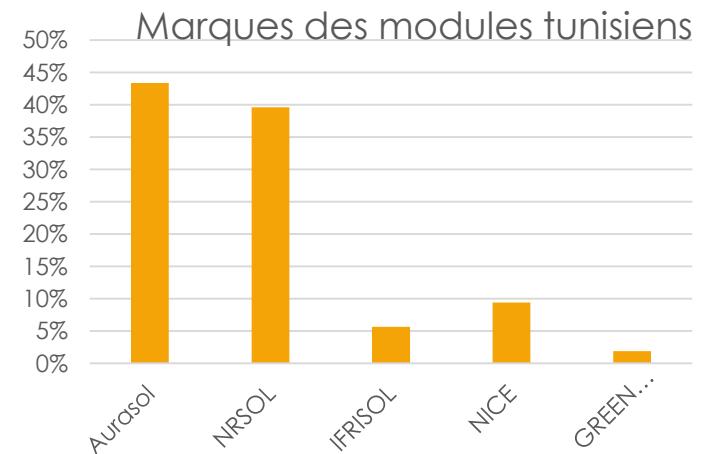
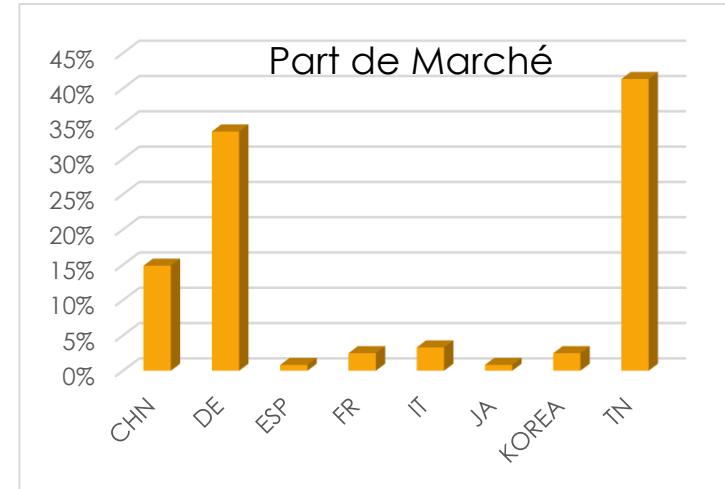


► Installation PV

- ▶ Module
- ▶ Onduleur
- ▶ Coffret

Modules

- Qualité
 - **Module très irrégulier chez certains équipementiers Tunisiens.**
 - Importation OK
- Techno
 - Mono
 - Polycristallin
- Provenance
 - Tunisie 40%,
 - Allemagne 34%,
 - Chine 15%
 - Autres 11%
- Mise en œuvre
 - Bonne dans l'ensemble
 - Ombrage proche
 - Boucle d'induction
 - Liaison de terminaison incertaine



Modules de fabrication tunisienne - défauts



FIGURE 1: BULLES D'AIR A L'ENCAPSULATION

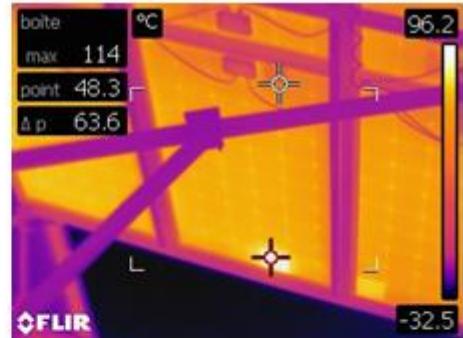


FIGURE 3: ECHAUFFEMENT D'UNE CELLULE RESISTIVE
(100°C AU LIEU DE 35°C POUR LE RESTE DU MODULE)



FIGURE 2: DELAMINATION

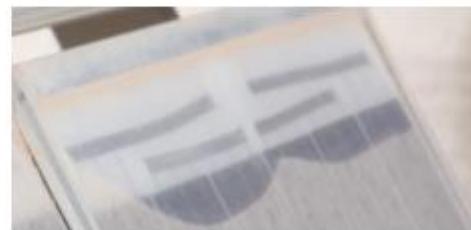
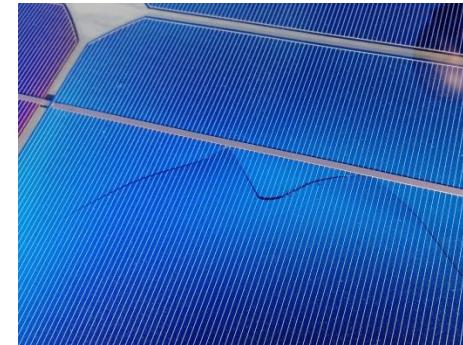


FIGURE 4: DEFAUT DE QUALITE SUR LA POSE DES BUS BARS



➤ Mise en œuvre: attention avec la visseuse!



Onduleur

- **Appareil performant et fiable, bon fonctionnement RAS**
- Mise en œuvre
 - Bonne dans l'ensemble
 - Attention à l'exposition direct au soleil
 - Sertissage des connecteurs défectueux
 - Esthétique (enlever le plastique de protection)
 - Protection des personnes
- Reporting
 - Aucun, ou si peu !
 - Méconnaissance, méfiance performance installation, perte de production



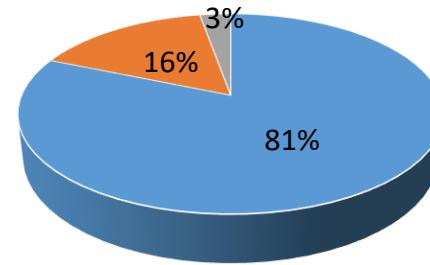
Figure 40: emplacement à éviter (onduleur, coffrets et gaines en plein soleil)



Coffrets DC/AC

- **Exemplaire par rapport à l'électricité du bâtiment !**
- Matériel
 - Qualité élevée
 - Quantité excessive !
 - Parafoudre discutable
 - Fusible pour 1 ou 2 chaînes inutile X
- Mise en œuvre
 - Attention au respect des couleurs
 - Respecter le sens de câblage
 - Connecteur liaison champ inexistante ou défaillante (sertissage) X
- Connexion
 - Embouts non adaptés aux câbles solaires (double isolation)
 - Dérivation parafoudre défaillante
 - Sertissage cosse, embout, connecteur sans outil adapté
 - Privilégier serrage par ressort au serrage à vis
 - Serrage à vis : RE-serrage indispensable

Bonne réalisation des coffrets DC/AC



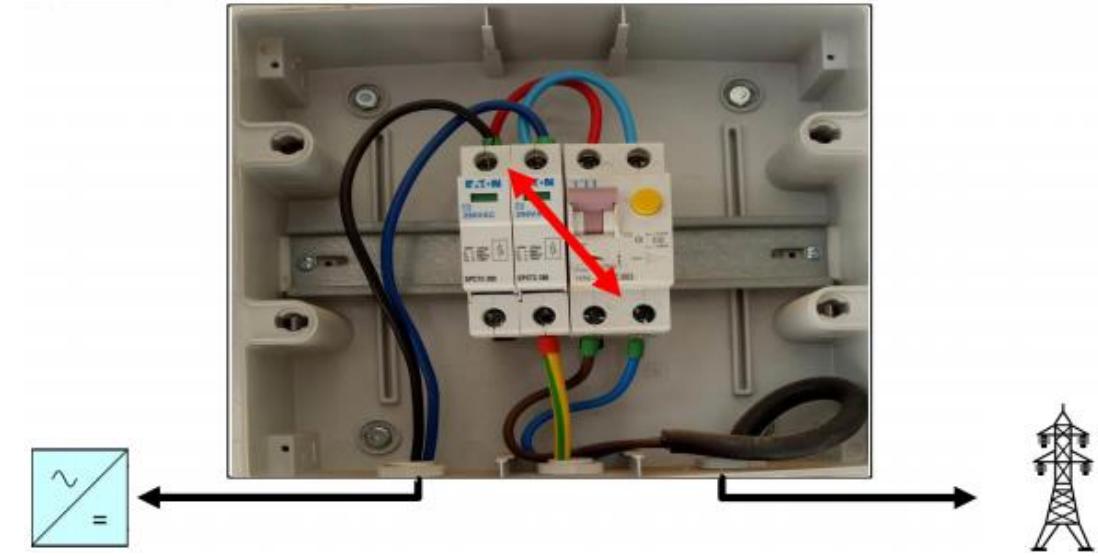
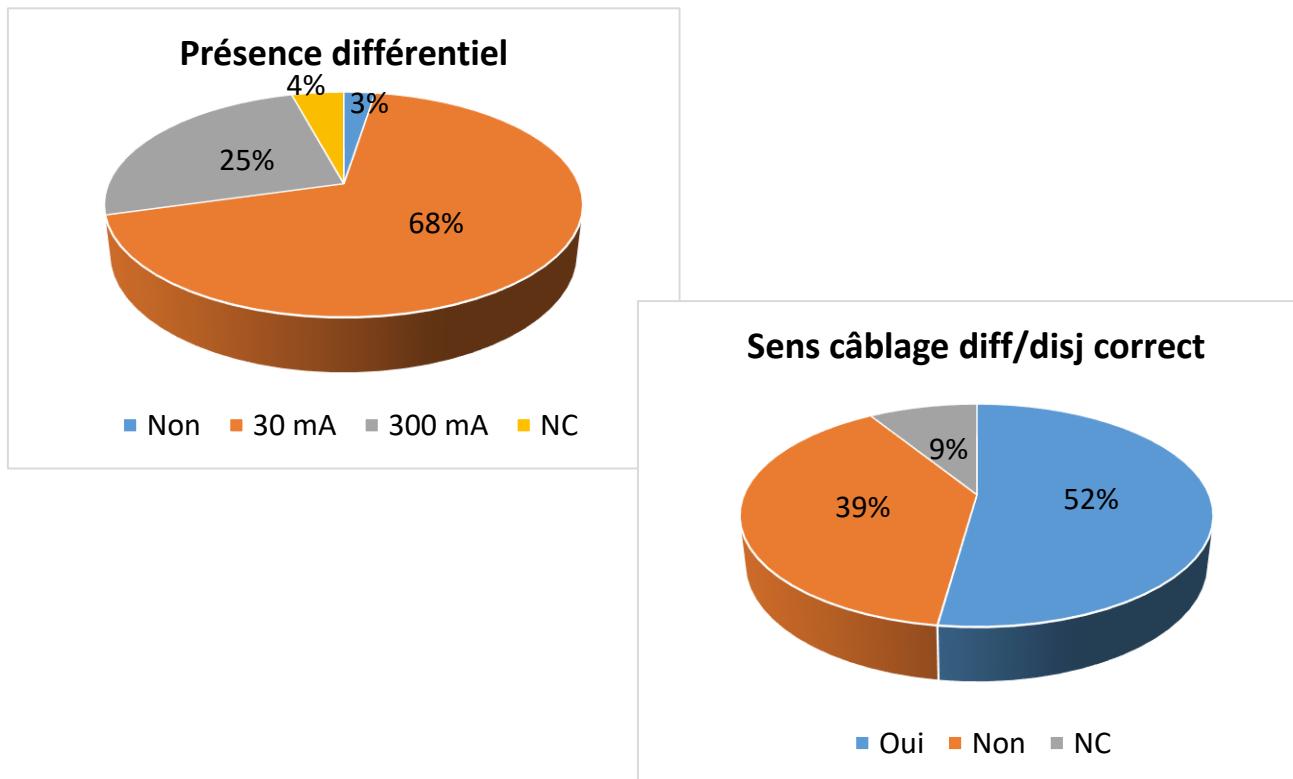
■ Bon ■ Passable ■ Mauvais



Qualité des installations photovoltaïques



Erreurs fréquentes, pas de différentiel ou mauvais câblage



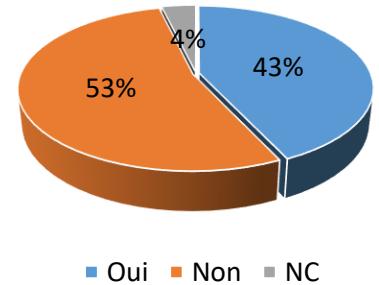
La règle d'usage veut des câbles hors tension en aval d'un disjoncteur lorsque celui-ci est ouvert.

Ici la personne risque l'électrocution au contact direct du réseau STEG.

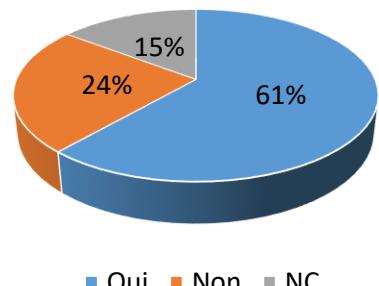
Connexions: embouts et dérivation



Bon serrage des borniers



Respect couleurs câbles AC





► Connecteur et sertissage

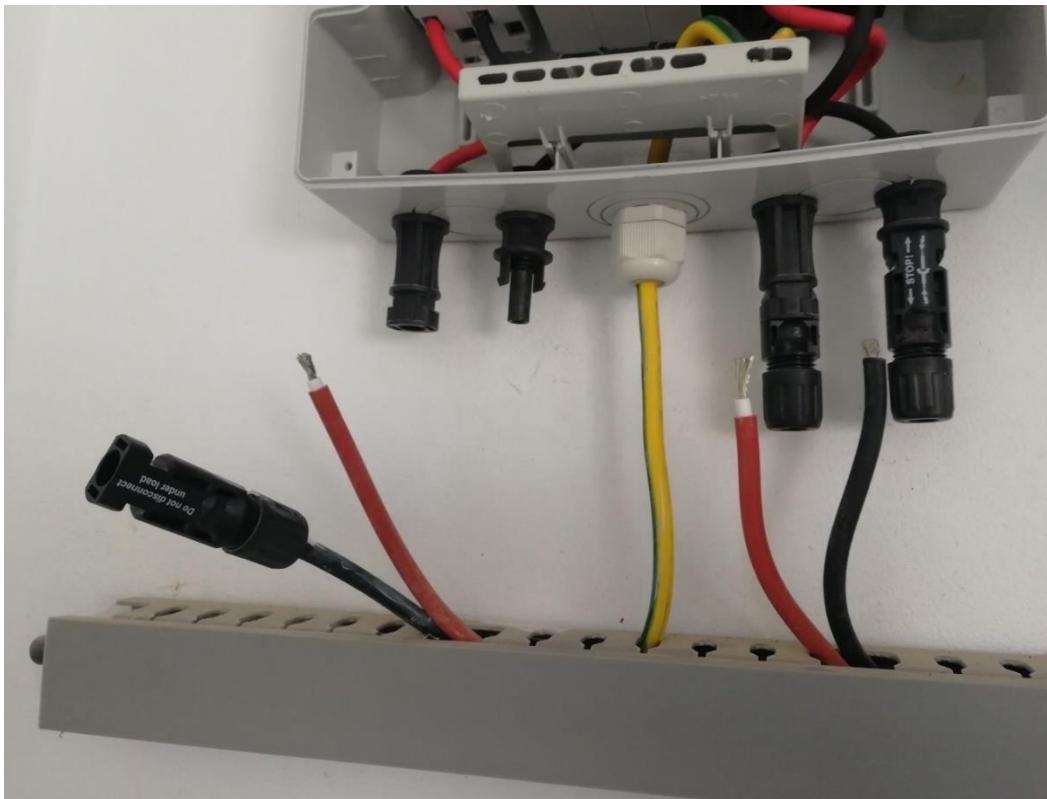
Le sertissage garantit la conduction électrique et la résistance mécanique dans le temps.

Sur de fines tôles, le cintrage élastique est complexe !

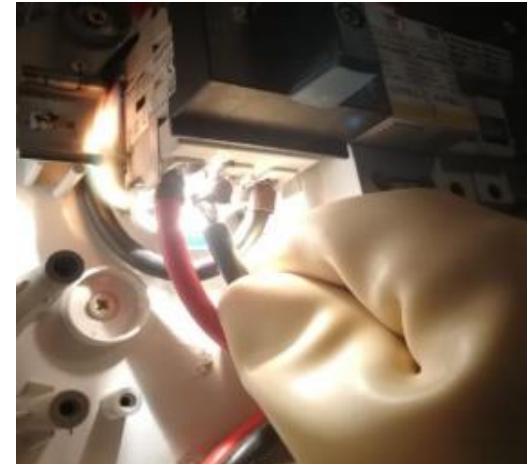




Sertissage à la multiprise

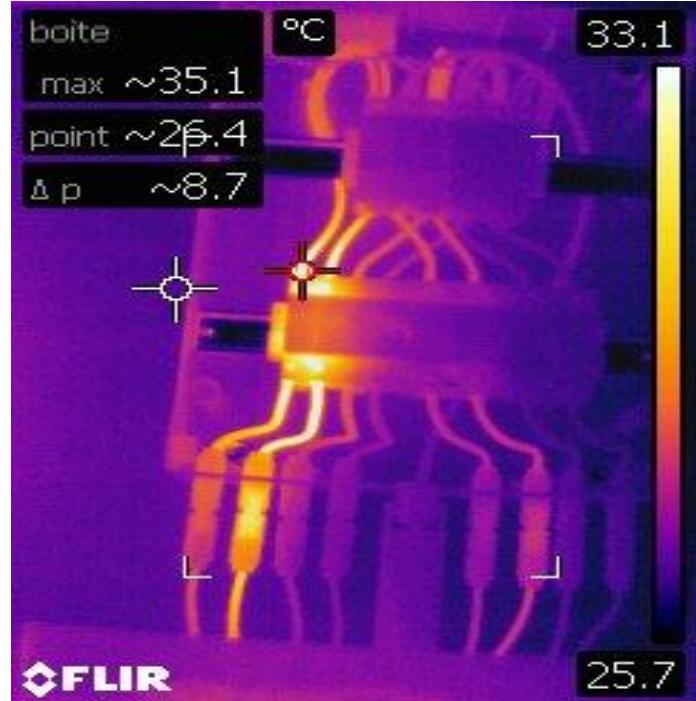


Contact résistif = échauffement = incendie ?

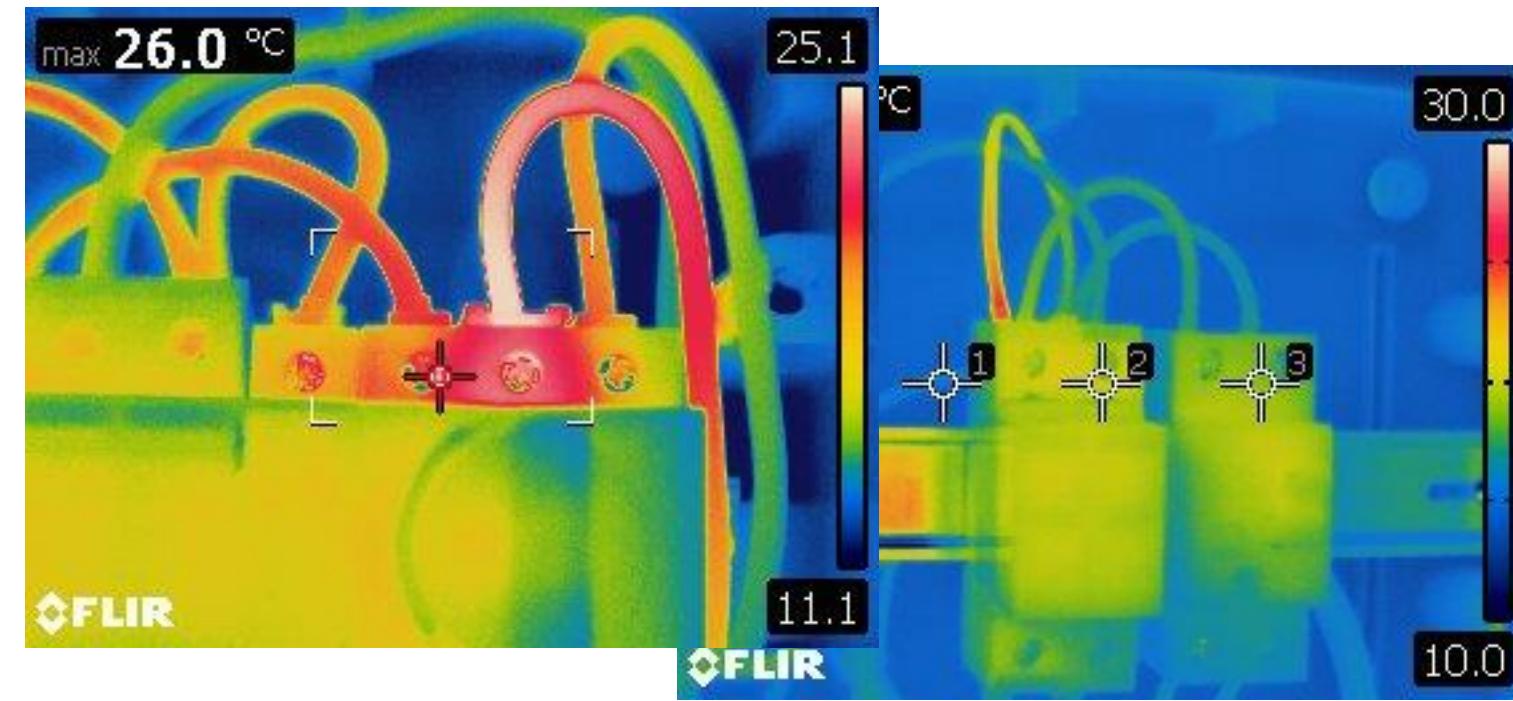


Autres points chauds

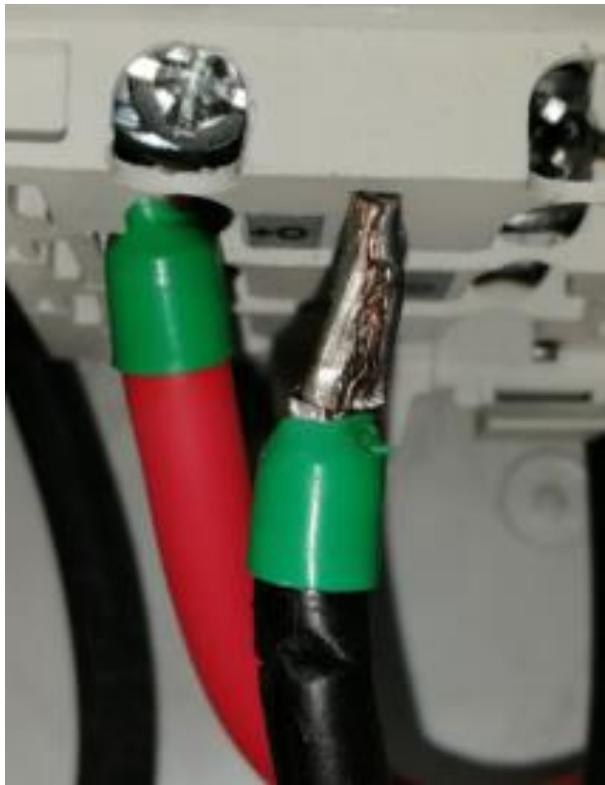
► Echauffement d'un câble



► Echauffement d'une connexion

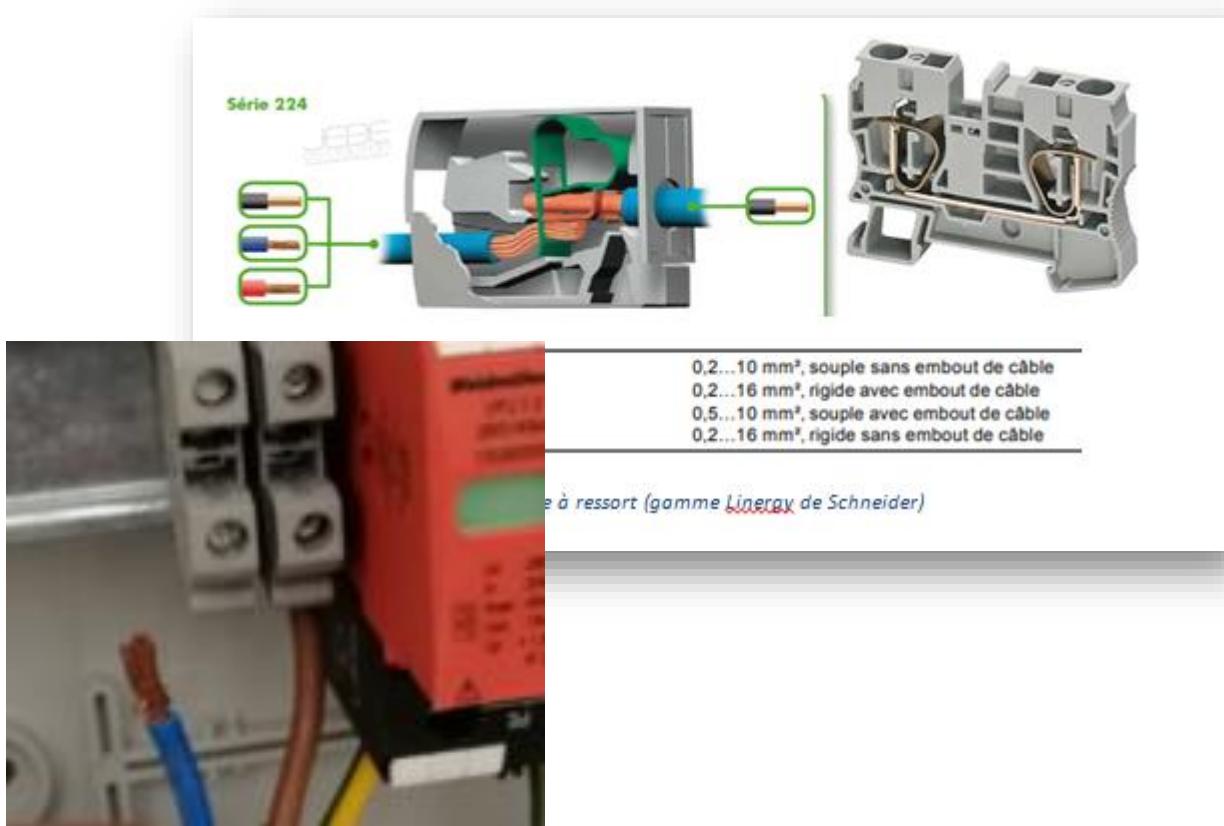


Sertissage à la multiprise

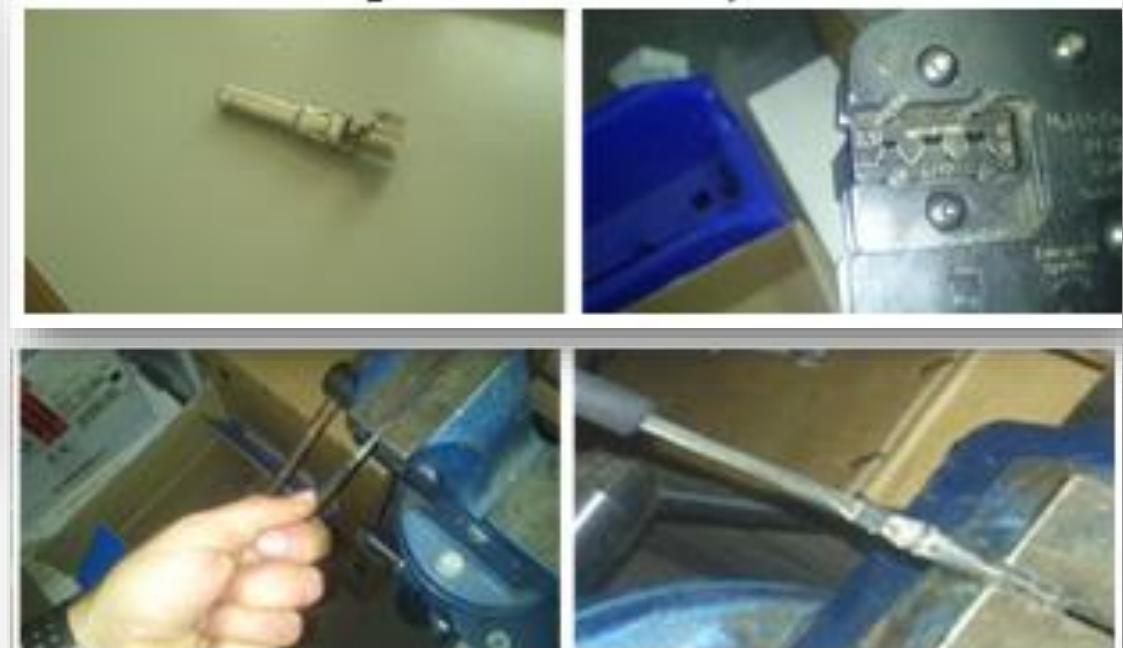


Coffrets DC/AC

- ▶ Bornes à ressort pour fil souple et rigide



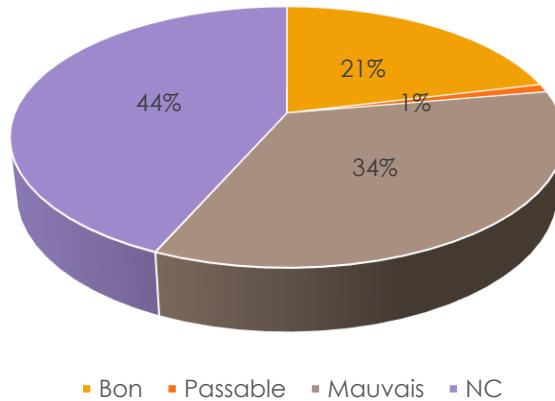
- ▶ Résistance à l'arrachement d'un connecteur serti à l'aide du bon outil !



Raccordement réseau

- **Catastrophique dans 60% des cas !**
- Matériel
 - Qualité médiocre, inadapté
 - Quantité défaillante
- Mise en œuvre
 - Non conforme
 - Connexions, respect couleurs, IP2X, sécurité des personnes...
 - Amateurisme profond

Bon raccordement réseau STEG

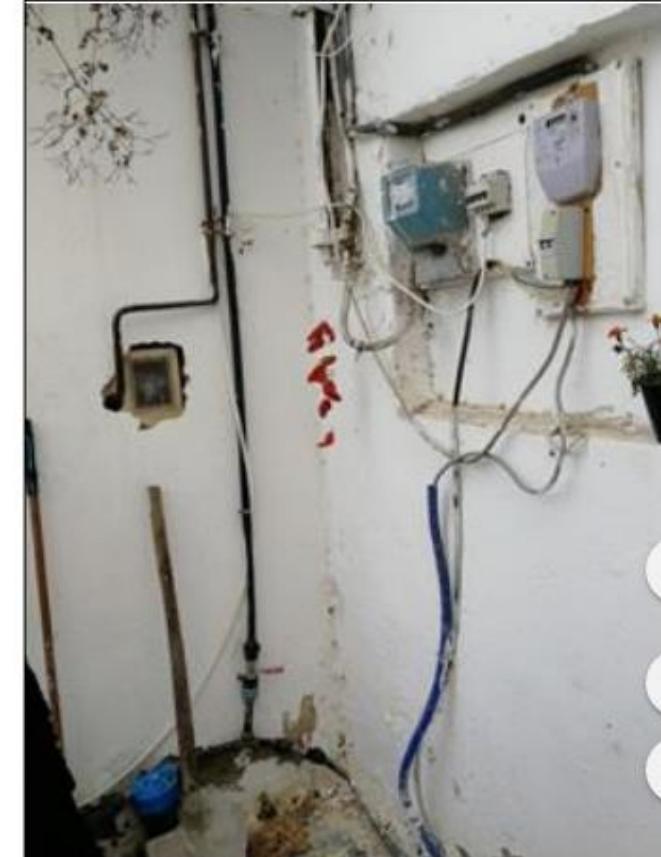


Le contraste classique

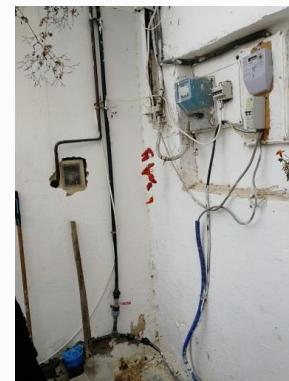
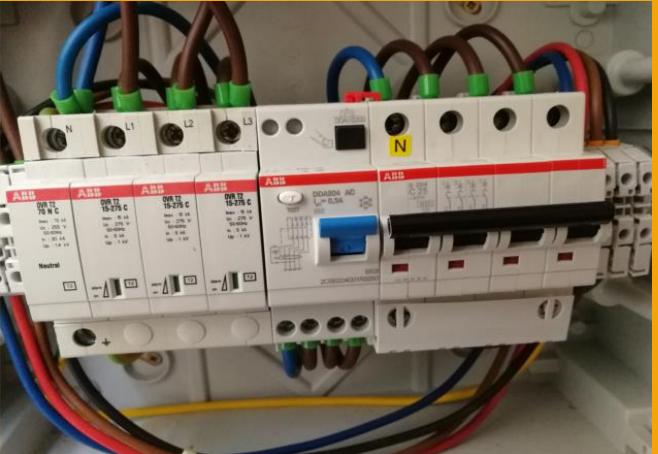
Installation PV



Raccordement STEG



Qualité coffrets PV vs coffrets STEG





► Problème de tension réseau

STEG: plan de tension, attention!!



- Message on display - Signal	Name of Derating and Cause
- LIMxxx% CODE:02 - ▲ Display symbol b6	<p>Power limitation for over-voltage:</p> <p>The message indicates that the user has set a power limitation due to over voltage (parameter U >(10 min)) in order to reduce the maximum output power of the inverter when the reading of the average grid voltage exceeds certain limits.</p> <p>The sampling of readings is done every 10 minutes (U>(10min)).</p> <p>LIM xxx% = Power reduction percentage</p> <p>Examples:</p> <p>LIM 100% = no power limitation</p> <p>LIM 50% = limitation to 50% of the output nominal power</p>

Energie Totale Vs tension

Ond1: 4599 kWh - V1 243 V

Ond2: 3817 kWh - V2 248 V

Ond3: 3629 kWh - V3 247 V



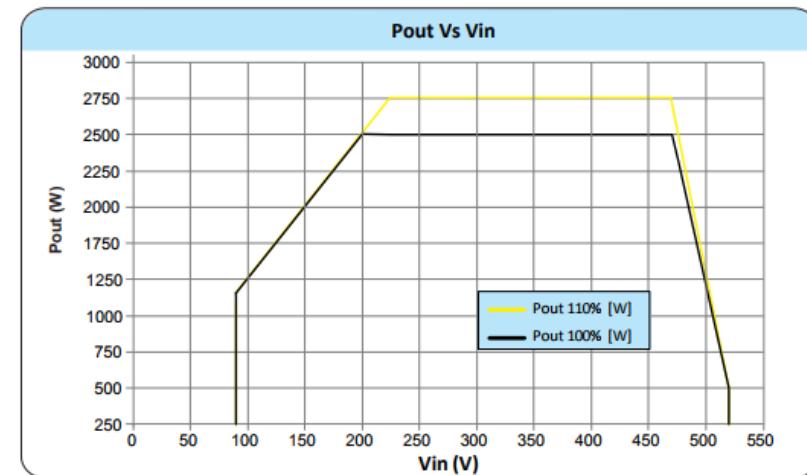
Perte de production évaluée à 47%



Pas de soleil : 250V



Soleil : 254 V



- ▶ Mise à la terre
et
- ▶ Liaison équipotentielle

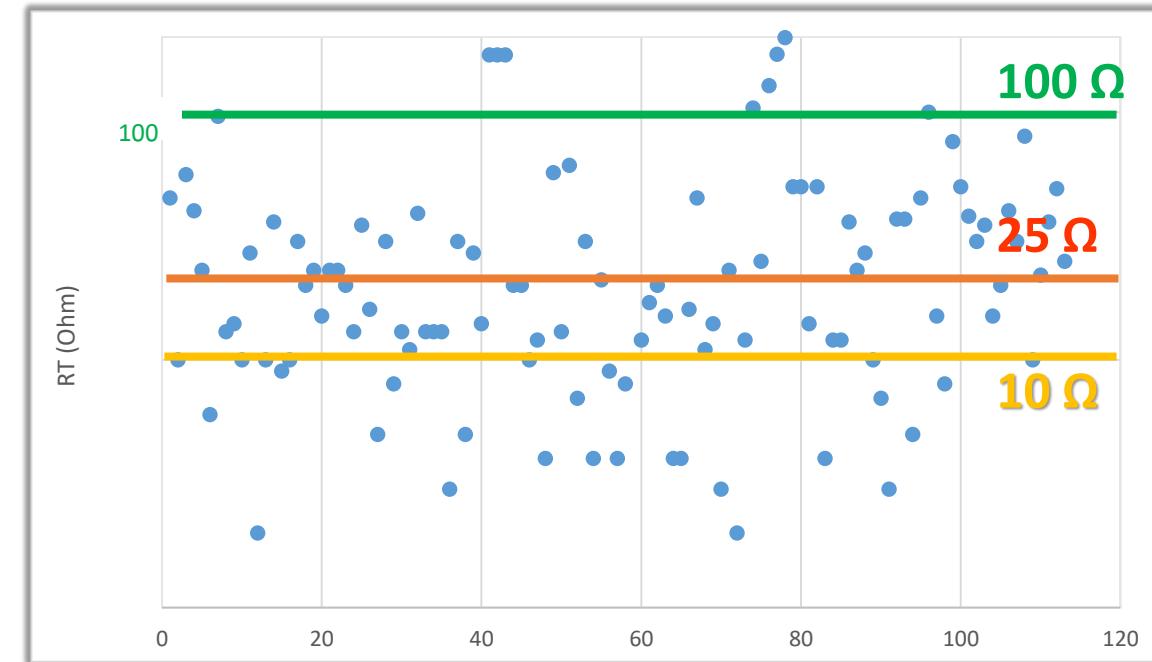
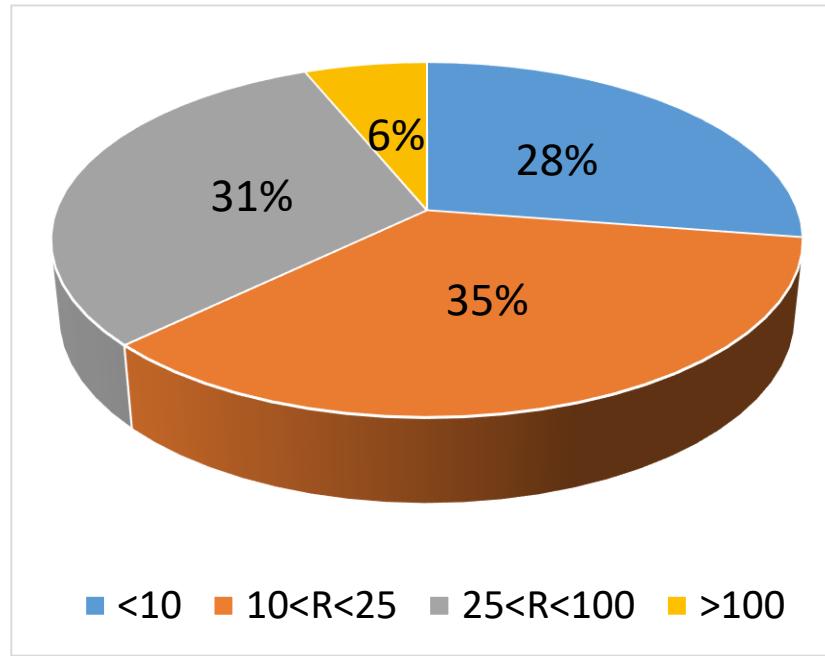
Mise à la Terre

- **Piquet de terre**
 - Qualité médiocre (piquet cuivre)
 - Exigence normative irréaliste dans le temps
 - Privilégier le piquet galvanisé
- Mise en œuvre
 - Bonne
- Connexion
 - Corrosion importante
 - Protection corrosion par graisse intéressante

Mise à la Terre

Valeur moyenne: $R_t = 36\Omega$

94 % des résistances de terre mesurées < 100Ω



Mise à la Terre

- Exiger une valeur extrême (10Ω) avec du matériel fortement dégradable ...



Piquet cuivre Neuf = 10Ω



*6 ans,
Priez de ne pas toucher !*



*1 an,
le cuivre rouille !?*

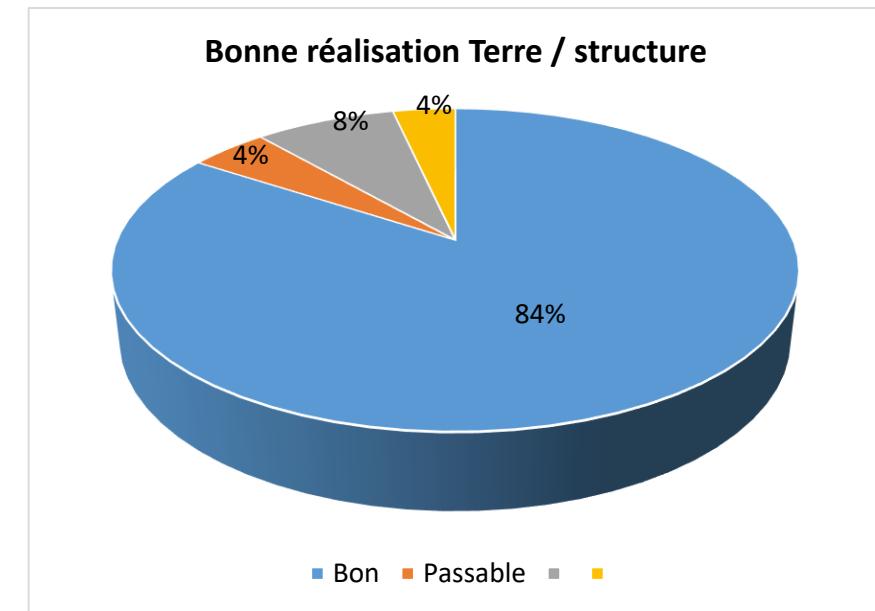


Retour d'expérience:
Graisse contact ou Piquet Galva,
Le résultat est là !



Liaison Equipotentielle des masses

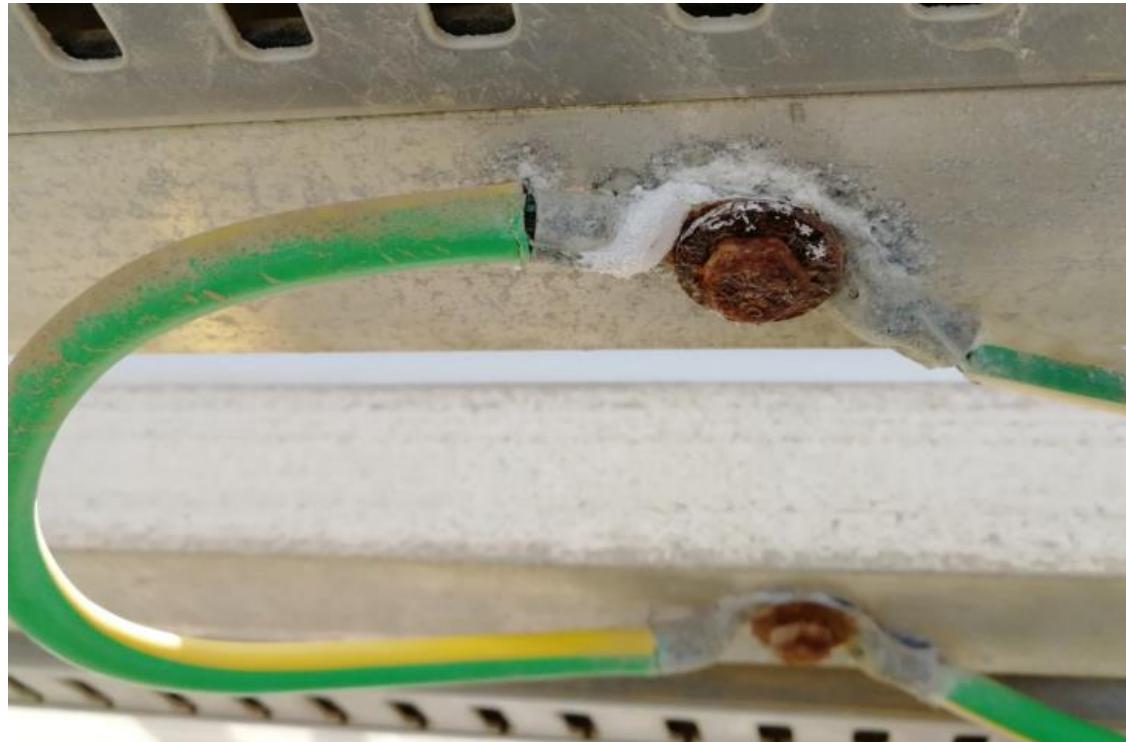
- **Beaucoup d'effort, de temps, de matériel, de coûts inutiles !**
 - Connexions du référentiel pertinentes, simplifications intéressantes
- Mise en œuvre
 - Bonne, simplification à venir
 - Utiliser les rails comme LEP (Liaison Equipotentiel Principale)
- Connexion
 - Corrosion importante couple galvanique entre métaux



Utilité de la liaison équipotentielle



Connexion corrosion ... combien de temps ça tient?



Attention aux couples
 électrolytiques!!

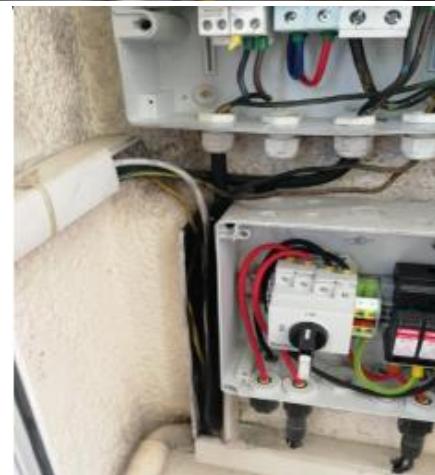
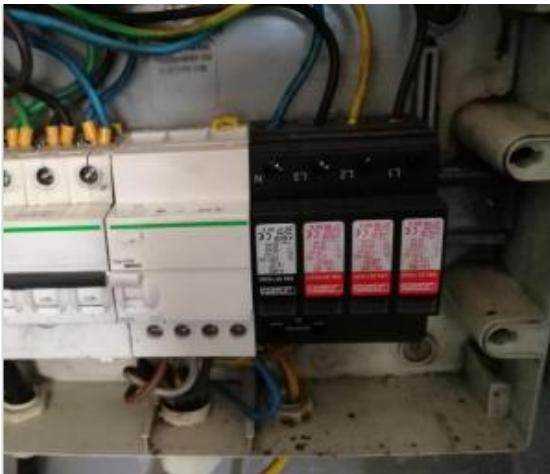
		Tableau des couples galvaniques entre quelques métaux et alliages (en millivolts)																		Electrolyte : eau + 2% de sel marin					
Métal A :	Platine	Le métal B est attaqué																		Contact pratiquement indifférent					
		Or	Inox passivé	Argent	Mercure	Nickel	Arcap	Cuivre	Bronze d'alu	Laiton	Bronze	Etain	Pb	Duralumin	Acier doux	Alpax H	Alu 99,5%	Acier dur	Duralinox	Cadmium	Fer pur	Almasilium	Chrome	Sn75-Zn25	
Platine	0	130	250	350	350	430	450	570	600	650	770	800	840	940	1000	1065	1090	1095	1100	1100	1105	1105	1200	1350	
Or	130	0	110	220	220	300	320	440	470	520	640	670	710	810	870	935	960	965	970	970	975	975	1070	1230	
Inox passivé	250	110	0	100	110	180	200	320	350	400	520	550	590	690	750	815	840	845	850	850	855	855	950	1100	
Argent	350	220	100	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	590	650	715	740	745	750	750	755	755	850	1010	
Mercure	350	220	110	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	590	650	715	740	745	750	750	755	755	850	1010	
Nickel	430	300	180	80	80	0	20	140	170	220	340	370	410	510	570	635	660	665	670	670	675	675	770	930	
Arcap	450	320	200	100	100	20	0	120	150	200	320	350	380	490	550	615	640	645	650	650	655	655	750	910	
Cuivre	570	440	320	220	220	140	120	0	30	80	200	230	270	370	430	495	520	525	530	530	535	535	630	790	
Bronze d'alu	600	470	350	250	250	170	150	30	0	50	170	200	240	340	400	465	490	495	500	500	505	505	600	760	
Laiton	650	520	400	300	300	220	200	80	50	0	120	150	190	290	350	415	440	445	450	450	455	455	550	710	
Bronze	770	640	520	420	420	340	320	200	170	120	0	30	70	170	230	295	320	325	330	330	335	335	430	590	
Etain	800	670	550	450	450	370	350	230	200	150	30	0	40	140	200	265	290	295	300	300	305	305	400	560	
Plomb	840	710	590	490	490	410	380	270	240	190	70	40	0	100	160	225	250	255	260	200	265	265	360	520	
Duralumin	940	810	690	590	590	510	490	370	340	290	170	140	100	0	60	125	150	155	160	160	165	165	260	420	
Acier doux	1000	870	750	650	650	570	550	430	400	350	230	200	160	60	0	65	90	95	100	110	105	105	200	360	
Alpax H	1065	935	815	715	715	635	615	495	465	415	295	265	225	125	65	0	25	30	35	35	40	40	135	295	
Alu 99,5%	1090	960	840	740	740	660	640	520	490	440	320	290	250	150	90	25	0	5	10	10	15	15	110	270	
Acier dur	1095	965	845	745	745	665	645	525	495	445	325	295	255	155	95	30	5	0	5	5	5	10	10	265	
Duralinox	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	260	160	100	35	10	5	0	0	5	5	100	260	
Cadmium	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	200	160	110	35	10	5	0	0	5	5	100	260	
Fer pur	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	105	40	15	10	5	5	0	0	95	255	
Almasilium	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	105	40	15	10	5	5	0	0	95	255	
Chrome	1200	1070	950	850	850	770	750	630	600	550	430	400	360	260	200	135	110	105	100	100	95	95	0	25	
Sn75-Zn25	1350	1230	1100	1010	1010	930	910	790	760	710	590	560	520	420	360	295	270	265	260	260	255	255	25	0	
Zinc	1400	1270	1150	1050	1050	970	950	830	800	750	630	600	560	530	400	335	310	305	300	300	295	295	200	40	
Magnésium	1950	1820	1700	1600	1600	1520	1500	1380	1350	1300	1180	1150	1100	1010	950	885	860	855	850	850	845	845	750	590	

(Source : SER-COPREC)



► Foudre

$2 / 130 = 1,5\%$



- 1- Erreur réseau (phase sur neutre)
- 2- Surtension atmosphérique retour réseau
→ Aucun retour sur DC

Niveaux kérauniques en Tunisie

Note - Pour obtenir la densité de foudroiement correspondante (N_k), il suffit de diviser N_{K} par 10.



Type d'installation	Locaux d'habitation individuelle	Centrale de production au sol	Bâtiments Tertiaires/Industriels/Agricoles
L_{crit} (en m)	$115/N_k$	$200/N_k$	$450/N_k$
$L \geq L_{\text{crit}}$	Parafoudre(s) obligatoire(s) côté d.c. ⁽¹⁾		
$L < L_{\text{crit}}$	Parafoudre(s) non obligatoire(s) côté d.c. ⁽²⁾		

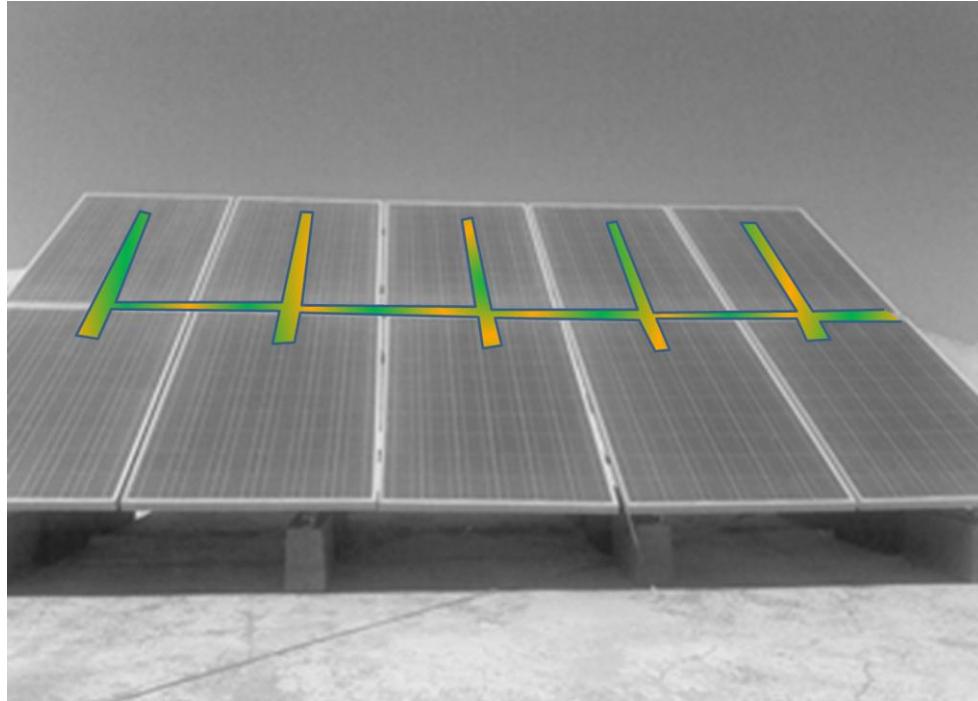
(1) La mise en œuvre de parafoudres peut ne pas être indispensable dans le cas où tous les câbles d.c. sont protégés par des enveloppes métalliques assurant un écran réduisant les effets électromagnétiques.

(2) L'utilisation de parafoudres peut également être nécessaire pour la protection d'installations photovoltaïques dont le coût et l'indisponibilité peuvent être critiques.

URE 17 : EXTRAIT DU CHAPITRE 13 DE LA NF C15-712-1 RELATIF AUX CONDITIONS D'INSTALLATION DES PARAFOUDRES
COTE DC

Sauf régions fortement exposées (indice Kéraunique > 25, régions en jaune) ces protections ne semblent pas justifiées sur les installations de petites puissances ($P_c < 5\text{kW}_c$), ce suréquipement entraînant plus de non conformités que de sécurité

Petit calcul pour situer les propos



L'amplitude du courant de foudre rapidement variable engendre un champ magnétique dont la variation donne lieu à une induction dans une boucle traversée par ce champ (Loi de Lenz).

- ▶ La tension induite dans la boucle de surface S de la figure ci-jointe est donnée par la formule suivante:

$$U = 2 \times 10^{-7} \cdot S \cdot r \cdot di/dt$$



- ▶ avec r, distance entre le point d'impact et le centre de la boucle
- ▶ S la surface de la boucle
- ▶ Plus la surface de boucle st grande, plus la surtension U est importante

Exemple 1, pour une surface de 10 m^2 et un coup de foudre de pente $50 \text{ kA}/\mu\text{s}$, tombant à 20 mètres, la surtension induite en mode commun sur la liaison signal sera de 5 kV environ ce qui correspond à la tenue au choc (U_w) fréquent des onduleurs

D'après l'exemple 1 appliqué à une mise en œuvre classique (photo ci contre) nous pouvons estimer une boucle d'induction résiduelle significative pour 100 modules [$10\text{m}^2/0,1\text{m}^2$].

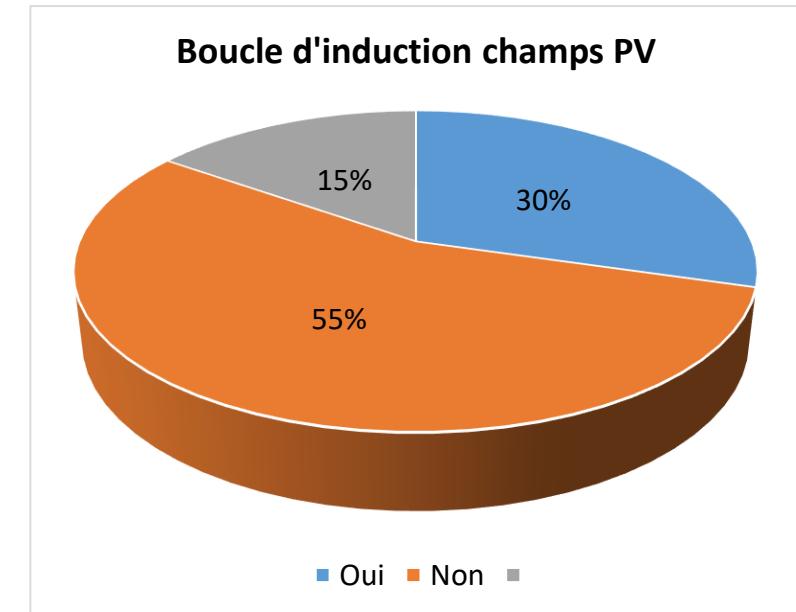
Si on ajoute un facteur 5 de sécurité, le risque apparaît pour 20 modules.

En supposant des modules standards de 250Wc, la mise en place de parafoudre semble fortement recommandé à partir de 5kWc.



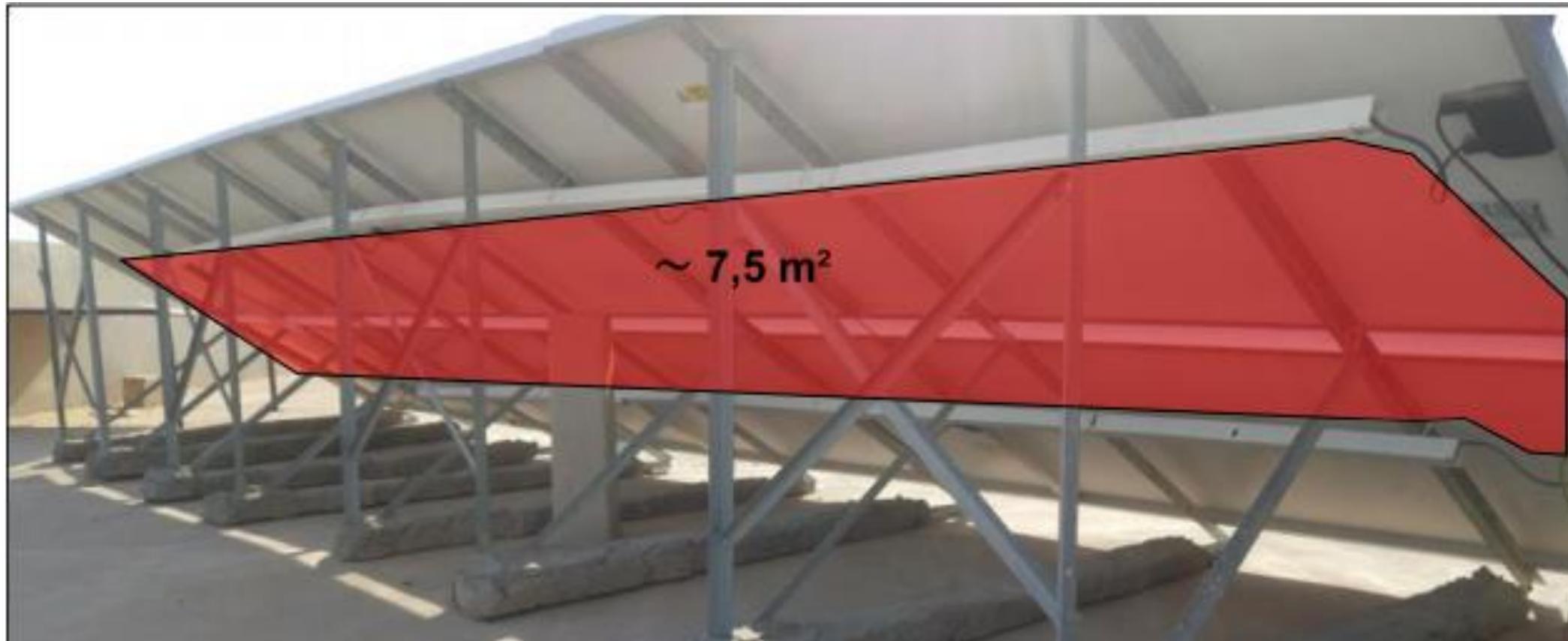
Boucle d'induction

- **Problématique travaillée mais pas toujours solutionnée**
- Boucle entre polarités
 - Pose des module tête bêche: une solution simple et pratique
 - **Schéma de câblage sur site inexistant**
- Boucle entre polarités et terre
 - Toujours faire cheminer polarité et terre dans le même conduit de liaison
- Connexion
 - Corrosion importante couple galvanique entre métaux



Boucle d'induction

!!! Très grande boucle à induction !!!

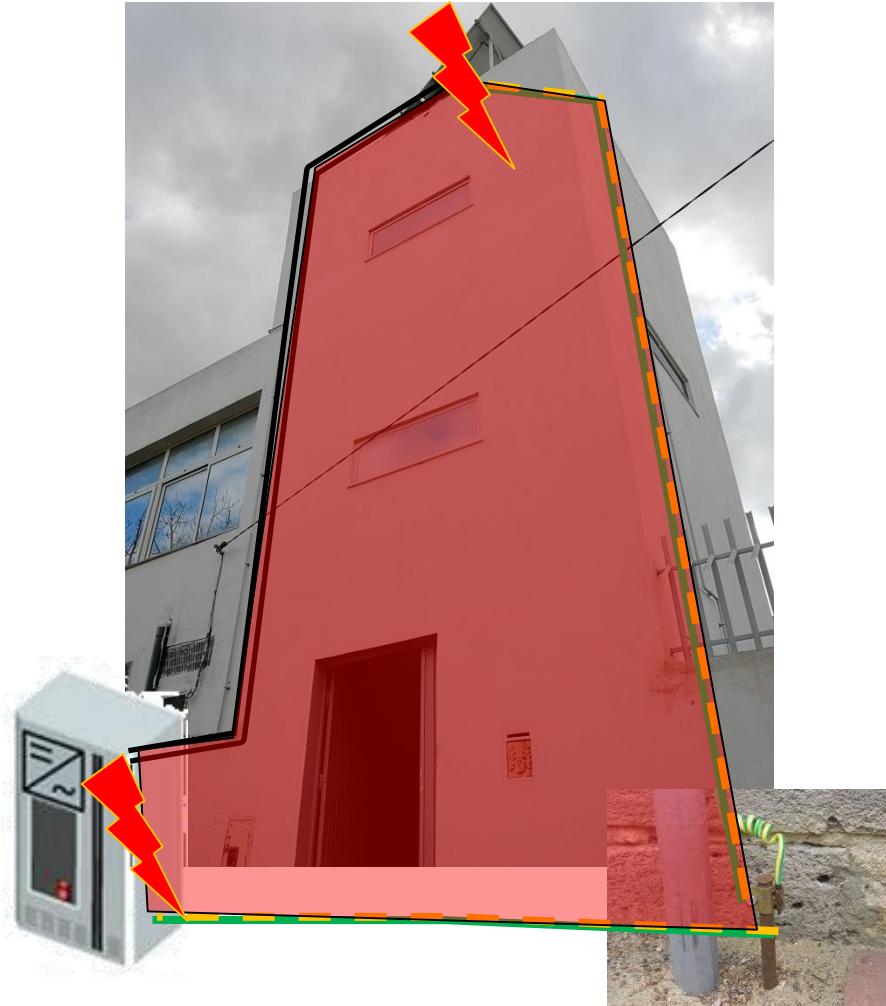


Boucle d'induction

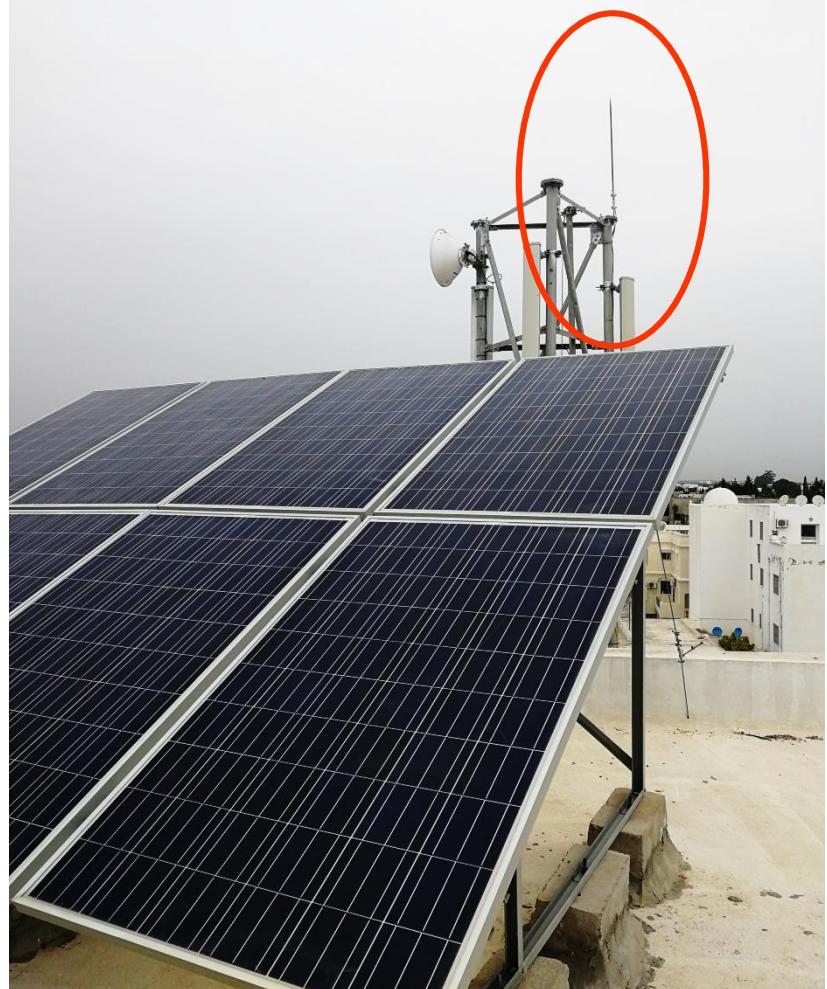


Boucle d'induction

Polarité et LEP conjointes, sinon...



Faire attention à son environnement



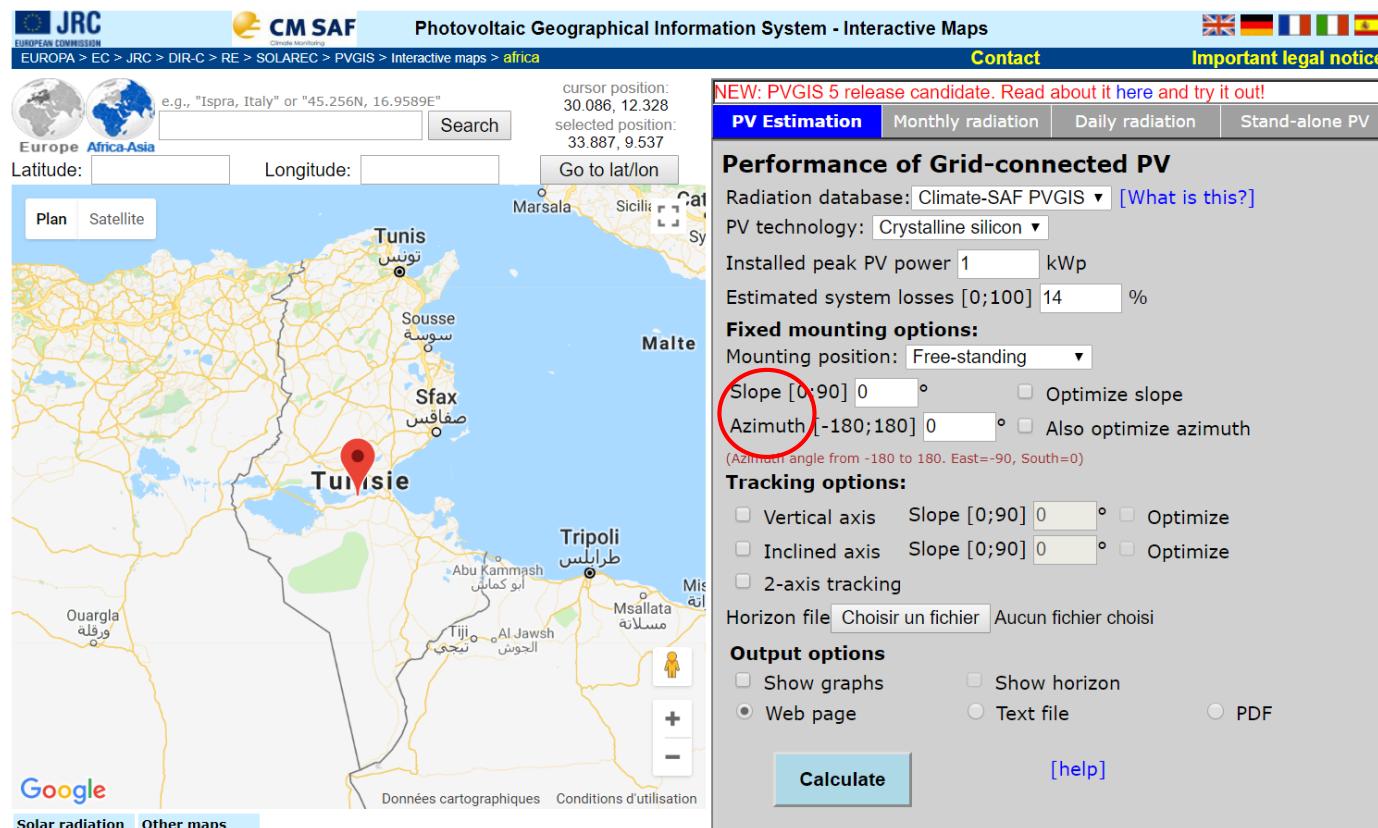
- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
 - * Cadre technique et législatif
 - * Points de contrôle et de mesures
 - * Performance énergétique
 - * Rentabilité économique
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

$$\text{Performance énergétique} = \frac{\text{ce que l'installation produit}}{\text{ce que l'installation devrait produire}} \quad \begin{matrix} \leftarrow \\ \text{(Dans les mêmes conditions)} \end{matrix}$$

Valeur lire sur l'écran de l'onduleur le jour J

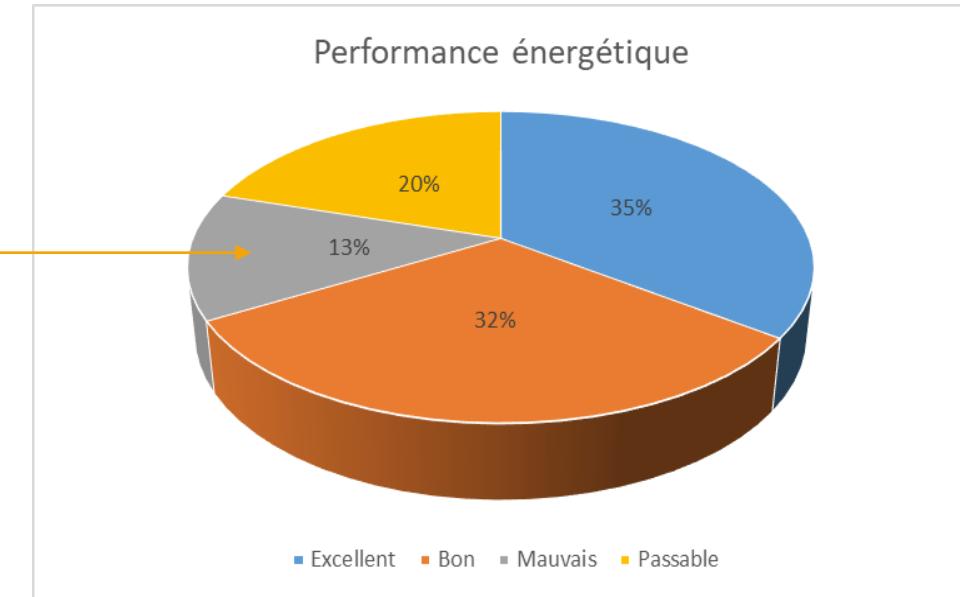
Valeur simulée par PVGIS dans les mêmes conditions

[http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?
map=africa](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa)

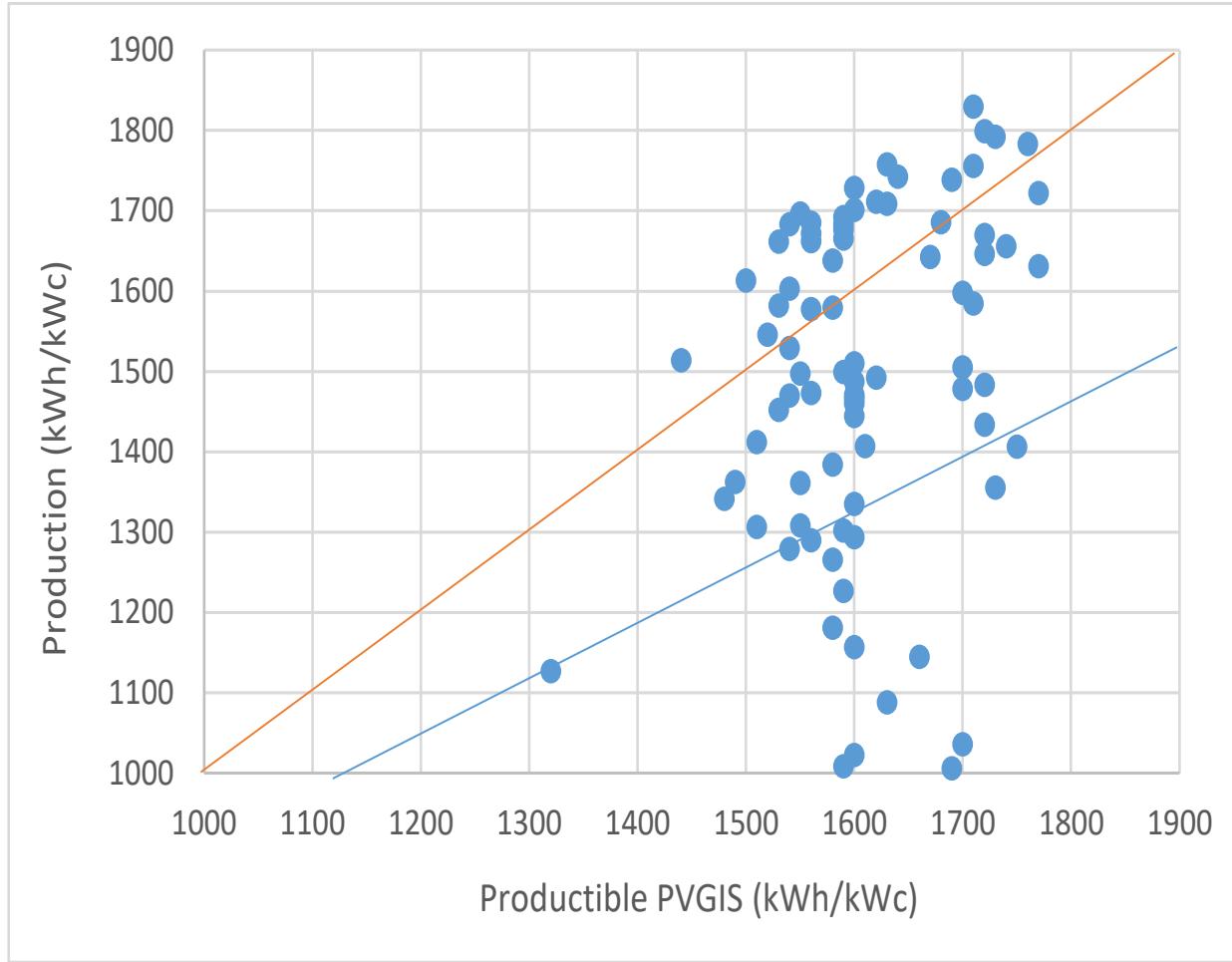




- Salissure des modules
- Mauvaise exposition
- Onduleurs tombés en panne
- Ombrage très proche

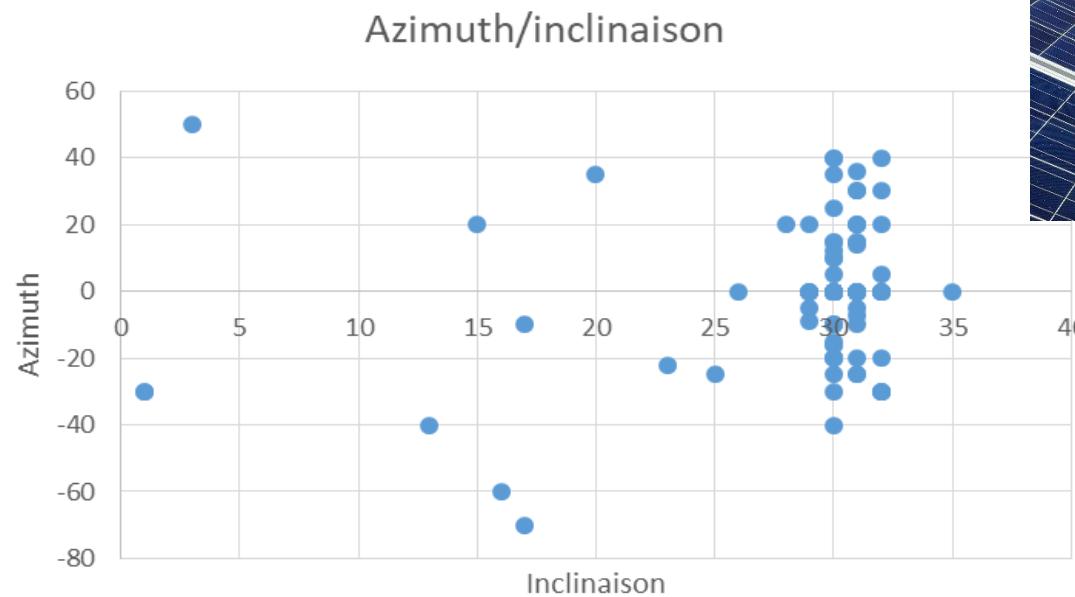


Excellent: performance >100%
 Bon: performance > 90%
 Passable: performance > 80%
 Mauvais: performance < 80%





► Exposition des modules



Production fonction de l'exposition



- ▶ Pertes en fonction de l'inclinaison pour un azimut optimal (plein sud)
 - ▶ $45^\circ 1570 \rightarrow -2\%$
 - ▶ $40^\circ 1590$
 - ▶ 33° (plein sud) $1600\text{kWh/kWc à Tunis}$
 - ▶ $25^\circ 1590$
 - ▶ $20^\circ 1570 \rightarrow -2\%$
 - ▶ $15^\circ 1540$
 - ▶ $10^\circ 1510 \rightarrow -6\%$
 - ▶ <10°problème d'encrassement

Estimation PV Gis

Un abaissement de l'inclinaison des modules permet:

- de réduire la prise au vent
- satisfaire une contrainte de charge admissible par la toiture
- éviter les ombres portées (sur une autre rangée de modules)
- d'augmenter la puissance installée

Pose horizontale (<10°) à proscrire (encrassement des modules)

Production fonction de l'exposition



► Pertes en fonction de l'azimut pour une pente optimale

- 0° (plein sud) 1600kWh/kWc à Tunis
- 10° 1600 kWh/kWc
- 15° 1590
- 20° 1580
- 25° 1570
- 30° 1560 → -2,5 %

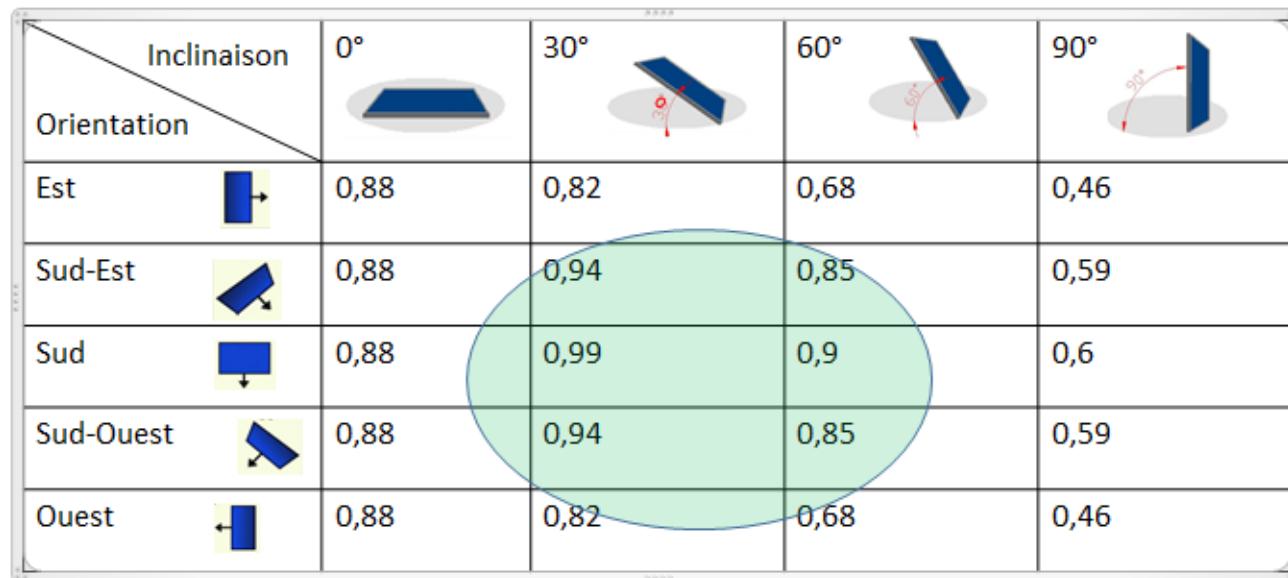
Estimation PV Gis



A propos, les paraboles ne sont pas toujours plein Sud!!



Synthèse exposition des modules



Une zone assez large est possible

- Le client doit être informé de la perte engendrée par une simulation type PVGis à minima.
- Cette orientation est à nuancer en particulier avec le masque solaire du site.
- Attention à l'encrassement des modules sur des inclinaisons faibles (<10%)
- Précaution lorsque l'exposition et l'orientation ne sont pas optimales
- Exemple:

Incl 15° Az 45° perte? → 7 à 8 %

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa>



► Gisement solaire et Ombrage

Diagramme solaire

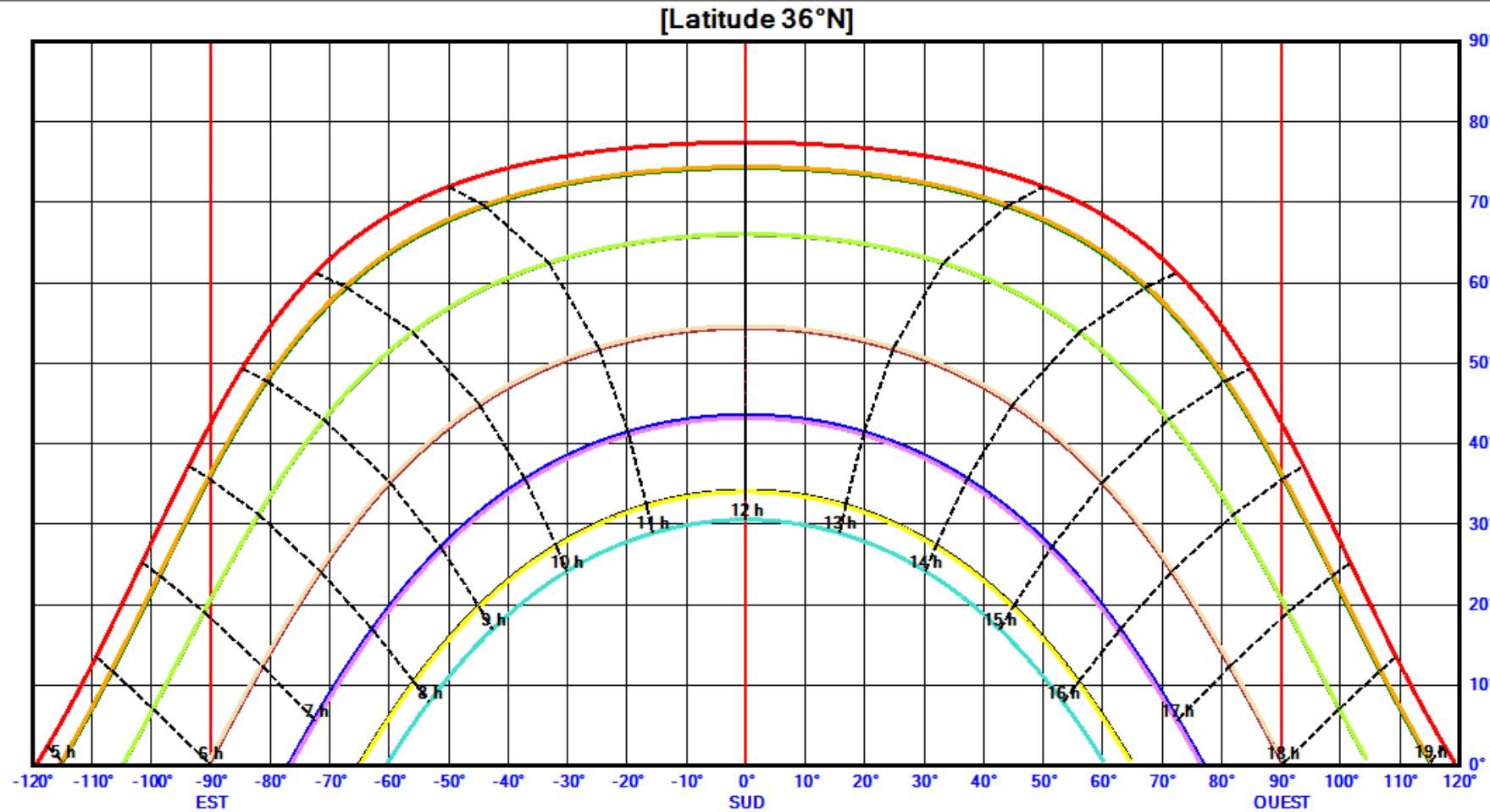
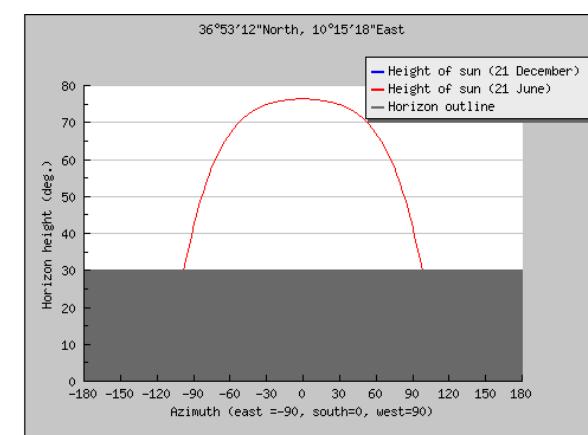
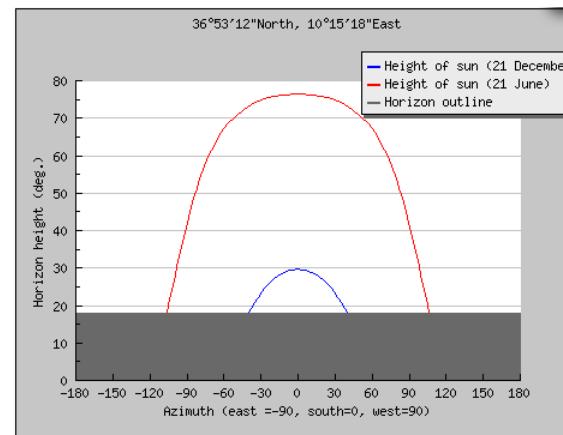
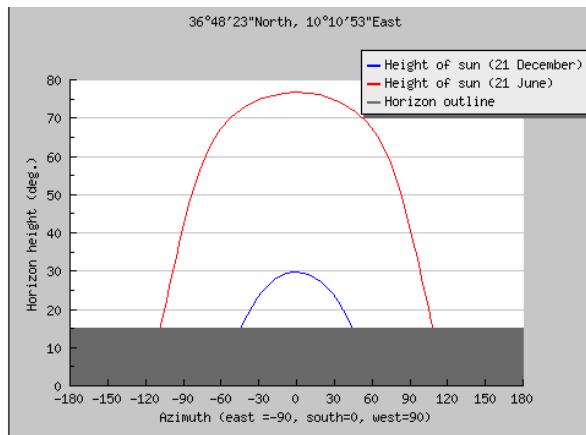


Diagramme solaire

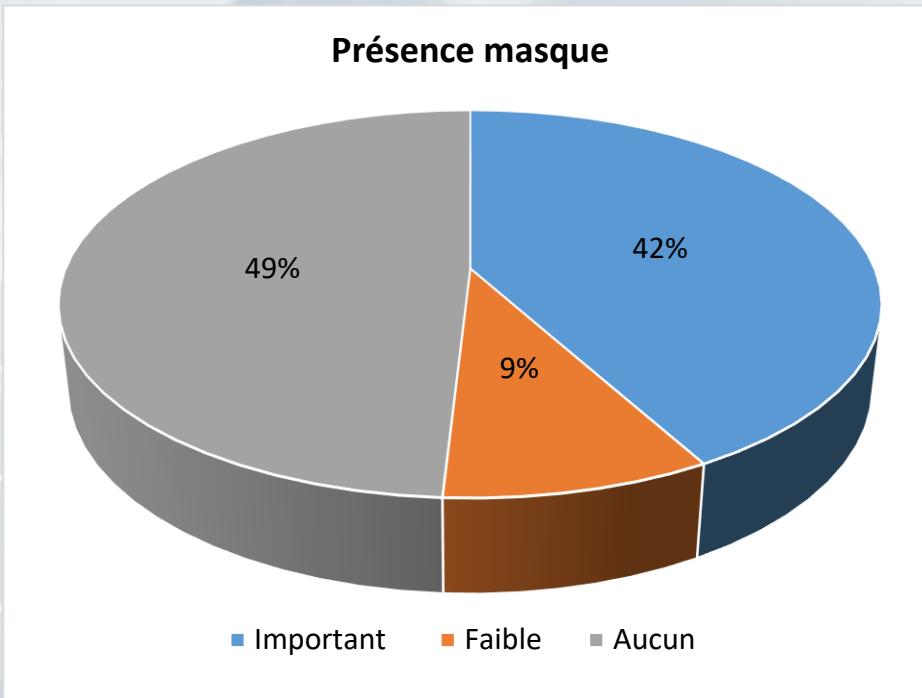
Masque proche: distance d'écartement

- ▶ D=4h
- ▶ Ombrage 15°
- ▶ 1560/1600 → 3% de perte
- ▶ D=3h
- ▶ Ombrage 18°
- ▶ 1530/1600 → 4% de perte
- ▶ D=2h
- ▶ Ombrage 30°
- ▶ 1300/1600 → 19% de perte



Remarque: valeur indicative pour un ombrage total est à 360°

► Ombrage proche à l'horizon



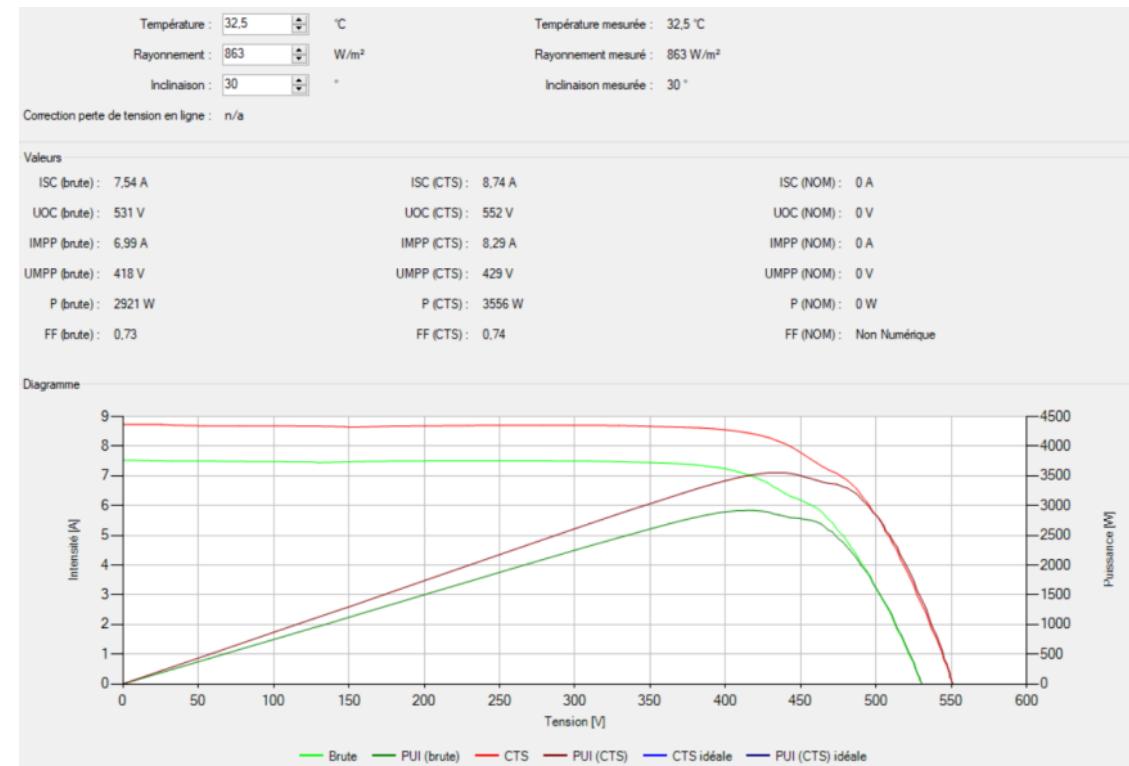
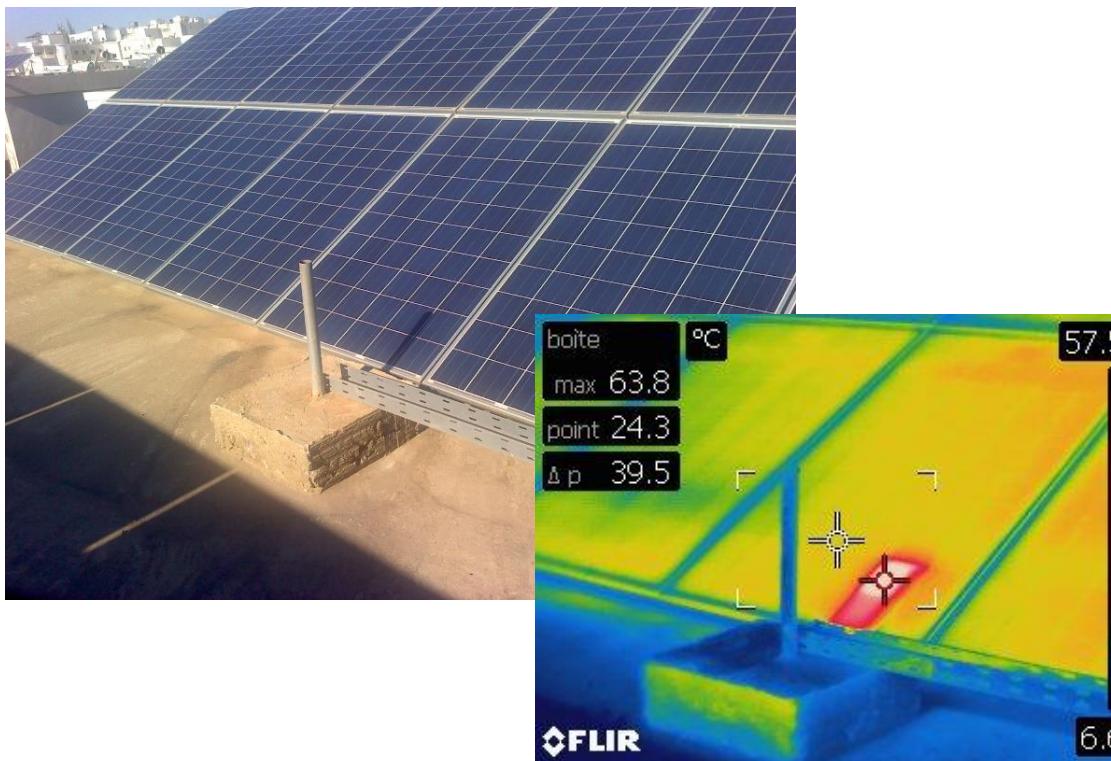
Ombrage proche

Petit ombrage sans activation de diode by-pass



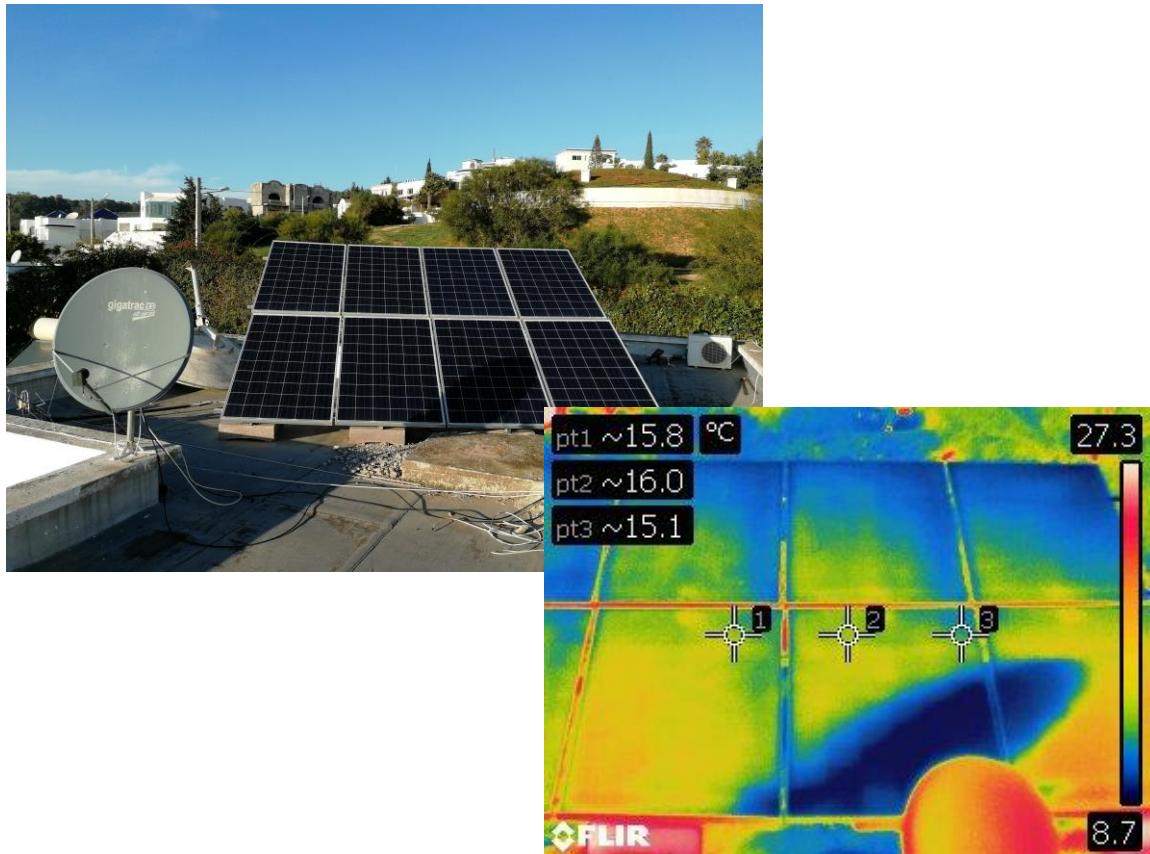
Ombrage proche

Petit ombrage sans activation de diode by-pass



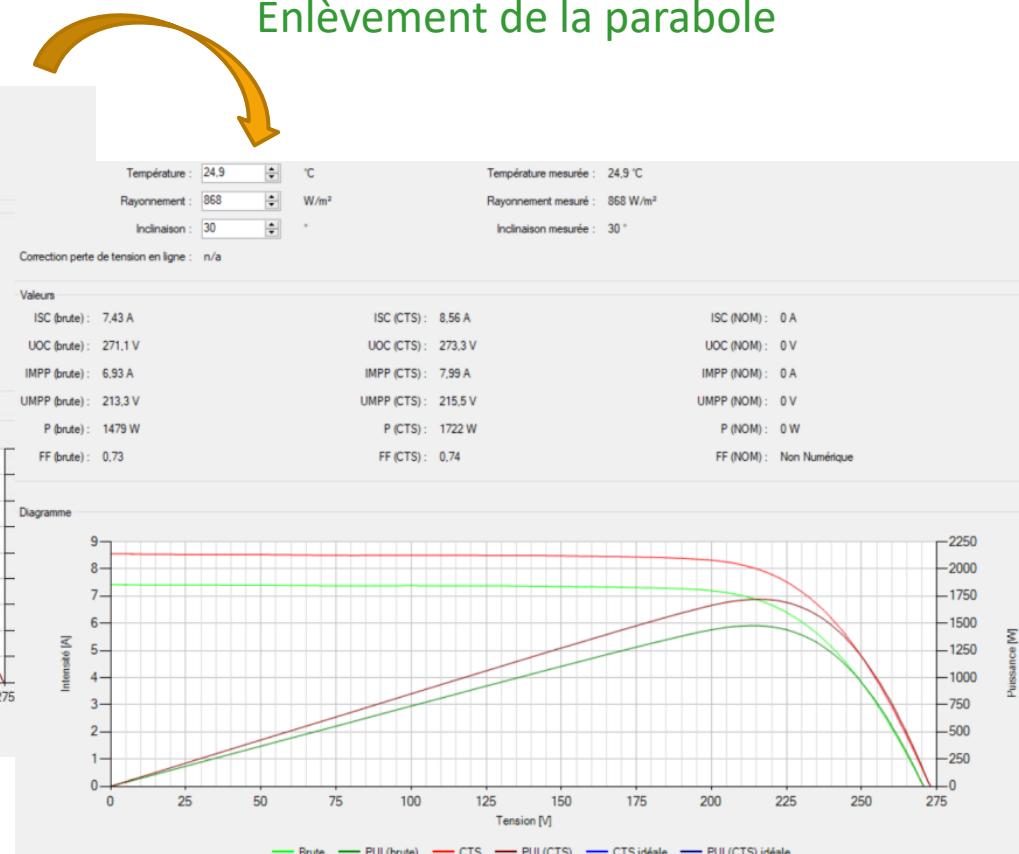
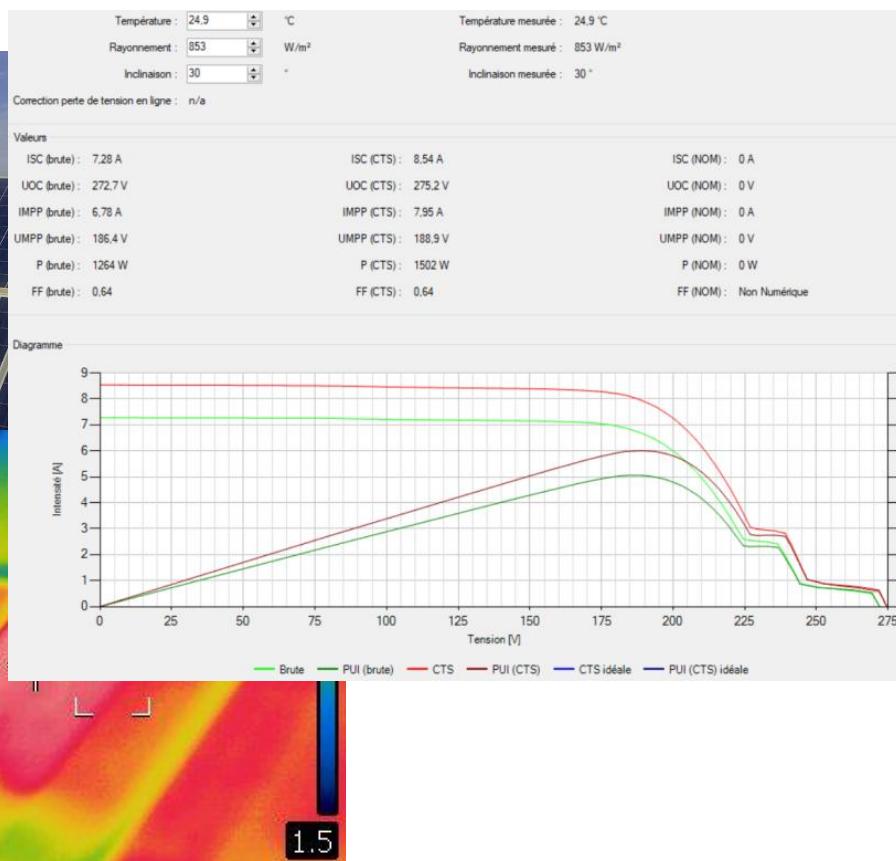
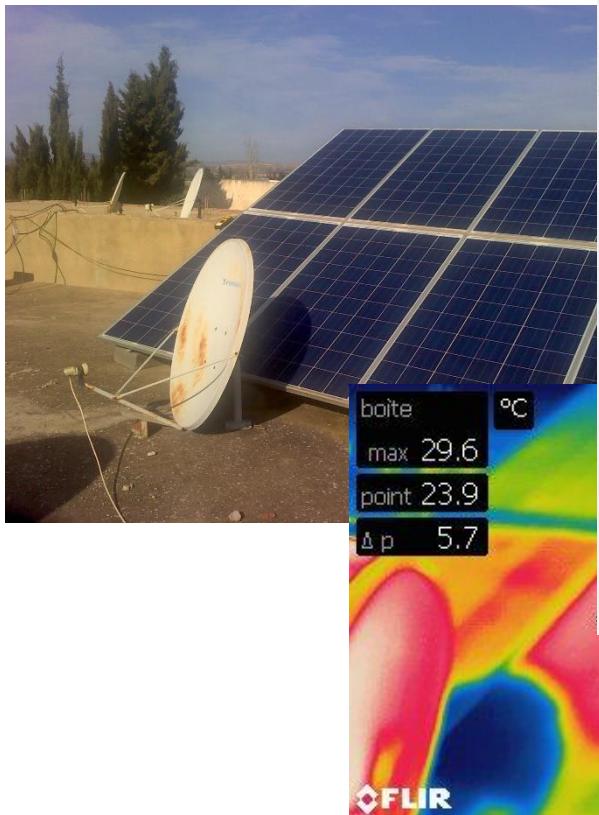
Ombrage proche

Ombrage conséquent, activation des diodes by-pass



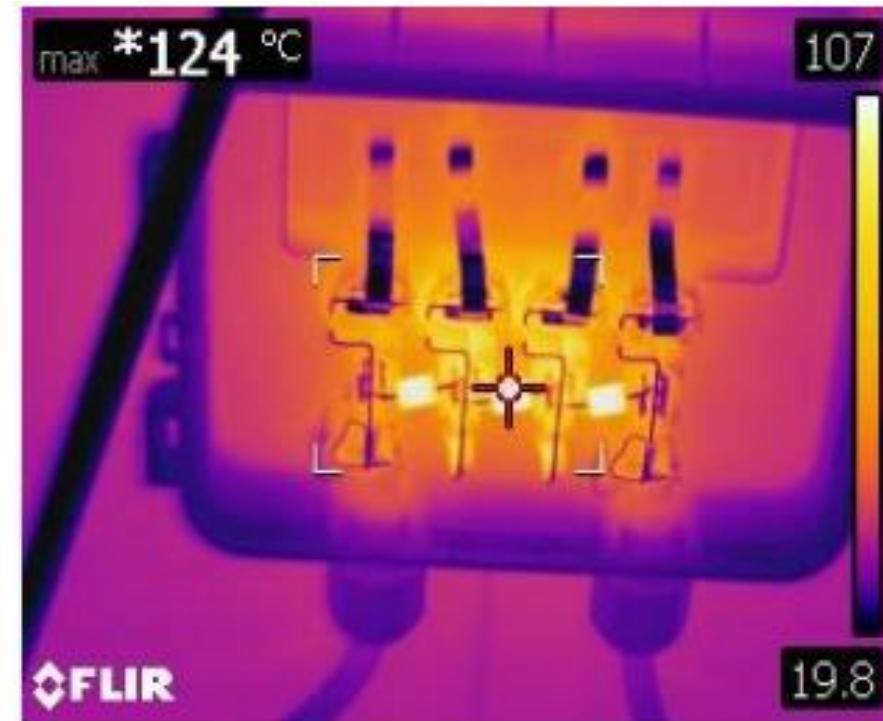
Ombrage proche

Ombrage conséquent, activation des diodes by-pass



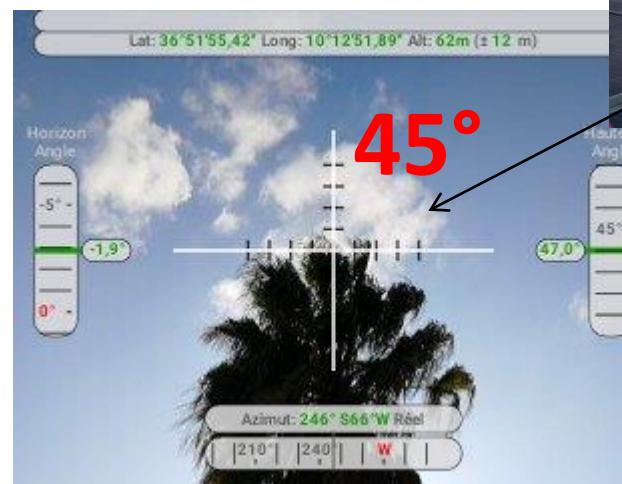
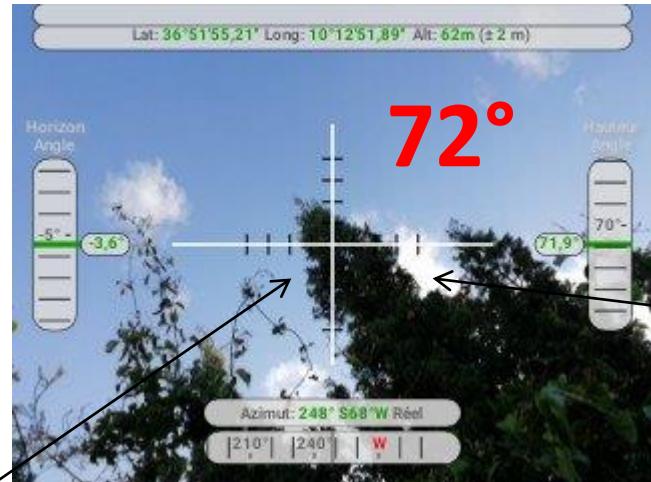
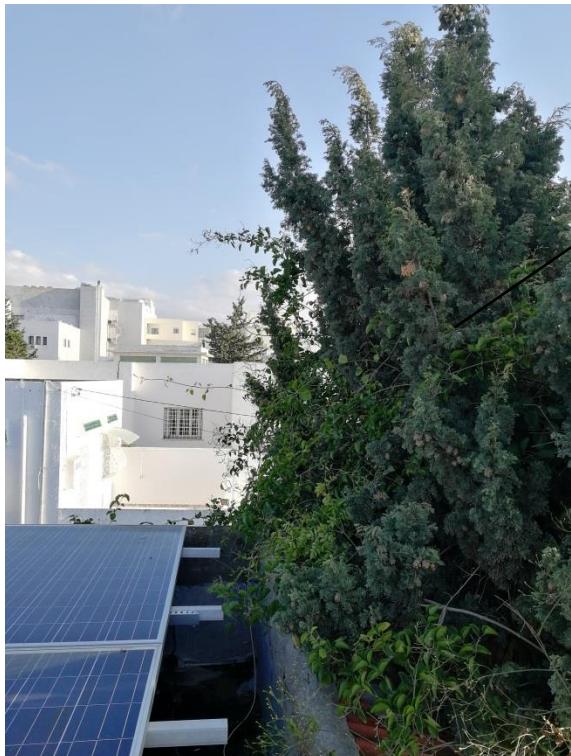
Ombrage proche

Ombrage régulier ... diode sollicitée ... pour quelle durée?

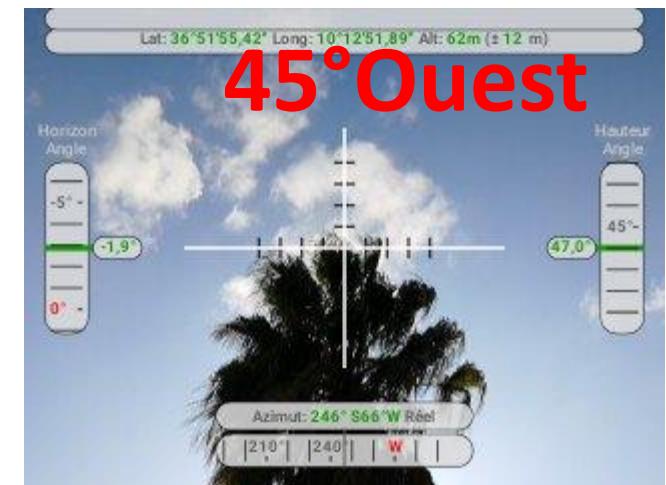


Ombrage proche

Attention à la végétation !!!



Ombrage proche





► Maintenance et reporting

Maintenance des systèmes PV



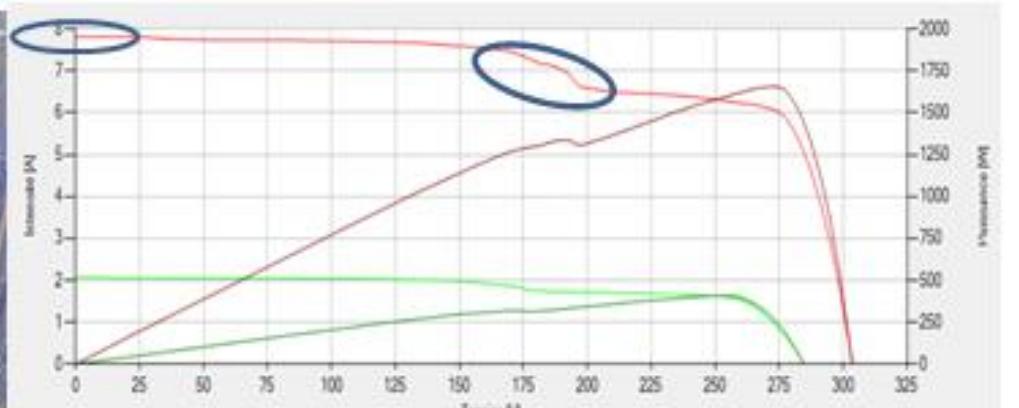
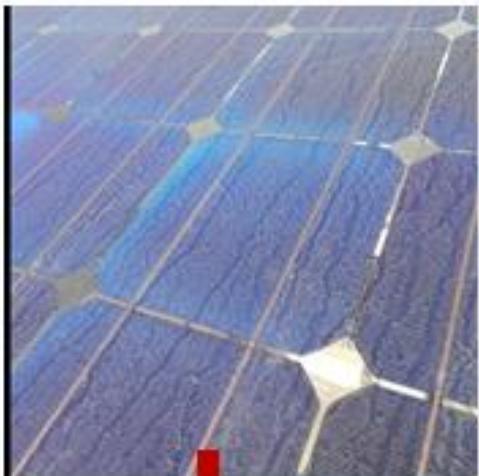
➤ Maintenance périodique,

- Ex: Resserrage des borniers à vis la première année
- Inspection des modules, câbles structure à 4,5 ans
- Nettoyage des modules régulièrement (en fonction de l'encrassement)

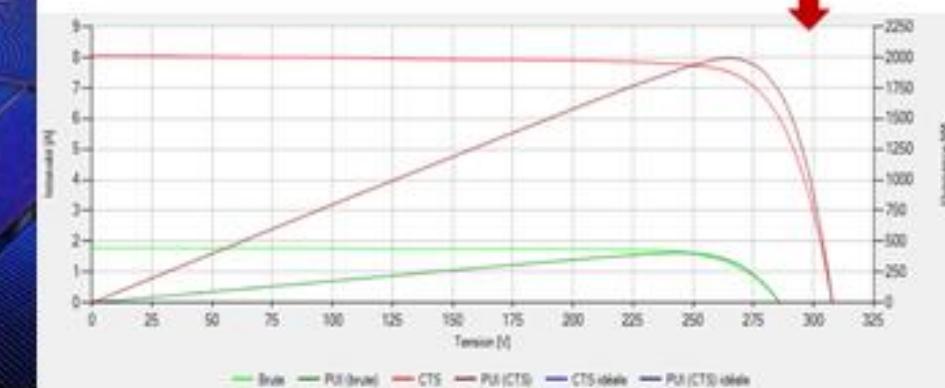
➤ Maintenance corrective

- Suite à une panne ou perte de production → nécessité d'un suivi de production

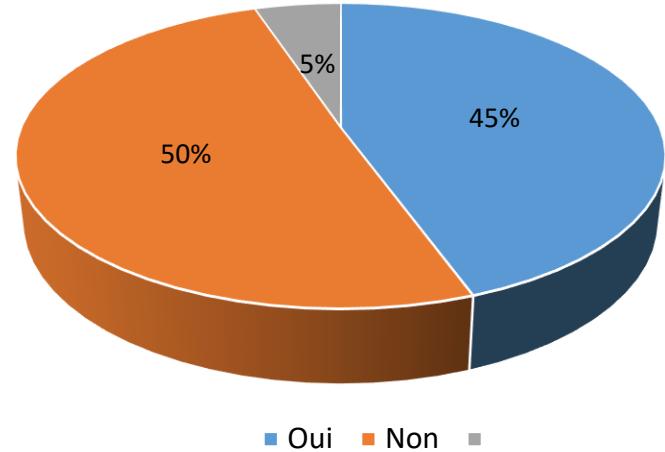
Nettoyage des modules



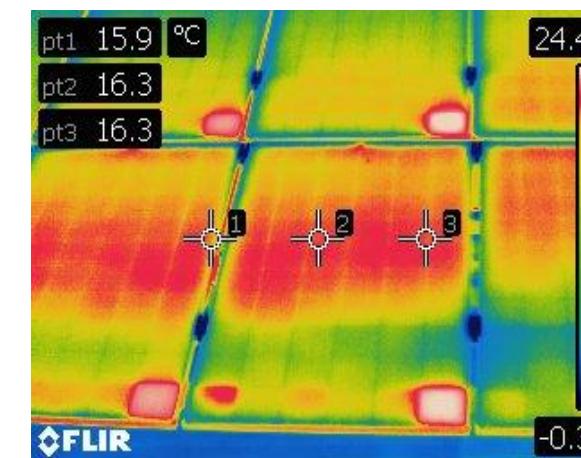
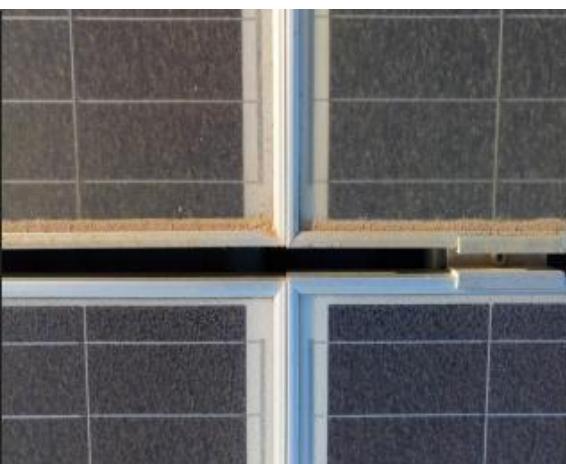
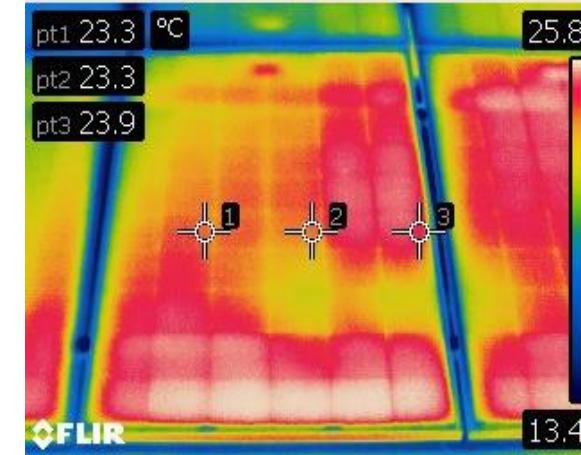
Première cause de perte de production !



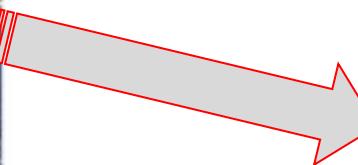
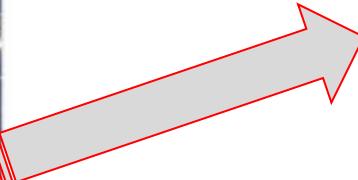
Nettoyage régulier des modules



Cellules encrassées ... courant diminué...

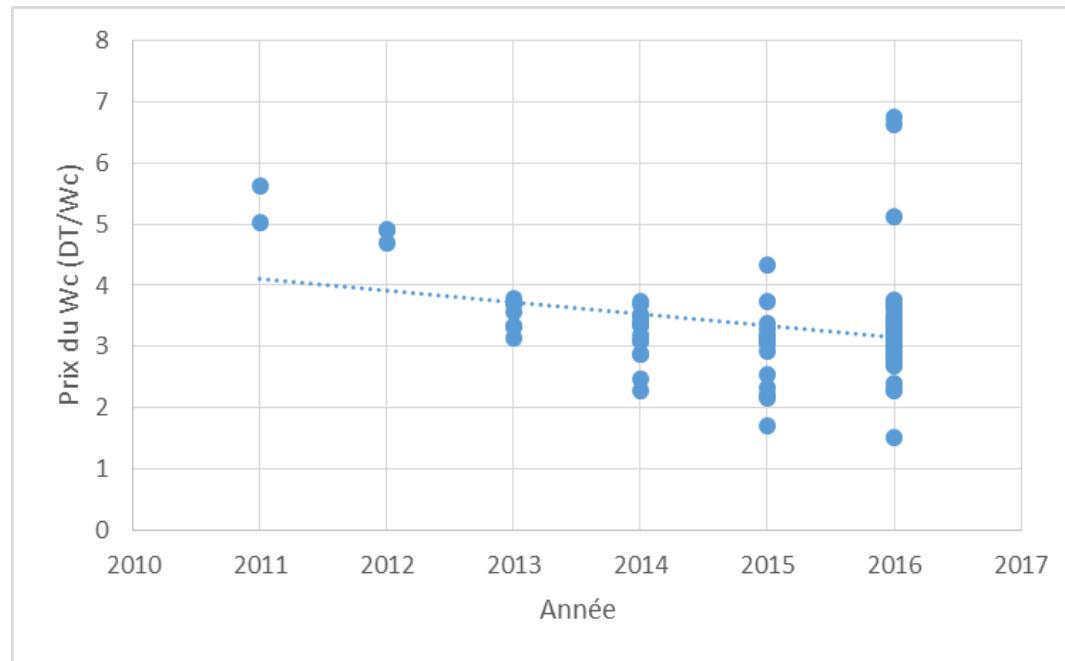


On ne marche pas sur les modules!!



- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
 - * Cadre technique et législatif
 - * Points de contrôle et de mesures
 - * Performance énergétique
 - * Rentabilité économique
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

Prix du Wc

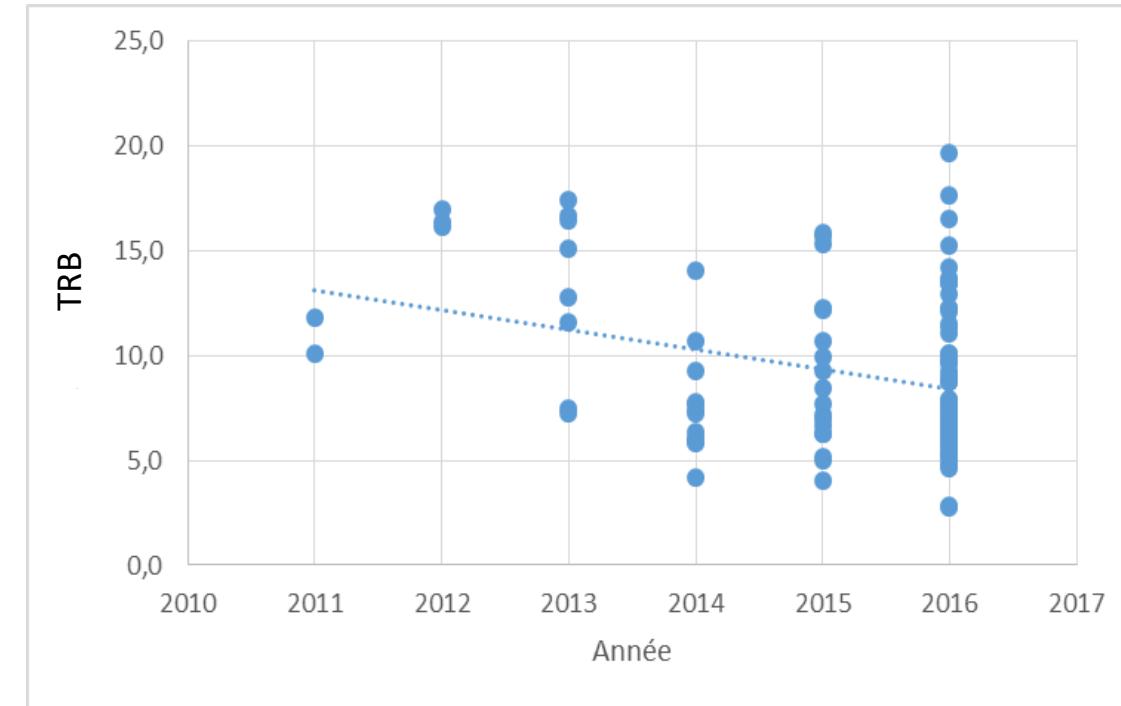


$$prix (D T/W c) = \frac{\text{Investissement après subvention (DT)}}{\text{Puissance crête de l'installation(Wc)}}$$

Subvention comprise entre 20 et 30%

Temps de Retour Brut

Exprimer le retour sur investissement d'un projet



$$TRB = \frac{\text{investissement après subvention (DT)}}{\text{énergie produite (kW h/an)} * \text{tarif du kWh solaire (DT/kWh)}}$$

Prix du revient du kWh PV

Le prix du kWh produit par l'énergie solaire. S'il est inférieur au prix d'achat du kWh solaire, alors l'installation est rentable.

$$PR = \frac{I * (Ka + Km)}{Ea}$$

I: Investissement initial (DT)
Ea: énergie annuelle produite (kWh/an)
Kem: coût de la maintenance
Ka: coefficient d'actualisation
t: taux d'actualisation de l'argent(3,7%)
n: nombre d'années d'exploitation

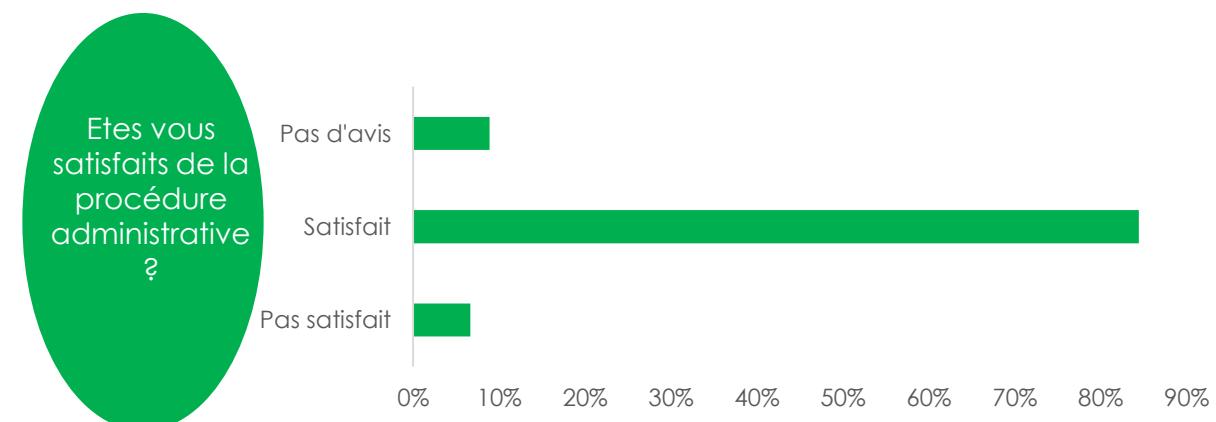
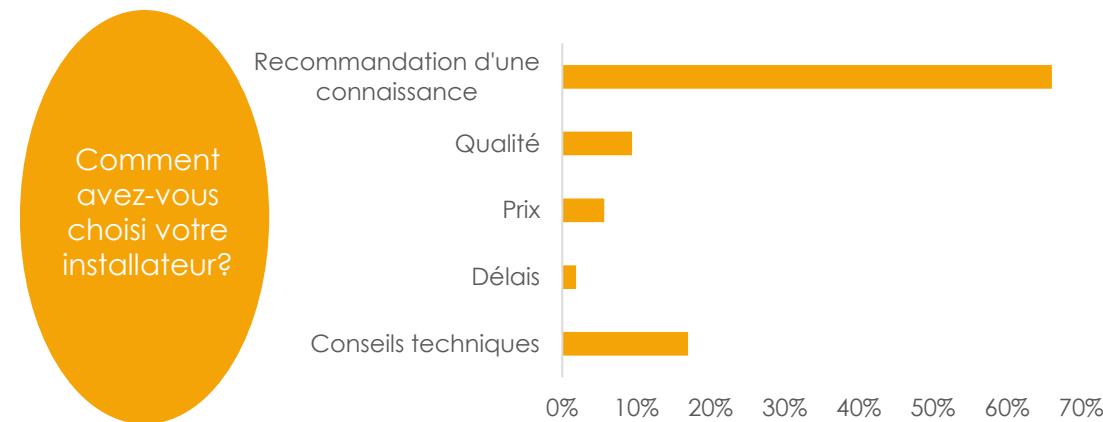
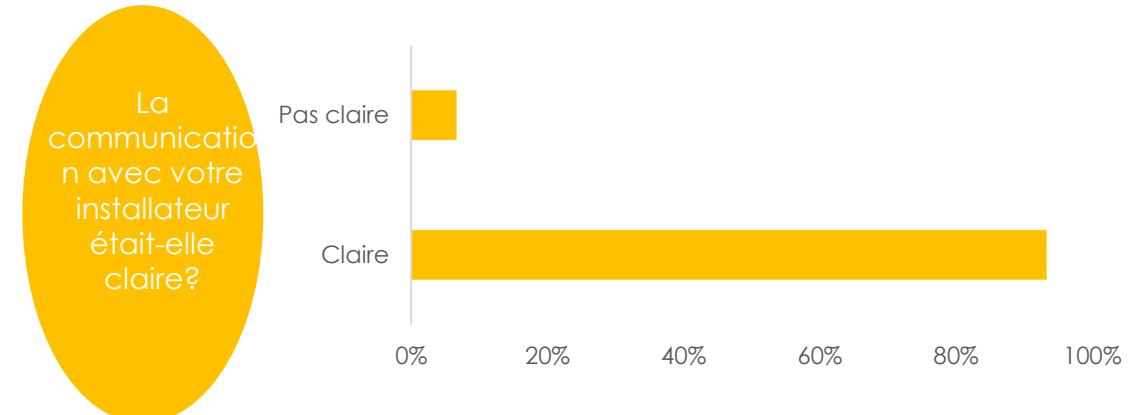
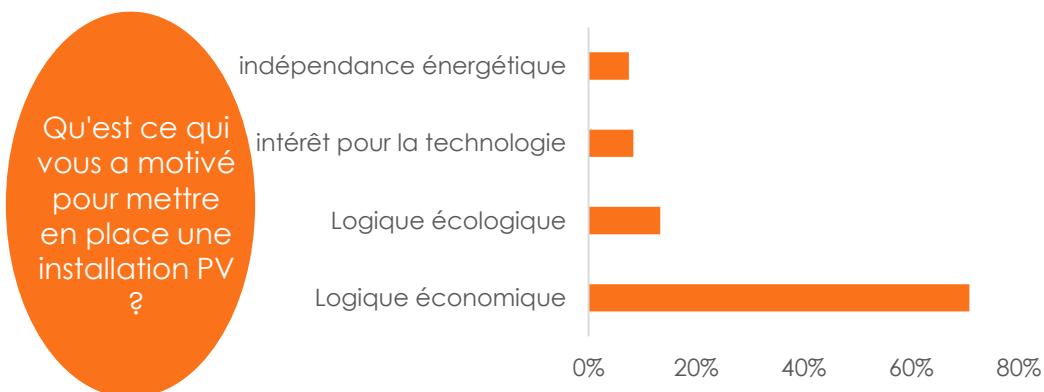
Pour n= 30 ans

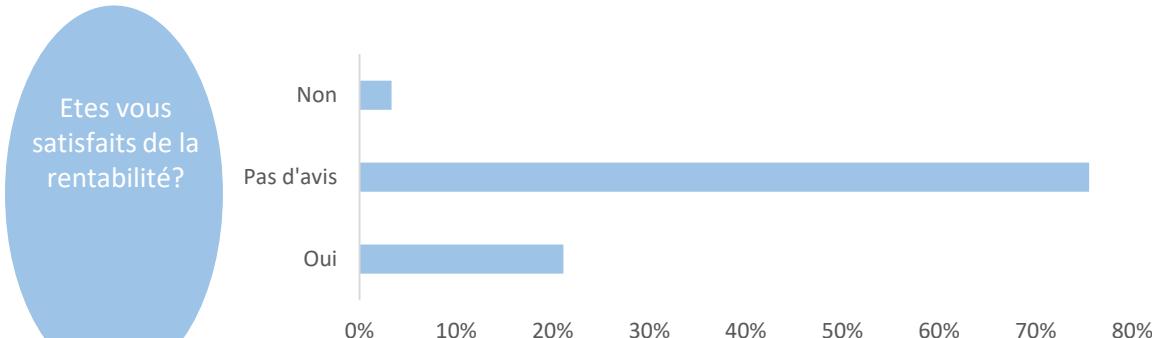
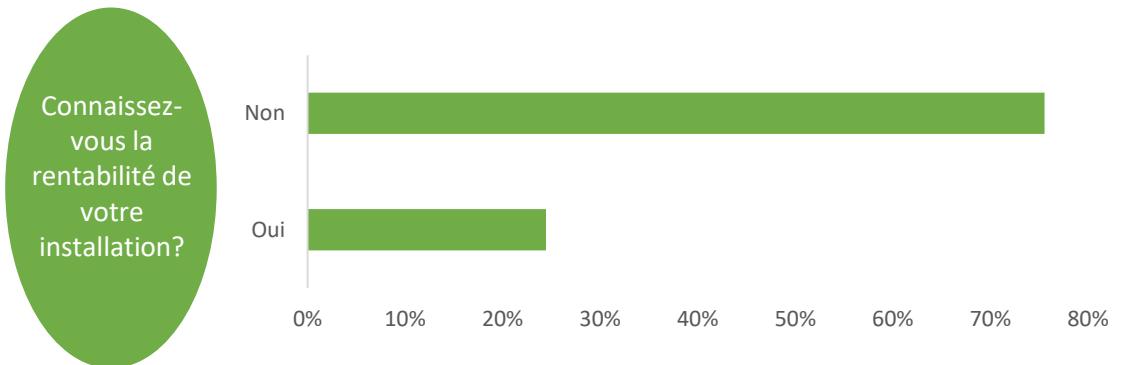
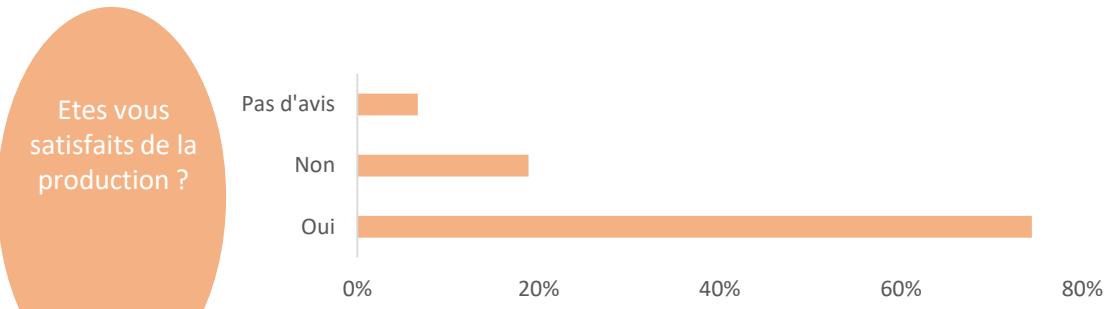
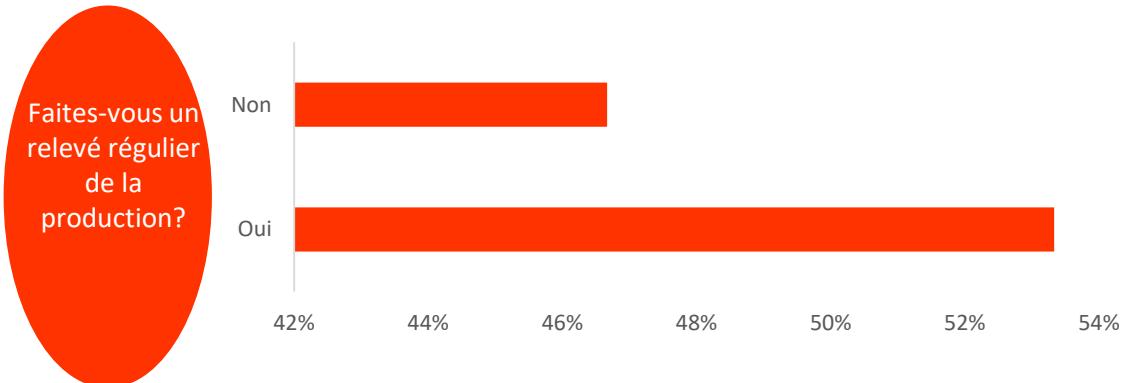
Tarif moyen du kWh solaire souscrit à la STEG (DT/kWh)	Prix de revient moyen du kWh solaire (DT/kWh)
0.260	0.200

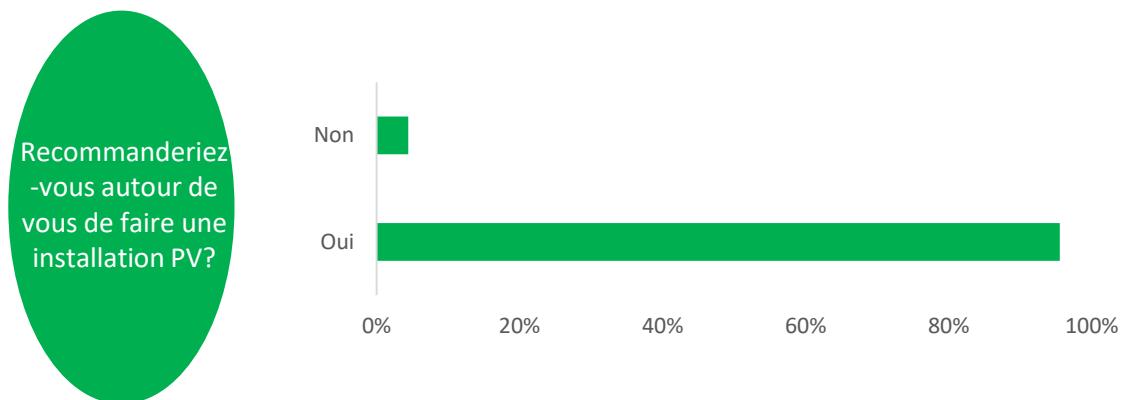
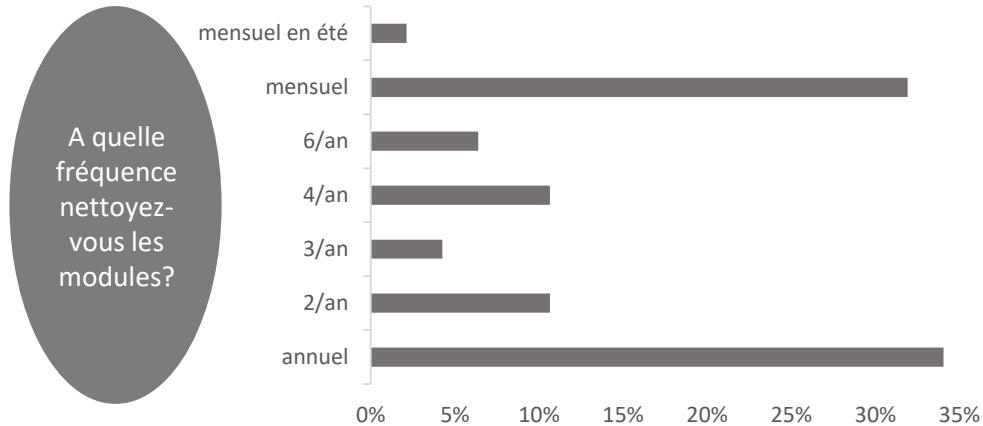
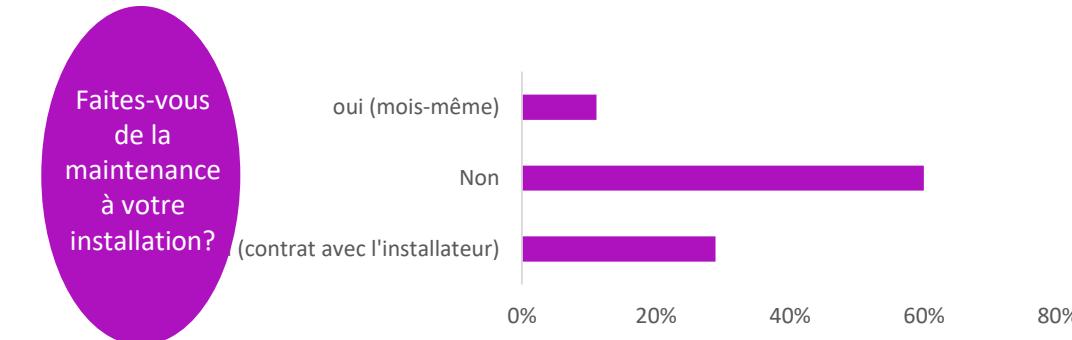
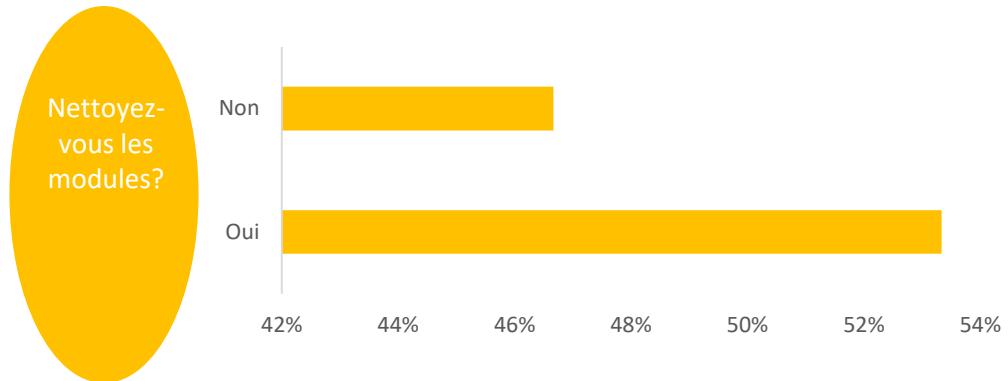
$$Ka = \frac{t * (1 + t)^n}{(1 + t)^n - 1}$$

- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations









- Echantillonnage
- Résultats de la campagne de mesures
- Questionnaire clients
- Points de vigilance et recommandations

A l'installateur

- ▶ **Visite technique:**
 - ▶ Relevé de consommation pour une Pc adaptée
 - ▶ Bien prendre en compte ombrages et obstacles
 - ▶ Positionnement onduleur
 - ▶ Estimation du temps de retour client
- ▶ **Réalisation**
 - ▶ Boucle d'induction entre polarités et polarités et terre
 - ▶ Sertissage des connecteurs (et embouts) avec la VRAI pince homologuée
 - ▶ Privilégier connecteur à ressort
 - ▶ Respect des couleurs et au sens de câblage dans les coffrets AC et DC
 - ▶ Protection différentiel ET disjoncteur
 - ▶ Dossier technique pour client (caractéristique composant) schéma de câblage, plan d'implantation et câblage
 - ▶ Carnet de suivi pour client (production et intervention, instruction de sécurité, recommandations d'usage et d'entretien)
- ▶ **Informier le client**
 - ▶ Productible
 - ▶ Fonctionnement, de principe et composant,
 - ▶ Suivi de production (mensuel c'est bien, annuel c'est le minimum)
- ▶ **Maintenance**
 - ▶ Campagne de resserrage dans les 6 à 12 mois, vérification de la production /productible/consommation
 - ▶ Contrôle et analyse fonctionnements avant fin garantie produit (4-5ans)



A l'administration et au syndicat professionnel

- ▶ Définir des règles
 - ▶ Réalisables
 - ▶ Universelles
 - ▶ Précises
 - ▶ Opérationnelles
 - ▶ Equitables
 - ▶ Pertinentes
 - ▶ Obligation de moyens (pince à sertir)
- ▶ Traiter efficacement l'information
 - ▶ Sélectionner l'information pertinente
 - ▶ Mutualiser les bases de données entre les organismes
 - ▶ Améliorer le process continuellement
- ▶ Donner accès à l'information
- ▶ Contrôler l'application des préconisations et de la qualité in situ



Au contrôleur

- ▶ **Etude**
 - ▶ **Pc adaptée à la consommation**
 - ▶ **Ombrages et obstacles évités ou intégrés à l'étude de productible**
- ▶ **Installation**
 - ▶ **Boucle d'induction entre polarités et polarités et terre**
 - ▶ **Sertissage des connecteurs de liaison (et embouts avec la VRAI pince homologuée)**
 - ▶ **Respect des couleurs et au sens de câblage dans les coffrets AC et DC**
 - ▶ **Protection différentiel ET disjoncteur**
 - ▶ **Dossier technique pour client (caractéristique composant) schéma de câblage, plan d'implantation et câblage**
 - ▶ **Carnet de suivi pour client (production et intervention, instruction de sécurité, recommandations d'usage et d'entretien)**
 - ▶ **Serrage des borniers à vis**
- ▶ **Information du client**
 - ▶ **Productible, performance attendue**
 - ▶ **Fonctionnement, de principe et composant,**
- ▶ **Maintenance**
 - ▶ **Campagne de resserrage dans les 6 à 12 mois, vérification de la production /productible/consommation**
 - ▶ **Contrôle et analyse fonctionnements avant fin garantie produit (4-5ans)**

Recommandations 2015



Au client

- ▶ Contrôle fréquent visuel du bon fonctionnement de l'onduleur
- ▶ Relevé mensuel de la production onduleur, (et idéalement injection E-, consommation E+)
- ▶ Remplir le dossier de suivi à chaque intervention
- ▶ Nettoyer les modules occasionnellement (selon possibilité/sécurité)

Recommandations 2015

Exemple fiche de suivi

Date Mise en service	Coordonnées installateur	Autres référence	Rappels d'intervention	Coordonnées base de données
Date	Production Onduleur 1	Compteur STEG P+	Compteur STEG P-	Observations
18/05/2015	1700	1500	1000	
09/08/2015	2005	1800	1200	Nettoyage
08/09/2015	2120			Production inférieur aux prévisions
15/05/2018	7856	1900	1250	Changement Fusible chaîne 2
		6892	5000	Code erreur 02-30%

© Maxime VALLIN - Tous droits réservés

47



MERCI DE VOTRE ATTENTION