

Plateforme Logistique de BULLY 3

Installation photovoltaïque en toiture d'entrepôt

NOTE TECHNIQUE PRECISANT LES REGLES DE CONCEPTION DES CIRCUITS DC

ANNEXE D

Porteur du projet

VIRTUO BULLY 2

2 – 22 place des Vins de France
75012 PARIS

AMO Photovoltaïque

GENERGIES

Bureaux Ecoworking
27, Rue Romarin
69001 LYON
bet@genergies.fr

Version du document

Indice	Date	Rédaction	Vérification	Validation
A	14/10/2022	S.CUZACQ	R.CELERIER	R.CELERIER

Historique des versions

Indice	Date	Modification
A	14/10/2022	Création

Sommaire

1.	VALEURS DE COURANT & TENSION DC	2
1.1.	Généralités	2
1.2.	Niveau de tension partie courant continu	2
1.3.	Niveau d'intensité partie courant continu	2
2.	CHOIX DES COMPOSANTS DC	4
2.1.	Connecteurs employés pour les liaisons des chaînes PV	4
2.2.	Câbles double isolation pour les liaisons sur la partie DC.....	5
2.3.	Protection des branches PV par fusible.....	6
2.4.	Protection des branches PV par parafoudre.....	7
2.5.	Détection de défaut intégré aux onduleurs.....	7
3.	MISE EN ŒUVRE DU CIRCUIT DC	8
3.1.	Circulation des câbles inter-modules	8
3.2.	Circulation des câbles jusqu'à l'entrée DC de l'onduleur	8
3.3.	Dimensionnement des câbles DC	8

1. VALEURS DE COURANT & TENSION DC

1.1. Généralités

Si la tension maximale unitaire d'un module photovoltaïque se situe en général entre 35 et 55 V, les onduleurs photovoltaïques requièrent un niveau de tension bien plus élevé afin de générer un signal alternatif compatible avec celui du réseau de distribution. Pour augmenter la tension du champ solaire, les modules sont donc associés en série au sein d'une branche, et les circuits DC atteignent généralement un niveau de tension supérieur à la TBT (>120 Vdc).

D'autre part, la mise en parallèle des branches PV permet d'augmenter le courant d'entrée des onduleurs photovoltaïques jusqu'à des intensités nominales de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines d'ampères, qui nécessite donc un dimensionnement en conséquence des câbles et de l'appareillage électrique.

1.2. Niveau de tension partie courant continu

Le niveau de tension maximal admissible sur la partie courant continu dépend des caractéristiques intrinsèques des composants et du point de fonctionnement des onduleurs retenus. A l'heure actuelle, les solutions disponibles sur le marché permettent de constituer des chaînes de modules admettant une tension maximale en circuit ouvert de 1500 Vdc.

Également, le nombre de modules par branche est déterminé en fonction de la plage de tension nominale acceptée par les onduleurs. Cette plage de fonctionnement nominale est généralement comprise entre 500 Vdc et 1 300 Vdc.

Le tableau suivant donne des exemples d'arrangements possibles pour les branches de modules photovoltaïques. La valeur $U_{oc,max}$ correspond à la tension maximale en circuit ouvert aux bornes d'une branche – en tenant compte d'une correction en tension pour une température minimale hypothétique de -20°C et un ensoleillement de 1000 W/m^2 . La valeur U_{mpp} correspond à la tension nominale de fonctionnement aux bornes d'une branche.

Marque	Modèle	Technologie	Puissance Unitaire	Quantité max par branche	$U_{oc,max}^*$	U_{mpp}
			W		V	V
Longi Solar	LR4-60HPH	Monocristallin	375	35	1 439	1 211
Voltec	Tarka 126 VSMD	Monocristallin	390	50	1 454	1 222

** la tension augmente lorsque l'éclairement augmente | la tension augmente lorsque la température baisse.*

A retenir :

- La tension maximale mesurable aux bornes d'une branche en circuit ouvert donnée est inférieure à 1 500 Vdc
- La tension de travail mesurable aux bornes d'une branche qui produit un courant est inférieure à 1 300 Vdc

1.3. Niveau d'intensité partie courant continu

La mise en parallèle de plusieurs branches photovoltaïques entraîne une augmentation de l'intensité transitant dans les câbles raccordés à l'entrée de l'onduleur.

La valeur maximale admissible est fixée par les caractéristiques de l'onduleur, certains n'acceptant que quelques Ampères (onduleurs de branches monophasés 230Vdc de quelques kVA par exemple), d'autres plusieurs milliers d'Ampères (onduleurs centraux de 4 MVA par exemple). Ainsi, contrairement à la tension pour laquelle des limites techniques standards existent, la plage de courants admissibles partie courant continu est relativement vaste, d'autant qu'aucun critère réglementaire ne porte sur ces valeurs.

Au regard de l'analyse de risques et des produits disponibles sur le marché à l'heure actuelle, la topologie la plus pertinente correspond aux onduleurs de puissance comprise entre 100 kVA et 200 kVA. Ce choix est motivé par la volonté d'éviter des unités de conversion monolithiques et complexes, et permet de limiter l'impact des défauts : un dysfonctionnement sur un convertisseur monobloc 1 MVA aura un effet plus important qu'un dysfonctionnement sur une unité 10 fois plus petite. Cette architecture permet également de gagner en modularité et de faciliter le travail d'arrangement des branches de modules.

Le tableau suivant précise quelques valeurs de courant max admissible pour plusieurs modèles d'onduleurs qui pourraient être envisagés pour ce projet :

Marque	Modèle	Puissance de conversion	Tension nominale AC	Tension max DC	Courant max DC	Courant court-circuit DC
		kVA	V _{ac}	V _{dc}	A _{dc}	A _{dc}
SMA	SHP 100-20	100	400	1000	180	325
SMA	SHP 150-20	150	600	1500	180	325
SUNGROW	SG110CX	110	400	1000	234	360
HUAWEI	SUN2000-100KTL-M1	110	400	1000	260	400
HUAWEI	SUN2000-185KTL-H1	185	800	1500	234	360

A retenir :

- Le choix se porte sur des onduleurs de plusieurs dizaines à quelques centaines de kVA
- Les courants transitant sur la partie continue sont de l'ordre de quelques centaines d'Ampères

2. CHOIX DES COMPOSANTS DC

Les spécificités du circuit à courant continu des installations photovoltaïques ont nécessité le développement de produits adaptés et la définition de règles de l'art et de normes spécifiques afin de supprimer les risques de choc électrique et d'incendie puisque :

- Les tensions aux bornes des branches de modules PV atteignent généralement plusieurs centaines de volts ; le risque de choc électrique par contact direct ou indirect est donc réel ;
- En cas de mauvais contact, un phénomène d'amorçage d'arc électrique va se produire et se maintenir dans le temps du fait de la nature continue de ce courant électrique. Si cet arc n'est pas rapidement coupé, un début d'incendie peut alors se produire.

2.1. Connecteurs employés pour les liaisons des chaînes PV

La connectique utilisée pour la liaison entre modules PV et jusqu'aux coffrets de protection et de coupure DC est de type IP2X pour garantir la sécurité des opérateurs face au risque de contact direct avec une partie conductrice sous tension et IP65 moulée dans un plastique anti-UV afin de résister dans le temps aux agressions climatiques.

Ces connecteurs, conformes à la norme NF EN 62852 (2015) qui remplace la norme NF EN 50521, seront sertis aux tenants et aux aboutissants des câbles assurant la liaison entre les modules et les boîtes de jonction. Ces connecteurs débroschables peuvent être ouverts ou fermés en toute sécurité dans la mesure où la coupure du circuit DC est effective – ces broches possèdent un pouvoir de séparation mais pas de coupure.

Nous donnons ci-dessous les caractéristiques du couple de connecteurs MC4 de la marque Staubli qui pourront être employés (ou modèle équivalent chez un autre fabricant).

PV-KBT4-EVO 2/...-UR



PV-KST4-EVO 2/...-UR



Rated voltage	1500 V DC
Rated current (30 °C)	2.5 mm ² / 14 AWG: 39 A 4.0 mm ² / 12 AWG: 51 A 6.0 mm ² / 10 AWG: 65 A 10.0 mm ² / 8 AWG: 90 A
Rated surge voltage	16 kV
Ambient temperature range	-40 °C...+ 85 °C
Upper limiting temperature	115 °C
Mating cycles	100
Degree of protection, mated	IP65
unmated	IP2X
Overvoltage category/Pollution degree	CATIII/3
Contact resistance of plug connectors	≤ 0.35 mΩ
Locking system	snap-in/locking type
Safety class	II
Contact system	MULTILAM
Type of termination	Crimping
Contact material	Tin-plated copper
Warning	Do not disconnect under load
Insulation material	PA
Flame class	UL94-V0

(Source : Staubli)

2.2. Câbles double isolation pour les liaisons sur la partie DC

Afin de minimiser les risques de défaut à la terre ou de courts-circuits, le guide UTE C 15-712-1 impose la réalisation de liaison DC à l'aide de câbles double isolation unipolaires spécifiques. Les caractéristiques minimales retenues pour les câbles sont les suivants :

- Isolement équivalent à la classe II ;
- Isolant de type C2 non propagateur de la flamme ;
- Équipé d'un dispositif de blocage permettant d'éviter l'arrachement ;
- Température admissible sur l'âme d'au moins 90°C en régime permanent ;
- Stabilité aux UV répondant à la condition d'influence AN3 (si non protégé par interposition d'écran) ;
- Tension assignée du câble compatible avec la tension maximale $U_{oc,max}$ pouvant être présente aux bornes du circuit DC.

Les câbles prévus seront de type H1Z2Z2-K (tension nominale 1500 Vdc). Nous donnons ci-dessous les caractéristiques des câbles Solarplast de la marque Omerin qui pourront être employés (ou modèle équivalent chez un autre fabricant).

SOLARPLAST® FT 2047b
H1Z2Z2-K
 Câbles de spécialités OMERIN division polycable
 LSZH

Câbles pour installations solaires photovoltaïques

Lloyd's Register

- 1 Âme souple cuivre étamé classe 5 - IEC 60228
- 2 Isolant : mélange réticulé sans halogène
Couleur : blanc
- 3 Gaine : mélange réticulé sans halogène
Couleurs standards : noir

Caractéristiques

- Température d'utilisation : -40°C à +90°C
- Température maximale admise sur l'âme : 120°C
- Température maximale sur l'âme : 250°C en court-circuit (5 secondes)
- Tension assignée : 1.0/1.0 kV A.C. - 1.5/1.5 kV D.C.
- Tension maximale : 1.2 kV A.C. - 1.8 kV D.C.
- Tension d'essai : 6.5 kV A.C. - 15 kV D.C selon EN 50395
- Non propagateur de la flamme selon IEC 60332-1-2
- Opacité des fumées selon IEC 61034-2 (faible émission de fumées)
- Gaz de combustion et corrosivité des fumées selon IEC 60754-1, IEC 60754-2 (sans halogène)
- Résistance linéique à 20°C selon IEC 60228
- Courant admissible selon EN 50618
- Excellente stabilité aux intempéries
- Enroulement à froid : -40°C
- Excellente tenue aux rayonnements UV selon EN 50618
- Vieillessement 20000h à 120°C selon IEC 60216
- Résistance à l'ozone selon EN 50396

Marquage
 OMERIN SOLARPLAST H1Z2Z2-K 1x section mm²
 - Année / Mois - 1.0/1.0 kV A.C.

Homologations - Normes

- Certifié par Lloyd's Register selon la norme EN 50618
- IEC 60228, IEC 60332-1-2, IEC 61034-2, IEC 60754-1, IEC 60754-2

Conditionnement
 Couronnes. Bobines. Tourets.

Applications
 Câble unipolaire double isolation de classe II à faible émission de fumées et de gaz corrosifs en cas d'incendie pour l'alimentation des systèmes solaires photovoltaïques répondant aux exigences de la norme EN 50618.

Section nominale (mm ²)	Composition nominale	Diamètre extérieur (mm)		Masse linéique approximative (kg/km)
		mini	maxi	
2.5	50 x 0.250	4.3	5.9	38
4	50 x 0.300	4.7	6.6	55
6	80 x 0.300	5.2	7.4	76
10	80 x 0.400	6.5	8.8	113
16	126 x 0.400	8.1	10.1	174
25	196 x 0.400	9.9	12.5	270

(Source : Omerin)

2.3. Protection des branches PV par fusible

Le Guide UTE C 15-712-1 impose une protection omnipolaire des branches contre les courts-circuits lorsque plus de 2 chaînes de modules sont mises en parallèle, afin de se prémunir face à un phénomène pouvant provoquer un départ d'incendie. Lorsque c'est le cas, des fusibles seront installés pour protéger à la fois la polarité positive et négative de chaque chaîne ou de chaque câble de groupe et ces derniers répondront aux spécifications suivantes :

- Être de type gPV et conforme à la norme NF EN 60269-1 ;
- Avoir une tension assignée compatible avec la tension maximale $U_{oc,max}$;
- Posséder un courant conventionnel de fonctionnement $I_2 = 1,45 I_n$ (avec I_n , le courant nominal dans le câble).

Les fusibles employés seront donc de type gPV (tension nominale 1500 Vdc). Nous donnons ci-dessous les caractéristiques des fusibles PV-400A-3L-15 de la marque Eaton qui pourront être employés (ou modèle équivalent chez un autre fabricant).

Gamme de livraison

Gamme			fusible
Fonction de base			cartouche fusible
Domaine d'utilisation			grande vitesse
Courant assigné d'emploi	I	A	400
Tension assignée d'emploi			DC 1500 V
Taille			3L
Facteur de zoom			75 x 205 mm
Classe d'emploi			gPV
Voyant indicateur			with indicator
Pouvoir de coupure		kA	30
Utilisable pour taille			coupleurs/interrupteurs-sectionneurs de groupe photovoltaïque
Norme/Agrément			IEC UL
Forme			corps carré avec contacts à couteaux
Normes/Réglementations			IEC 60269-6 UL 2579
Équipements complémentaires optionnels			porte-fusible SD3L-S

Caractéristiques techniques ETIM 7.0

Appareils de protection des installations, des équipements et des personnes (EG000020) / Fusible NH (EC000055)			
Electricité, Electronique, Automatisation et Commande / Installation électrique, appareillage / Insert fusible / Fusible basse tension à haut pouvoir de coupure (ecl@ss10.0.1-27-14-20-05 [AFZ800015])			
taille			autre
calibre/courant nominal assigné (In)		A	400
tension assignée (Ue)		V	1500
type de tension			DC
pouvoir de coupure nominal		kA	100
classe de fonctionnement			gPV (gamme complète protection photovoltaïque)
finition du voyant indicateur			percuteur
insulated metal gripping lugs (IMGL)			non

(Source : Eaton)

2.4. Protection des branches PV par parafoudre

Les installations photovoltaïques sont soumises, comme tout système électrique, aux risques induits par la foudre. Régulièrement, des composants de ces installations sont détruits (onduleur, modules PV) à cause de ses effets directs ou indirects, induisant une augmentation du risque électrique et du risque incendie.

Le Guide UTE C 15-712-1 impose donc une protection par parafoudre DC au niveau des boîtiers de jonction et à proximité des entrées des onduleurs, ainsi qu'une protection par parafoudre AC au niveau de la sortie de la chaîne de conversion PV. Le choix et la mise en œuvre des parafoudres sont faits conformément au guide UTE C 61-740-52.

Les parafoudres DC employés auront des caractéristiques similaires à ceux de la gamme DS60VGPV-1500G/51 de la marque Citel (ou modèle équivalent chez un autre fabricant).

Caractéristiques

Référence CITEL		DS60VGPV-600G/51	DS60VGPV-1000G/51	DS60VGPV-1500G/51
Description		Parafoudre PV de type 1+2	Parafoudre PV de type 1+2	Parafoudre PV de type 1+2
Réseau	Uocstc	Réseau PV 600 Vdc	Réseau PV 1000 Vdc	Réseau PV 1250 Vdc
Mode de connexion		+/-/PE	+/-/PE	+/-/PE
Mode de protection		MC/MD	MC/MD	MC/MD
Tension de régime perm. max	Ucpv	720 Vdc	1200 Vdc	1500 Vdc
Tenue au courant de court-circuit PV	Iscpv	1000 A	1000 A	1000 A
Courant de fonct. permanent - <i>courant de fuite à Uc</i>	Icpv	aucun	aucun	aucun
Courant résiduel - <i>courant de fuite à Ucpv</i>	Ipe	aucun	aucun	aucun
Courant de décharge maximal - <i>tenue max. 8/20 µs</i>	Imax	40 kA	40 kA	40 kA
Courant de choc par pôle - <i>tenue max. 10/350 µs</i>	Iimp	12.5 kA	12.5 kA	12.5 kA
Courant de choc total - <i>tenue max. 10/350 µs</i>	Itotal	25 kA	25 kA	25 kA
Niveau de protection MC/MD @ In	Up	2.2/2.8 kV	4.7/5.4 kV	4.7/5.4 kV
Courant de court-circuit admissible	Iscpv	1000 A	1000 A	1000 A
Déconnecteurs				
Déconnecteur thermique		interne		
Fusibles associés		sans		
Caractéristiques mécaniques				
Dimensions		voir schéma		
Raccordement au réseau		bornier vis : 6-35mm ²		
Indicateur de déconnexion		1 indicateur mécanique		
Télésignalisation		Sortie sur contact inverseur - 250V/3,5 A (AC) - 125V/3A (DC)		
Montage		Rail DIN symétrique 35 mm (EN60715)		
Température de fonctionnement		-40/+85°C		
Indice de protection		IP20		
Boîtier		Thermoplastique UL94-V0		
Conformité aux normes		EN60539-11 / UTE C61740-51		

(Source : Citel)

Il est également prévu d'employer un dispositif parafoudre de type I côté AC, positionné au plus près de la sortie d'onduleur, dont les règles de sélection sont définies par le guide UTE C 61-740-52.

2.5. Détection de défaut intégré aux onduleurs

Les onduleurs qui sont prévus pour le projet intègre tous :

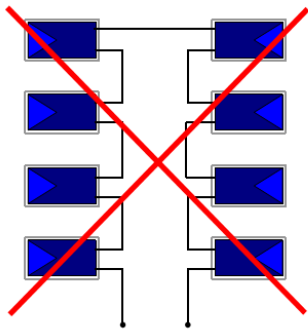
- Une détection des défauts d'isolement des câbles,
- Une détection des défauts d'arc

qui vont permettre d'inhiber le fonctionnement de l'onduleur en cas de détection d'une résistance d'isolement anormale.

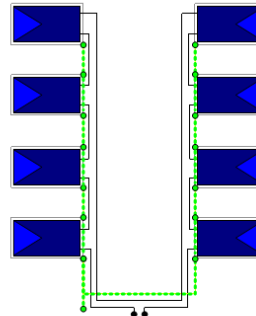
3. MISE EN ŒUVRE DU CIRCUIT DC

3.1. Circulation des câbles inter-modules

Les liaisons inter-modules seront réalisées avec les câbles et connecteurs détaillés plus haut. Ils circuleront sous le champ solaire, évitant ainsi une exposition directe au soleil et à la pluie. On veillera à minimiser la surface de boucle afin de minimiser les risques de tensions induites dues à la foudre, conformément aux dispositions du Guide UTE C 12-712-1.



Exemple de mauvais câblage : boucle induite entre polarités



Exemple de bon câblage : limitation des aires de boucles induites

3.2. Circulation des câbles jusqu'à l'entrée DC de l'onduleur

Pour les autres liaisons, les câbles circuleront dans des conduits métalliques positionnés à l'extérieur des volumes, de degré coupe-feu égal au degré de stabilité au feu du bâtiment, les protégeant contre d'éventuels chocs mécaniques.

Ces chemins de câbles seront capotés afin de protéger les câbles d'une exposition directe au soleil et aux intempéries, les capots sont maintenus par l'intermédiaire de colliers de serrage anti-UV rapidement sectionnables à l'aide d'une pince coupante. Enfin, les conduits métalliques seront mis à la terre.

3.3. Dimensionnement des câbles DC

Le réseau de câbles DC sera dimensionné conformément aux dispositions du Guide UTE C 15-712-1 :

- Chute de tension entre les modules et l'entrée DC de l'onduleur < 3% ;
- Câbles dimensionnés suivant la norme NF C 15-100, tenant compte des différents facteurs de correction définis dans la partie 5-52 de cette même norme ;
- Protections des lignes dimensionnées en tenant compte des caractéristiques des modules et du réseau, conformément au paragraphe 8 du Guide UTE C 15-712-1.

FIN DU DOCUMENT