



LE PHOTOVOLTAÏQUE DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PV

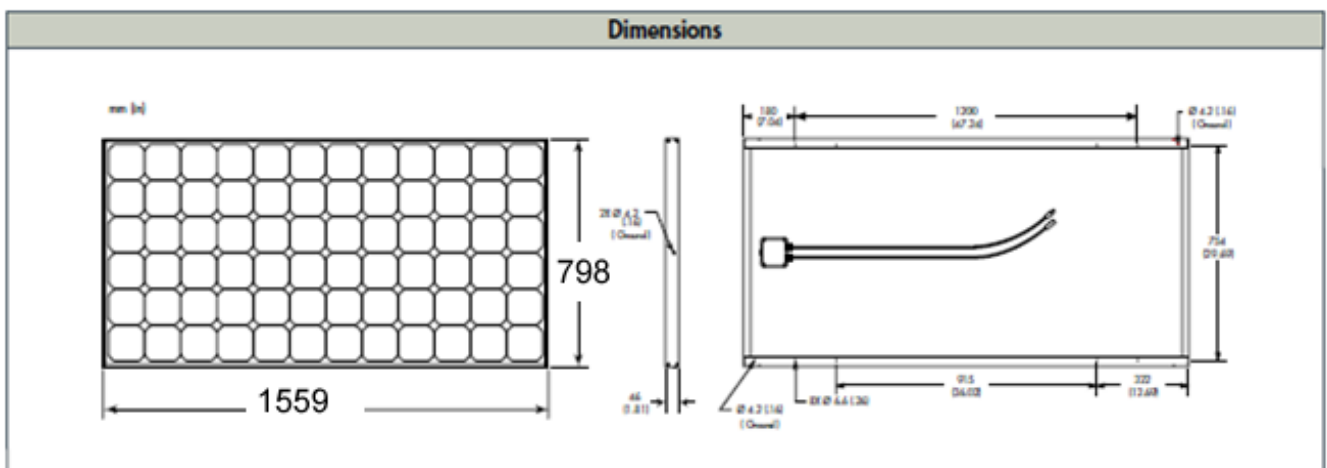
1. DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION EN FONCTION DE LA SURFACE DISPONIBLE ET DE LA CONSOMMATION

Le bon dimensionnement d'une installation est une étape essentielle à maîtriser. Ci-dessous, deux méthodes de dimensionnement (point B & C) sont présentées sur base de l'exemple qui suit. Il va de soit que outre la superficie et la consommation, les budgets disponibles sont le troisième facteur déterminant le dimensionnement d'une installation.

A. Données de base de l'exemple :

On dispose d'une toiture de 30 m² (6,0 m x 5,0 m) orientée plein sud et inclinée à 35°
Le client souhaite profiter au maximum de la superficie de sa toiture et consomme 3400 kWh/an

Technologie proposée : Sunpower 225 – modèle de 225 Wc dont les dimensions sont spécifiées ci-dessous.



B. Calcul de la superficie disponible :

Attention, il faut tenir compte d'une distance minimum entre les bords de la toiture et l'installation (1 à 2 tuiles) afin d'éviter de trop fortes contraintes liées au vent.

- Surface d'un module y compris les intercalaires de 20 mm

$$(1559 + 20) \times (798 + 20) \text{ [mm]} = 1,292 \text{ m}^2$$

- Surface de toiture disponible compte tenu d'un bord de sécurité de 30 cm de chaque côté

$$(6,00 - (2 \times 0,30)) \times (5,00 - (2 \times 0,30)) = 5,40 \times 4,40 = 23,76 \text{ m}^2$$

- Combien de modules peut recevoir ce toit ? :

$$23,76 / 1,292 = 18,39 \text{ soit } \mathbf{18} \text{ modules soit } \mathbf{4050} \text{ Wc}$$

C. Calcul du nombre de modules nécessaires en fonction de la consommation

- Pour connaître la puissance crête nécessaire pour couvrir une production donnée, on reprend la formule expliquée dans le module 4.

$$\text{Consommation} = \text{Production} = \text{Puissance-crête installée} \times \text{production spécifique du site} \times \text{facteur de correction}$$

$$[kWc \times kWh/kWc \times \% = kWh/an]$$

Donc

$$\text{Puissance-crête à installer} = \text{Consommation} / (\text{production spécifique du site} \times \text{FC})$$

$$[kWh/an / (kWh/kWc \times \%) = kWc]$$

$$P = 3400 / (850 \times 1,00) = 4 \text{ kWc}$$

- Nombre de modules nécessaires : $4 \text{ kWc} / 0,225 \text{ kWc} = 17,7 \text{ Modules} \rightarrow 18 \text{ modules.}$

La superficie du toit est donc théoriquement apte à accueillir une installation qui couvre la totalité des besoins du client.

En général, il est plus logique de partir de la consommation du ménage ou du budget disponible que de la superficie de la toiture. La mesure de celle-ci doit indiquer si l'installation de taille idéale est envisageable ou non.

N'oubliez pas de vérifier que cette configuration est possible au niveau de la disposition des chevrons.

2. DIMENSIONNEMENT DES ONDULEURS

DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement des onduleurs d'une installation PV est souvent source de confusion car il faut distinguer les puissances AC et DC. Du côté DC il faut distinguer la puissance crête de l'installation et sa puissance réelle (instantanée) en cours de fonctionnement. Enfin, il faut prendre garde à la tension des strings connecté à l'onduleur.

De façon générale, il est de bonne pratique en Belgique de procéder à un sous-dimensionnement (*de-rating*) de la puissance AC de l'onduleur comparée à la puissance crête du (des) string(s) connecté. Ce sous-dimensionnement est toléré jusqu'à 80% de la puissance crête (un onduleur de 3 kVA pour un string de 3,75 kWc, *de-rating* de 80%). Pour un système qui n'est pas orienté de manière optimale par rapport à la course du soleil, on tolérera plus facilement le sous-dimensionnement.

Exemple (basé sur un cas réel) : Une installation de 75 kWc développera une puissance instantanée qui va varier avec l'intensité de l'irradiation reçue (de manière quasi linéaire). Au cours de l'année, l'irradiation reçue dans le plan des panneaux varie entre 0 et 1050 W/m² (à midi, avec une température des panneaux à 45°C). La puissance délivrée par l'installation de 75 kWc est de 64 kVA en sortie des onduleurs (AC) pour une puissance entrante (DC) de 66,3 kW

Pour l'utilisation de couches-minces, le sous-dimensionnement est souvent déconseillé et le surdimensionnement plutôt préconisé. Ces aspects doivent être évalués pour chaque combinaison de panneaux et d'onduleurs.

Un sous ou surdimensionnement trop élevé de l'onduleur peut diminuer fortement les performances de l'ensemble du système.

C'est notamment pour cette raison qu'il est important de suivre les prescriptions du fournisseur des modules et des onduleurs. Ces prescriptions varient d'une marque à une autre et peuvent même être propre au modèle choisi.

Le dimensionnement ne s'effectue donc pas tant sur la puissance mais plutôt sur la tension de circuit ouvert de l'installation. En effet, les strings composés par des modules placés en série développent une caractéristique courant / tension (courbe I V). La tension dans chaque string est égale à la tension d'un module multipliée par le nombre de modules. Le courant de chaque string est égal au courant d'un module. (Connexion en série : les tensions s'additionnent à courant égal)

La production est proportionnelle à l'éclairement, et inversement proportionnelle à la température :

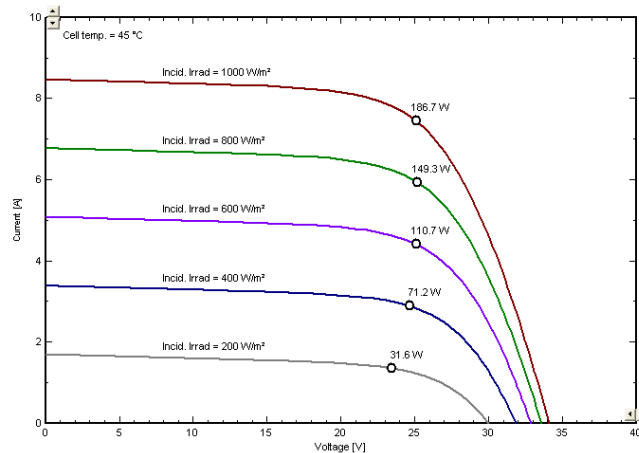


Figure 1: courbes courant / tension à des niveaux d'irradiation différents

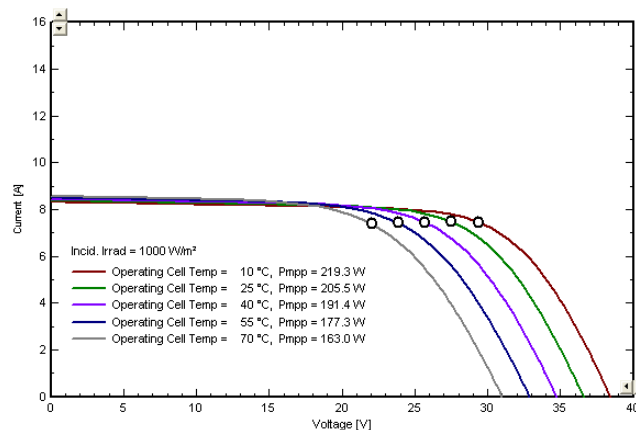


Figure 2: courbes courant tension d'un module PV à différentes température

Pour limiter les pertes en ligne par effet Joule ($P=RI^2$), il faut abaisser le courant (I^2), et donc **élever la tension**. C'est pourquoi on relie les modules en série (*string*, en anglais).

Le nombre de modules branchés en série dans un string est limité par la tension d'entrée supportée par l'onduleur. Le cas échéant, il faudra répartir les modules entre **plusieurs strings**. Chaque string aura alors une tension moindre, mais ... le courant global aux bornes d'entrées de l'onduleur sera plus élevé !... et il faudra s'assurer qu'il le supporte !

Pour la plupart des onduleurs, les strings doivent être égaux: ils comportent le même nombre de modules de même type, positionnés dans les mêmes conditions (orientation, inclinaison, ombrage). Pour certain onduleur multistring, ces conditions ne sont pas nécessaires. Ils sont

donc particulièrement adaptés à des installations avec différentes inclinaisons et orientation par exemple.

La compatibilité onduleur / string consiste à vérifier que :

- 1) la puissance nominale de l'onduleur est comprise entre 80% et 110% de la puissance crête
- 2) les tensions générées doivent être dans les limites acceptables de l'onduleur :
 - a. La tension maximale, c'est à dire à 1000 W/m², pente 35°, à vide et à froid (-10°), doit être inférieure à la tension DC maximale admissible. C'est la tension de sécurité : au-delà de cette tension maximale, l'onduleur va disjoncter (varistor¹), l'installation sera en panne
 - b. La tension minimale, c'est à dire à 1000 W/m², pente 35°, en charge et à chaud (70°), doit être supérieure à la tension MPP² minimale admissible. C'est la tension d'accrochage : sous cette tension minimale, l'onduleur va décrocher, l'installation ne produira plus !

Tension maximale à -10 °C : $U_{max} = M \times (V_{OC} + \mu V_{OC} \times 35)$
 Tension minimale à +70 °C : $V_{min} = M \times (V_{MPP} + \mu V_{OC} \times 45)$

M = nombre de modules d'un string
 V_{OC} = tension du circuit ouvert d'un module dans CST (25°C)
 μV_{OC} = coefficient de température
 V_{MPP} = tension en charge, au Point de Puissance Maximale

3) Le courant maximal doit être inférieur au courant admissible de l'onduleur

Exemple :

On souhaite réaliser une installation avec des modules Issol Cenit 200 et des onduleurs SMA SMC8000TL avec de strings de 3x17 modules soit 10.200 Wc

- Caractéristiques du module Issol Cenit 200 :



Caractéristiques des Modules / Modules specifications / Modulsenspezifizierung / Modulos especificaciones

Model	P (Wc)	VOC (V)	ISC (A)	Vmp (V)	Imp (A)	Ef.m (%)	Umax (V)	α temp. VOC (mV/°C)	α temp. ISC (mA/°C)	α temp. Pmpp (%/°C)	NOCT (°C)	Cell type	Temp. Operative module
CENIT 80/70	70	20,94	4,84	16,96	4,15	13	750	-76,98	2,2	-0,49	45,5	mono	-40/85°C
CENIT 80/80	80	20,23	4,74	19,09	4,19	16	750	-76,98	2,2	-0,49	45,5	mono	-40/85°C
CENIT 80/85	85	21,83	5,20	17,79	4,74	15,50	750	-76,98	2,2	-0,49	45,5	mono	-40/85°C
CENIT 130/125	125	22,30	8,35	16,68	7,61	14,50	750	-148,8	2,2	-0,45	49,90	poly	-40/85°C
CENIT 150/150	150	44,01	5,14	33,40	4,49	13,50	1000	-148,8	2,2	-0,45	49,90	mono	-40/85°C
CENIT 150/160	160	45,58	5,00	34,89	4,59	14,50	1000	-148,8	2,2	-0,45	49,90	mono	-40/85°C
CENIT 150/185	185	45,24	5,57	35,04	5,15	14,50	1000	-148,8	2,2	-0,45	49,90	mono	-40/85°C
CENIT 220/200	200	36,62	8,38	29,05	6,92	15,85	1000	-148,5	2,3	-0,43	46	poly	-40/85°C
CENIT 220/210	210	37,45	8,16	28,29	7,43	16,00	1000	-148,5	2,3	-0,43	46	poly	-40/85°C

Voc = 36,62 V V_{MPP} = 29,05 V I_{MPP} = 6,92 A
 μVoc = -148,5 mV/°C (= - 0,1485 V/°C)

- Caractéristique Onduleur SMA SMC 8000 TL :

¹ Les varistors protègent l'électronique à l'intérieur de l'onduleur contre les pics de tension injectés d'origine atmosphérique qui peuvent, par exemple, survenir suite à un coup de foudre indirect, tombé à proximité.

² MPP : Maximum Power Point

INFOS FICHES-ÉNERGIE

Désignation du modèle	SMC 5000A	SMC 6000A	SMC 6000 TL	SMC 7000 HV	SMC 7000 TL	SMC 8000 TL	SMC 9000 TL	SMC 10000 TL	SMC 11000 TL
Numéro d'article	100916	100917	100919	100920	100921	100922	100923	100924	100925
Puissance DC max. (W)	5750	6300	6200	7500	7200	8250	9300	10350	11400
Tension MPP min. (V)	246	246	333	335	333	333	333	333	33
Tension MPP max. (V)	600	600	500	560	500	500	500	500	500
Tension DC max. (V)	600	600	700	800	700	700	700	700	700
Courant DC max. (A)	26	26	19	23	22	25	29	32	35
Puissance nominale AC (Wp)	5000	6000	6000	6650	7000	8000	9000	10000	11000
Puissance AC max. (Wp)	5500	6000	6000	7000	7000	8000	9000	10000	11000
Rendement max. (%)	96,10	96,10	98	96,10	98	98	98,10	98,10	98,10
Rendement Euro (%)	95,20	95,20	97,70	95,30	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70
Transformateur	oui	oui	non	oui	non	non	non	non	non
Poids (kg)	62	63	31	65	32	33	40	40	40
Largeur (mm)	468	468	468	468	468	468	468	468	468
Hauteur (mm)	613	613	613	613	613	613	613	613	613
Profondeur (mm)	242	242	242	242	242	242	242	242	242
Classe de protection IP	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Plage de température (°C)	pour tous les onduleurs -25 à +60 °C								
Nombre de strings	4	4	4	4	4	4	5	5	5
Multi-Contact™	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Connecteur AC	non	non	non	non	non	non	non	non	non
ESS (Electronic Solar Switch)	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui

1) Vérification de la tension maximale admise par l'onduleur : 700 V

$$V_{\max} = 17 \times (36,62 - ((-0,1485) \times 35)) = 711 \text{ V} > 700 \text{ V} !$$

ce qui est supérieur à la tension maximale admissible de l'onduleur. Il faut donc soit utiliser un onduleur avec une plus grande tension maximale admissible, soit réduire les strings à 3 x 16 modules soit 9,6 kWc:

$$V_{\max} = 16 \times (36,62 - ((-0,1485) \times 35)) = 669 \text{ V} < 700 \text{ V} \quad \text{OK}$$

2) Vérification de la tension minimale admise par l'onduleur : 333 V

$$V_{\text{MPP}} = 16 \times (29,05 - ((-0,1485) \times 45)) = 693 \text{ V} > 333 \text{ V} \quad \text{OK}$$

3) Vérification du courant maximal admis par l'onduleur : 25 A

$$V_{\text{MPP}} = 3 \times 6,92 = 20,8 \text{ A} < 25 \text{ A} \quad \text{OK}$$

Remarque : La plupart des fabricants d'onduleurs proposent un logiciel de vérification de la combinaison modules – onduleur en fonction de la configuration de l'installation et du lieu du projet. Le résultat de la vérification des deux combinaisons proposées plus haut est montré à la Figure 3 ci-dessous.

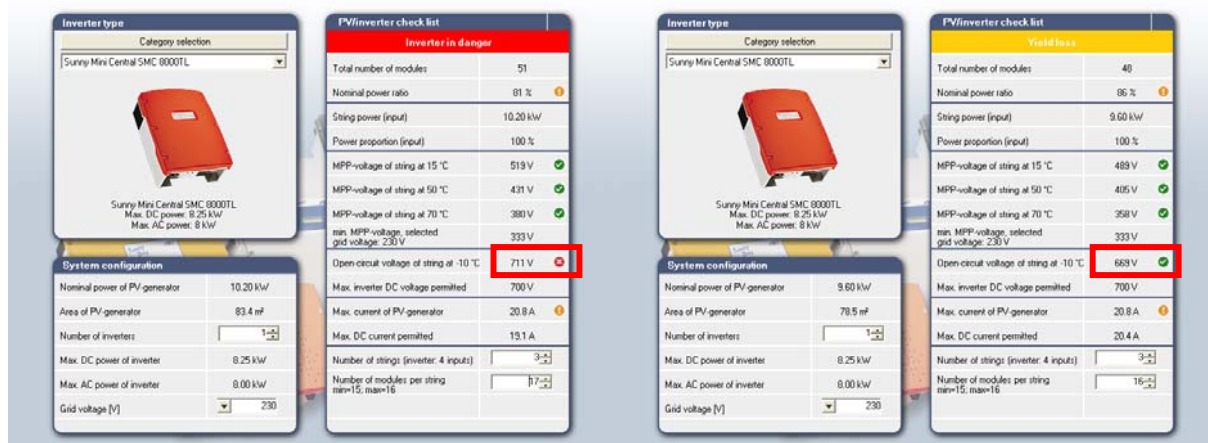


Figure 3 : Résultats de la vérification du dimensionnement des strings (SMA Sunny Design)

3. DIMENSIONNEMENT DES CÂBLAGE DC

Les câbles DC raccordent les modules entre eux pour former des strings, et branchent plusieurs strings en parallèle. Seuls des câbles dits « solaires » (double isolation, protection UV et ozone, etc.) peuvent être utilisés.

Plus en détails, les câbles solaires utilisés à l'extérieur sur des toitures doivent être résistants aux UV et protégés contre l'action de l'ozone. Ils doivent aussi être certifiés pour fonctionner à températures de -20°C à 80°C. La prescription de température doit aussi être valable pour tout le matériel utilisé pour l'installation.

Les câbles principaux de CC doivent être dimensionnés et connectés en respectant certains critères essentiels pour des raisons de sécurité et d'efficacité énergétique :

- A. supporter une tension de 1,15 x la tension de circuit ouvert (isolation)
- B. adapter la capacité du câble au transport du courant DC et AC (section des câbles) et pertes ohmiques dues aux chutes de tension
- C. utiliser des connecteurs appropriés

A. SECURITE CONTRE LES SURINTENSITÉS EN CAS D'INCIDENT OU DE COURT-CIRCUIT

Lorsque plusieurs strings³ sont raccordés en parallèle, il est nécessaire de protéger les conducteurs contre les surintensités à l'aide de fusibles sur les pôles + et – comme décrit dans la norme IEC 60364-7-712.

Ces fusibles de protection sont facultatifs dans le cas où les conducteurs auront été dimensionnés pour pouvoir supporter la surintensité maximale possible (courant de court circuit) et s'il n'y a pas plus de quatre (4) strings connectées en parallèle. Dans ce cas, il faut vérifier que les modules peuvent supporter cette intensité dans le sens contraire (courant forcé à travers le module) sans les endommager de façon irréversible. Une attestation écrite du fabricant pourrait être nécessaire.

Le courant maximum possible à travers un conducteur de string est donné par :

$$I_{\max, \text{string}} = 1,25 (n-1) I_{sc, STC}$$

où n est le nombre de strings en parallèle et $I_{sc, STC}$ est le courant de court circuit à travers le string aux conditions standards de test, STC pour son abréviation en anglais (Standard Test Conditions : 1000 W/m², AM1,5, 25°C).

Par conséquent, les conducteurs principaux de CC devront toujours être dimensionnés pour la surintensité maximale possible fournie par l'array⁴ de modules PV (c'est à dire l'ensemble des strings mis en parallèle). Ce courant maximum possible est donné par

$$I_{\max, \text{array}} = 1,25 n I_{sc, STC}$$

La section du câble sera donc la valeur supérieure standard la plus près de la valeur calculée. Quelques valeurs standards des sections sont : 1,5 mm², 2,5 mm², 4 mm², 6 mm², 10 mm², 16 mm², 25 mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm², 95 mm², 120 mm²...

B. SECTION DES CÂBLES ET PERTES OHMIQUES SUR LA PARTIE DC

Les sections des conducteurs de chaque string et des conducteurs principaux (après la reprise en parallèle) doivent être telles que le courant nominal les parcourant au point de puissance maximale (en anglais Maximum Power Point ou MPP) ne cause pas de chute de tension de plus de 2% de la tension nominale aux extrémités de ces conducteurs.

³ String = chaîne PV : circuit dans lequel des modules PV sont connectés en série afin de former des ensembles de façon à générer la tension de sortie spécifiée. Source : norme IEC60634-7-712.

⁴ array = plusieurs strings en parallèle.

⁹La section des câbles, S, peut se calculer par la formule suivante :

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\varepsilon \times V_A}$$

Où :

ρ est la résistivité du câble en $\Omega \cdot m$. Celle-ci dépend du matériau. Elle est de $1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ pour un câble en cuivre.

L est la longueur du câble en m

I est le courant que traverse le câble en A

ε est la chute de tension en V

V_A est la tension au départ du câble en V

Lorsqu'une nouvelle installation photovoltaïque est envisagée sur un bâtiment existant ou à construire, une analyse des contraintes doit être effectuées.

Exemple :

Les modules Yingli poly-cristallins de 230 W ont une intensité nominale de 7,8 A (MPP) et une tension nominale de 29.5 V. La tension de circuit ouvert est de 37 V et le courant de court-circuit est de 8,4 A.

Si on fait un string de 20 modules en série, la tension nominale totale est de 590 V (20 x 29,5V) et celle de circuit ouvert est de 740 V (20 x 37 V)

Ainsi les conducteurs de CC doivent avoir une isolation en CC de minimum **1,15 x 740 = 851V**

La section du conducteur de CC principaux (dans ce cas, conducteur de string) sera donc calculée comme suit :

$$1,25 \times 8,4 \text{ A} = 10,5 \text{ A, c'est le courant maximum de l'array.}$$

La puissance total supporté par le câble sera de :

$$7,8 \text{ A} \times 590 \text{ V} = 4602 \text{ W}$$

Pour cet exemple, l'on va considérer une distance maximale de 120 m jusqu'à l'onduleur, ainsi pour limiter les pertes à moins de 2%, disons 1% :

$$\text{La chute de tension dans le câble est de } 1\% \times 590 \text{ V} = 5,9 \text{ V}$$

Ainsi, la section du câble devra être, pour un conducteur en cuivre :

$$S = (1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m \times 120 \text{ m} \times 10,5 \text{ A}) / (1\% \times 590 \text{ V}) = 2,14 \times 10^{-5} / 5,9 = 3,63 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

→ 3,6 mm² → La section supérieure à 3,6 mm² est 4 mm²

C. CONNECTEURS DC

Les connecteurs utilisés afin de joindre les câbles DC, doivent répondre aux mêmes critères que mentionnés pour les câbles. En plus, sa conception doit être telle que quand la fiche femelle et la fiche mâle ne sont pas connectées, il ne peut pas y avoir de possibilité d'électrocution. Le conducteur de courant doit donc être protégé contre le contact physique direct (IP65).

Une attention particulière sera également donnée à la force de traction que ces fiches peuvent supporter.

Les connecteurs doivent aussi compter avec un système de verrouillage afin d'éviter la déconnection des parties.

L'organisme agréé qui a effectué la spécification des tests doit être mentionné dans la fiche technique des connecteurs.

Les interrupteurs de DC sont obligatoires (IEC 60364-7-712) pour déconnecter les générateurs photovoltaïques des onduleurs. Les interrupteurs seront situés juste avant l'onduleur ou seront intégrées dans l'onduleur.



Dans le cas de la protection contre les surtensions, pour chaque connexion en parallèle des circuits à courant continu, il y aura un dispositif adéquat de protection contre les surtensions installé directement après l'onduleur. Cette protection pourra aussi être offerte par l'onduleur lui-même.

Par rapport à la réduction du risque de boucles d'induction il faut savoir que les surtensions induites par la foudre dans les environs d'une installation photovoltaïque doivent être réduits au minimum grâce à la pose des câbles positifs et négatifs de chaque string aussi rapprochés que possible. Dans la pratique, cela signifie que le câble de retour d'un string doit suivre le même chemin que le câblage du module.

Multi-contact AG - modèle MC3	Multi-contact AG - modèle MC4	Tyco electronics
		
connecteur classique	évolution du modèle MC3avec verrouillage mécanique de fermeture	

Figure 4 : différents type de connecteurs DC source : http://www.sigma-tec.fr/textes/texte_cables.html