

# Installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution

---

## **DIMENSIONNEMENT CORRIGE**

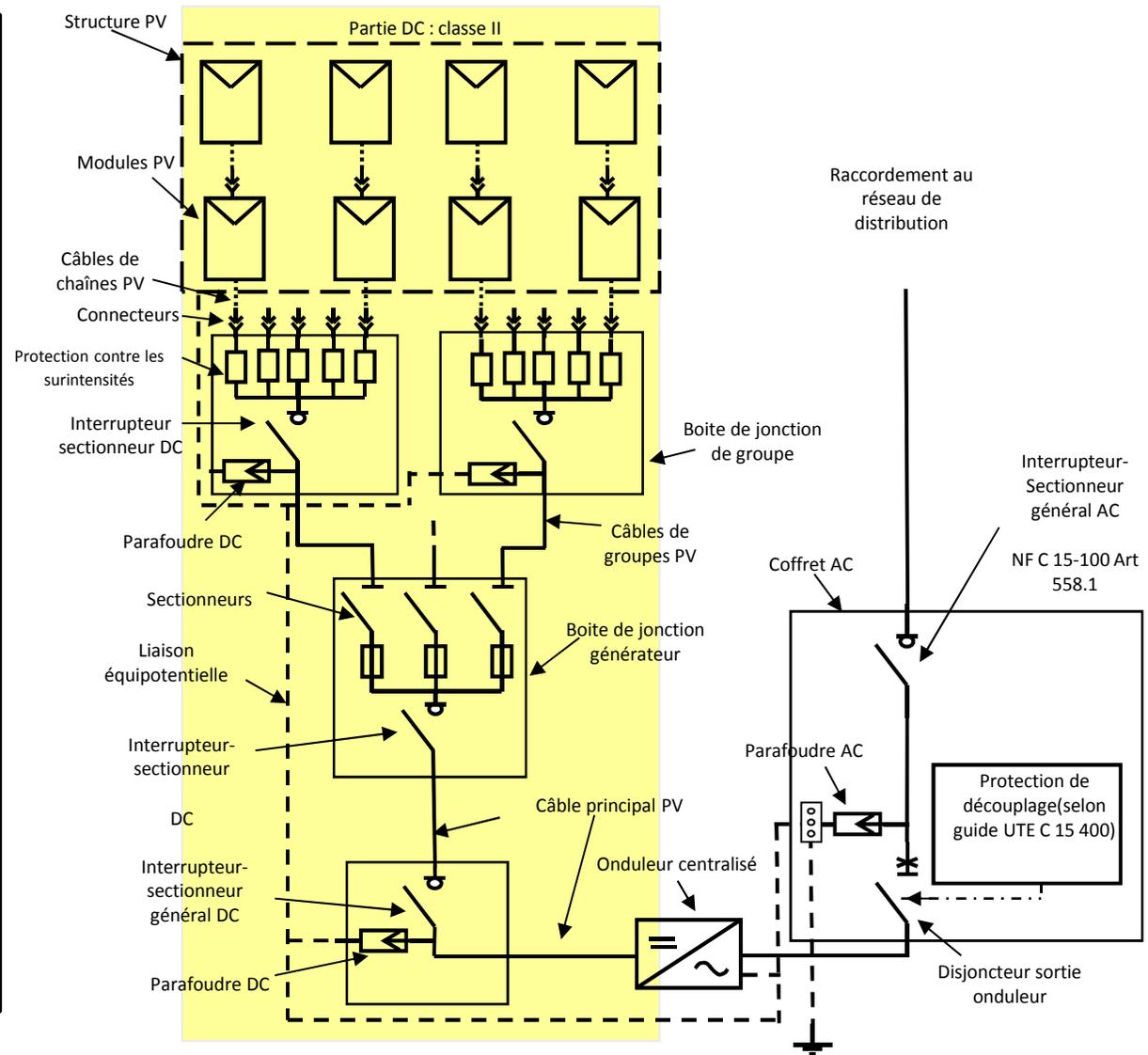
### **Composants DC et AC**

# Dimensionnement des dispositifs de protection et câbles d'une installation PV

☐ Puissance-crête : 234 kWc

☐ Modules :

- $P_c = 305 \text{ Wc}$
- $I_{sc \text{ stc}} = 6 \text{ A}$
- $I_{rm} = 15 \text{ A}$
- $I_{mpp \text{ stc}} = 5,6 \text{ A}$
- $U_{mpp} = 54,7 \text{ V}$
- $U_{oc \text{ stc}} = 64,2 \text{ V}$



# Dimensionnement en tension DC

- Tous les composants DC sont dimensionnés au minimum :
  - Tension assignée d'emploi:  $U_e \geq U_{OCMAX} = k \times U_{OCSTC}$

Température ambiante minimale °C	Facteur de correction (k)
24 à 20	1,02
19 à 15	1,04
14 à 10	1,06
9 à 5	1,08
4 à 0	1,10
-1 à -5	1,12
-6 à -10	1,14
-11 à -15	1,16
-16 à -20	1,18
-21 à -25	1, 20
-26 à -30	1,21
-31 à -35	1,23
-36 à -40	1,25

Exemple : Température ambiante min = - 10°C

$$k = 1,14$$

$$U_{OC\ stc} = 12 \times 64,2\ V = 770,4\ V$$

$$U_e \geq U_{OCMAX} = 1,14 \times 770,4V$$

$$U_e \geq U_{OCMAX} = 878V$$

# Dimensionnement de l'onduleur

---

## ❑ Règles de conception :

- $U_{co\ max} < \text{tension d'entrée max. de l'onduleur}$
- $I_{mpp\ max} < \text{Courant max de l'onduleur}$
- $0,8 P_c < P_{dc\ max} < 1,2 P_c$

## ❑ Exemple :

- $U_{co\ max} = 878\ V < \text{tension d'entrée max. de l'onduleur}$
- $I_{mpp\ max} = 64 \times 5,6\ A = 360\ A$  Courant max de l'onduleur
- $0,8 \times 234\ kW_c < P_{dc\ max} < 1,2 \times 234\ kW_c$

## ❑ Choix de l'onduleur :

- Sinvert 240 MS

# PV SYST

## Onduleur Siemens Sinvert 240 MS retenu

❑ 64 chaînes (Nc) de 12 modules en série

❑ 8 groupes (Na) de 8 chaînes en parallèle

The screenshot shows the 'Définition d'un système réseau, Variante "Nouvelle variante de simulation"' window. It is divided into several sections:

- Configuration globale du système:** Shows 1 type of sub-fields and a 'Schéma simplifié' button.
- Résumé système global:** A table with the following data:

Nombre de modules	768	Puissance PV nominale	234 kWp
Surface modules	1477 m <sup>2</sup>	Puissance PV maximale	217 kWdc
Nbre d'onduleurs	1	Puissance AC nominale	210 kWac
- Système homogène:** Includes 'Aide au dimensionnement' with 'No Sizing' selected, 'Entrez Pnom désirée' set to 234.0 kWp, and 'ou surface disponible' set to 1475 m<sup>2</sup>.
- Sélection du module PV:** 'Tri modules par' is set to 'Fabricant'. Selected module: 305 Wp 46V Si-poly TRE 305. Dimensions: V<sub>pp</sub> (60°C) 44.8 V, V<sub>oc</sub> (-10°C) 72.9 V.
- Sélection de l'onduleur:** 'Tri onduleurs par:' is set to 'Fabricant'. Selected inverter: 210 kW 350-750 V 50 Hz Sinvert 240 MS - LV Siemens. 'Nb. d'onduleurs' is 1. 'Tension de fonctionnement' is 350-750 V, 'Tension entrée maximale' is 900 V, and 'Puissance globale ond.' is 210 kWac.
- Dimensionnement du champ:** 'Nombre de modules et chaînes' shows 'Mod. en série' as 12 and 'Nb. chaînes' as 64. 'Conditions de fonctionnement' table:

V <sub>mpp</sub> (60°C)	538 V
V <sub>mpp</sub> (20°C)	665 V
V <sub>oc</sub> (-10°C)	875 V

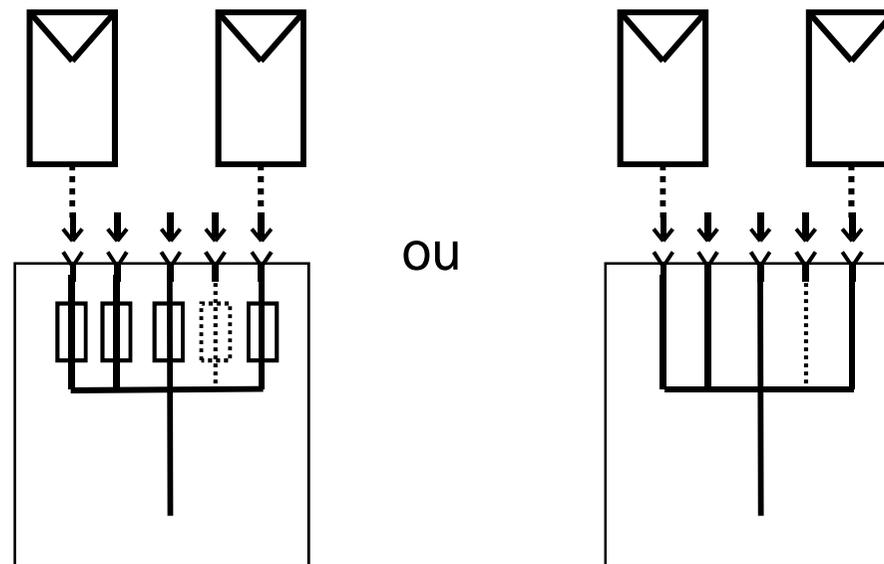
'Irradiance plan' is 1000 W/m<sup>2</sup>. 'Puiss. max. en fonctionnement' is 208 kW. 'Puiss. nom. champ (STC)' is 234 kWp.

Buttons at the bottom include 'Besoins utilisateur', 'Pertes détaillées', 'Annuler', and 'OK'.

# Protection des modules PV

## □ Nécessité de protection des modules PV ?

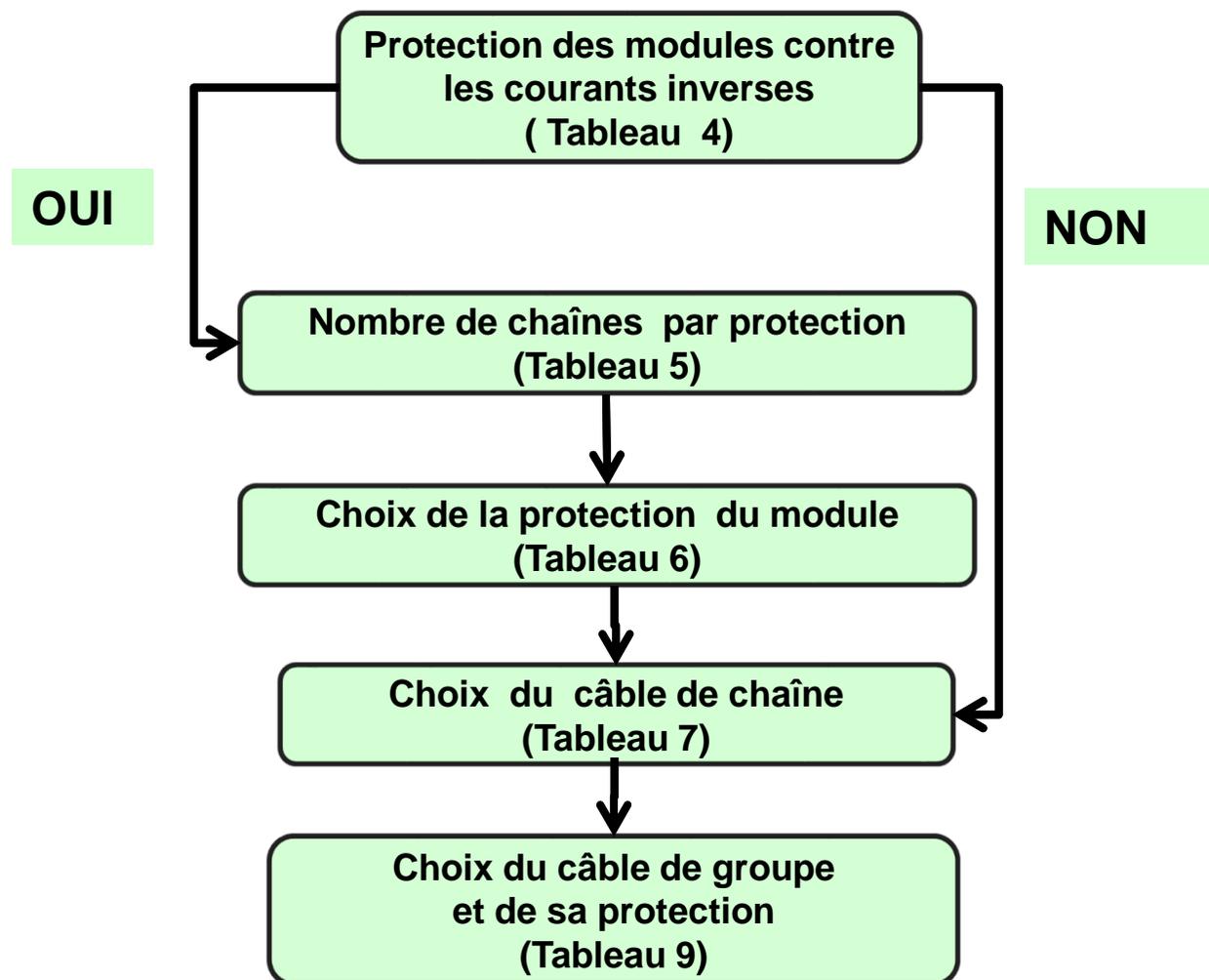
- **Nc** : nombre de chaînes de modules PV en parallèle dans un générateur PV



# Méthodologie

## □ Données d'entrée

- $N_c = 64$
- $N_a = 8$
- $I_{sc\ stc} = 6\text{ A}$
- $I_{rm} = 15\text{ A}$



# Protection des modules PV

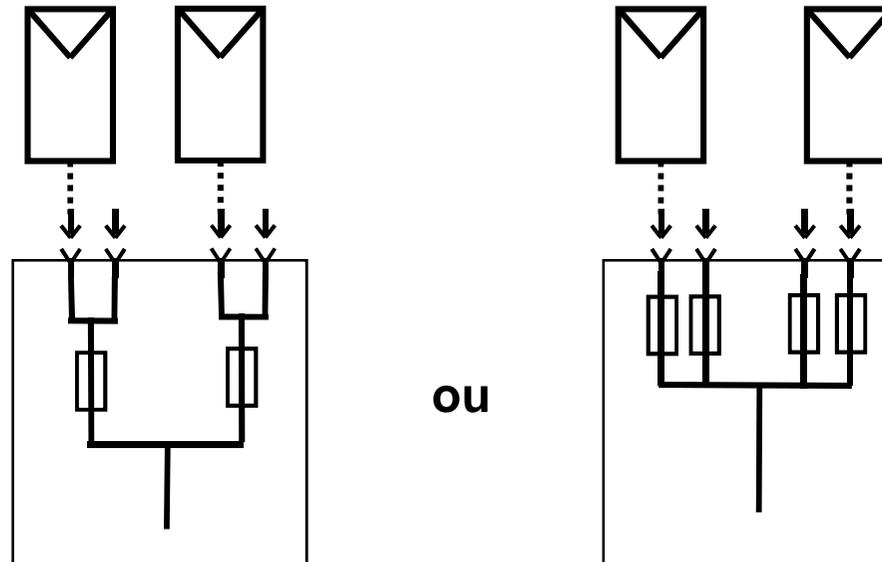
- Détermination du nombre maximal de chaines en // sans protection :  $Nc_{max}$  (tableau n°3)

Tenue en courant inverse du module	$Nc_{max}$
$1 I_{scSTC} \leq I_{RM} < 2 I_{scSTC}$	2
$2 I_{scSTC} \leq I_{RM} < 3 I_{scSTC}$	3
$3 I_{scSTC} \leq I_{RM} < 4 I_{scSTC}$	4
$4 I_{scSTC} \leq I_{RM} < 5 I_{scSTC}$	5
<b>Cas général :</b>	$Nc_{max} \leq (1 + I_{RM} / I_{scSTC})$

- Si  $N_c > Nc_{max}$   $\longrightarrow$  **Prévoir dispositif de protection contre les courants inverses**
- Exemple :  $I_{scSTC} = 6 \text{ A}$   $I_{RM} = 15 \text{ A}$   
 $Nc_{max} < 3,5$  donc  $Nc_{max} = 3$  or  $Nc = 64$  donc protection des chaines de modules PV nécessaire

# Protection des modules PV

- ❑ 1 seule protection pour plusieurs chaînes de modules PV ?
  - **N<sub>p</sub>** : nombre de chaînes de modules PV en parallèle avec protection unique



# Protection des modules PV

- Nombre maximum  $N_{p_{max}}$  de chaines en // par protection (tableau n°4)

$I_{scmax} = Ki I_{scSTC}$  avec  $Ki \geq 1,25$  (guide C15 712-1 p 62)

Tenue en courant inverse du module	$N_{p_{max}}$
$1,4 I_{scmax} \leq I_{RM} < 3,8 I_{scmax}$	1
$3,8 I_{scmax} \leq I_{RM} < 6,2 I_{scmax}$	2
$6,2 I_{scmax} \leq I_{RM} < 8,6 I_{scmax}$	3
Cas général :	$N_{p_{max}} \leq 0,5 (1 + I_{RM} / I_{scmax} )$

- Exemple :  $I_{scSTC} = 6 A$   $I_{RM} = 15 A$

$$N_{p_{max}} \leq 0,5 (1 + 15 / 1,25 \times 6) \qquad N_{p_{max}} \leq 1,5 \text{ donc}$$

$N_{p_{max}} = 1$ : Nécessité d'une protection individuelle pour chaque chaîne

# Protection des modules PV

## □ Dimensionnement des dispositifs de protection des modules PV (tableau 5)

<b>Nc</b> Nombre de chaînes du générateur	<b>Np</b> Nombre de chaînes par dispositif de protection	Courant inverse maximal dans une chaîne	Obligation de Protection	$I_n$ Courant assigné des dispositifs de protection
<b>1</b>	-	-	NON	-
<b>2</b>	-	$I_{scmax}$		-
$Nc \leq Nc_{max}$	-	$(Nc - 1) I_{scmax}$		-
$Nc > Nc_{max}$	<b>1</b>	$(Nc - 1) I_{scmax}$	OUI	$I_n \geq 1,1 I_{scmax}$ $I_n \leq I_{RM}$
	<b>Np &gt; 1</b>	$(Nc - 1) I_{scmax}$		$I_n \geq Np 1,1 I_{scmax}$ $I_n \leq I_{RM} - (Np - 1) I_{scmax}$

□ Exemple :  $Nc (64) > Nc_{max} (3)$  et  $Np = 1$

$$1,1 I_{scmax} \leq I_n \leq I_{RM} \text{ soit } 8,25 \text{ A} \leq I_n \leq 15 \text{ A}$$

On choisit  $I_n = 10\text{A}$  comme calibre de fusible de chaîne

# Câbles de chaînes PV

## □ Courant admissible dans les câbles de chaînes PV (tableau 6)

<b>Nc</b> Nombre de chaînes du générateur	<b>Np</b> Nombre de chaînes par dispositif de protection	Courant inverse maximal dans un câble de chaîne	Avec Protection ?	$I_n$ Courant assigné des dispositifs de protection des modules	$I_z$ Courant admissible des câbles de chaînes
<b>1</b>	-	-	NON	-	$I_z \geq I_{scmax}$
<b>2</b>	-	$I_{scmax}$		-	$I_z \geq I_{scmax}$
<b>Nc</b>	-	$(Nc - 1) I_{scmax}$		-	$I_z \geq (Nc - 1) I_{scmax}$
<b>Nc</b>	<b>1</b>	$(Nc - 1) I_{scmax}$	OUI	$I_n$ déterminé par le tableau 9a	$I_z \geq I_2$ si $Nc < 20$ $I_z \geq I_n$ si $Nc \geq 20$
	<b>Np &gt; 1</b>	$(Nc - 1) I_{scmax}$			$I_z \geq k_p I_2$ si $Nc/Np < 20$ $I_z \geq k_p I_n$ si $Nc/Np \geq 20$

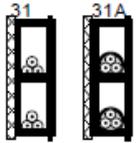
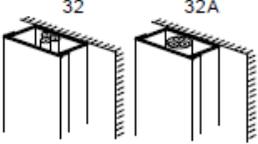
- $I_z$ : courant admissible dans le câble
- $I_2 = 1,45 I_n$  pour les fusibles et  $1,3 I_n$  pour les disjoncteurs

# Câbles de chaînes PV

## Dimensionnement des câbles de chaînes (exemple)

- ❑  $N_c = 64 > 20$
- ❑  $I_z \geq I_n$  avec  $I_n = 10 \text{ A}$
- ❑ Choix du câble
  - Section des câbles de chaînes :  $4 \text{ mm}^2$  (idem câbles modules)
  - Câble isolé aux élastomères (famille PR)
  - Calcul du courant admissible  $I_z$  prenant en compte les conditions suivantes :
    - 2 Câbles unipolaires adjacents sur parois ( $T_{\text{âme}} = 90^\circ\text{C max}$ )
    - Mode de pose : 31 et 32 tableau 52C de la C15-100

Tableau 52C - Exemples de modes de pose (suite)

Exemple	Description	Réf.
	Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulottes fixées aux parois. - en parcours horizontal,	31
	- en parcours vertical.	32

# Choix des câbles de chaînes PV (exemple)

## ➤ Courant admissible : tableau 52G : méthode de référence B

Tableau 52G - Choix des méthodes de référence pour les courants admissibles en fonction des modes de pose

Pour chacun des modes de pose décrits dans le [tableau 52C](#), le tableau indique la méthode de référence - repérée par l'une des lettres : B, C, D, E ou F - à appliquer et les facteurs de correction éventuels.

Mode de pose (numéro de référence du tableau 52C)	Méthode de référence	Facteurs de correction	Remarques
1	B	0,77	
2	B	0,70	
3	B	-	
3A	B	0,9	
4	B	-	
4A	B	0,9	
5	B	-	
5A	B	0,9	
11	C	-	
11A	C	0,95	
12	C	-	
13	E, F	-	
14	E, F	-	
16	E, F	-	
17	E, F	-	
18	C	1,21	
21	B	0,95	
22	B	0,95	
22A	B	0,805	
23	B	0,95	
23A	B	0,805	
24	B	0,95	
24A	B	0,805	
25	B	0,95	
31	B	-	
31A	B	0,9	
32	B	-	
32A	B	0,9	
33	B	-	
33A	B	0,9	
34	B	-	
34A	B	0,9	
...	-	...	

# Choix des câbles de chaînes PV (exemple)

➤ Courant admissible : 42 A

Tableau 52H - Courants admissibles (en ampères) dans les canalisations pour les méthodes de référence B, C, E et F

À température ambiante 30° C

MÉTHODE DE RÉFÉRENCE	ISOLANT ET NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGÉS													
	B	C	E	F	S (mm²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	PVC 3	PVC 2		PR 3							PR 2			
C		PVC 3		PVC 2	PR 3							PR 2		
E			PVC 3		PVC 2	PR 3							PR 2	
F				PVC 3		PVC 2	PR 3							PR 2
CUIVRE														
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26						
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36						
4	28	32	34	36	40	42	45	49						
6	36	41	43	48	51	54	58	63						
10	50	57	60	63	70	75	80	86						
16	68	76	80	85	94	100	107	115						
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161					
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200					
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242					
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310					
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377					
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437					
150		299	319	344	371	395	441	473	504					
185		341	364	392	424	450	506	542	575					
240		403	430	461	500	538	599	641	679					
300		464	497	530	576	621	693	741	783					
400					656	754	825		940					
500					749	868	946		1083					
630					855	1005	1088		1254					

# Choix des câbles de chaînes PV (exemple)

- Coefficient correction température ambiante 70°C (tableau 52K) : 0,58

Tableau 52K - Facteurs de correction pour des températures ambiantes différentes de 30 °C à appliquer aux valeurs de courants admissibles du **tableau 52H**

Température ambiante (°C)	Élastomère (Caoutchouc)	Isolation	
		PVC	PR / EPR
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,06	1,04
35	0,93	0,94	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71
65	-	-	0,65
70	-	-	0,58
75	-	-	0,50
80	-	-	0,41
85	-	-	-
90	-	-	-
95	-	-	-

# Choix des câbles de chaînes PV (exemple)

- Coefficient correction 4 circuits enfermés (tableau 52N) : 0,65

Tableau 52N - Facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles multiconducteurs

REF	DISPOSITION DE CIRCUITS OU DE CABLES	FACTEURS DE CORRECTION												METHODES DE REFERENCE	MODES DE POSE
		Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20		
1	Enfermés	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40	B, C,	1, 2, 3, 3A, 4, 4A, 5, 5A, 21, 22, 22A, 23, 23A, 24, 24A, 25, 31, 31A, 32, 32A, 33, 33A, 34, 34A, 41, 42, 43, 71
2	Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles	C	11, 12		
3	Simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64		11A			
4	Simple couche sur des tablettes perforées	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72		E, F	13		
5	Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, treillis soudés etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78		14, 16, 17			

# Choix des câbles de chaînes PV (exemple)

- Câbles posés en 2 couches (tableau 52O) : 0,8

Tableau 52O - Facteurs de correction pour pose en plusieurs couches pour les références 1 à 5 du tableau 52N

Lorsque les câbles sont disposés en plusieurs couches, les facteurs de correction suivants doivent être appliqués aux valeurs de courants admissibles:

Nombre de couches	2	3	4 ou 5	6 à 8	9 et plus
Coefficient	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66

Ces facteurs de correction sont éventuellement à multiplier par ceux du tableau 52N.

- courant admissible  $I_z$  prenant en compte les conditions précédentes :
  - $I_z = 42 \times 0,58 \times 0,65 \times 0,8 = 12,7 \text{ A} > I_n (10\text{A})$
  - **Conclusion : La section de 4 mm<sup>2</sup> est appropriée pour le courant admissible mais reste à vérifier la chute de tension correspondante**

## N.B. Attention aux conditions de pose :

- Si nombreux circuits en plusieurs couches : coefficient de correction global = 0,15
- $I_z = 42 \times 0,15 = 6,3 \text{ A} < I_n (10\text{A})$  donc câble non adapté :  
=> Augmentation de section et/ou changement type de câble ( $T^{\circ}\text{max } 120^{\circ}\text{C}$ )

# Câbles de groupes PV

- ❑ Courant admissible dans les câbles de groupes PV et choix des dispositifs de protection associés (tableau 7)
- ❑  $N_a$  : nombre de groupes en parallèle

$N_a$ Nombre de groupes du générateur	Courant inverse maximal dans un câble de groupe	Avec protection ?	$I_n$ Courant assigné des dispositifs de protection de groupes	$I_z$ Courant admissible des câbles de groupes
1	-	NON	-	$I_z \geq I_{scmax\_Groupe}$
2	$I_{scmax\_Groupe}$		-	$I_z \geq I_{scmax\_Groupe}$
$N_a > 2$	$(N_a - 1) I_{scmax\_Groupe}$		-	$I_z \geq (N_a - 1) I_{scmax\_Groupe}$
$N_a > 2$	$(N_a - 1) I_{scmax\_Groupe}$	OUI	$I_n \geq 1,1 I_{scmax\_Groupe}$	$I_z \geq I_2$ si $N_a < 20$ $I_z \geq I_n$ si $N_a \geq 20$

# Câbles de groupes PV (sans protection chaine)

---

## Câbles de groupes PV sans dispositifs de protection associés (cas 1)

□ Na : nombre de groupes en parallèle = 8

### Dimensionnement des câbles :

□  $I_z \geq (N_a - 1) I_{scmax\_Groupe}$  soit  $7 \times 1,25 \times 48 = 420 \text{ A}$

□ Facteur de correction globale (température, mode de pose,...) :  $K = 0,75$

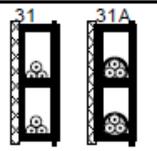
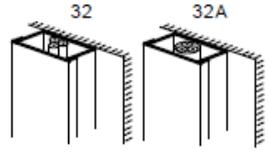
D'où  $I_z \geq 420 / 0,75$  soit  $I_z \geq 560 \text{ A}$

# Choix des câbles de groupes PV (sans protection chaîne)

Tableau 52G - Choix des méthodes de référence pour les courants admissibles en fonction des modes de pose

Pour chacun des modes de pose décrits dans le tableau 52C, le tableau indique la méthode de référence - repérée par l'une des lettres : B, C, D, E ou F - à appliquer et les facteurs de correction éventuels.

Tableau 52C - Exemples de modes de pose (suite)

Exemple	Description	Réf.
	Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des goulottes fixées aux parois. - en parcours horizontal,	31
	- en parcours vertical.	32

Mode de pose (numéro de référence du tableau 52C)	Méthode de référence	Facteurs de correction	Remarques
1	B	0,77	
2	B	0,70	
3	B	-	
3A	B	0,9	
4	B	-	
4A	B	0,9	
5	B	-	
5A	B	0,9	
11	C	-	
11A	C	0,95	
12	C	-	
13	E, F	-	
14	E, F	-	
16	E, F	-	
17	E, F	-	
18	C	1,21	
21	B	0,95	
22	B	0,95	
22A	B	0,865	
23	B	0,95	
23A	B	0,865	
24	B	0,95	
24A	B	0,865	
25	B	0,95	
31	B	-	
31A	B	0,9	
32	B	-	
32A	B	0,9	
33	B	-	
33A	B	0,9	
34	B	-	
34A	B	0,9	
...	-	...	

# Câbles de groupes PV (sans protection chaine)

Tableau 52H - Courants admissibles (en ampères) dans les canalisations pour les méthodes de référence B, C, E et F

MÉTHODE DE RÉFÉRENCE	ISOLANT ET NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGÉS													
	B	C	E	F	S (mm <sup>2</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2										
C		PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2									
E			PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2								
F				PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 2							
S (mm <sup>2</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
CUIVRE														
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26						
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36						
4	28	32	34	36	40	42	45	49						
6	36	41	43	48	51	54	58	63						
10	50	57	60	63	70	75	80	86						
16	68	76	80	85	94	100	107	115						
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161					
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200					
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242					
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310					
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377					
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437					
150		299	319	344	371	395	441	473	504					
185		341	364	392	424	450	506	542	575					
240		403	430	461	500	538	599	641	679					
300		464	497	530	576	621	693	741	783					
400					656	754	825	940	940					
500					749	868	946	1083	1083					
630					855	1005	1088	1254	1254					

Choix de câbles de groupes : cuivre unipolaire U1000R2V S = 300 mm<sup>2</sup>

# Câbles de groupes PV (protection chaine)

---

## Câbles de groupes PV avec dispositifs de protection associés (cas 2)

- $N_a$  : nombre de groupes en parallèle = 8

## Dimensionnement des dispositifs de protection

- $I_n \geq 1,1 I_{scmax}$  groupe soit  $I_n \geq 1,1 \times 1,25 \times 48 \text{ A} = 66 \text{ A}$
- Calibre de la protection :  $I_n = 80 \text{ A}$

## Dimensionnement des câbles de groupes

- $I_z \geq I_2$  ( $N_a < 20$ ) avec  $I_2 = 1,3 I_n$  pour disjoncteur et  $I_2 = 1,45 I_n$  pour fusible
- Facteur de correction globale (température, mode de pose, ...) :  $K = 0,75$   
d'où  $I_z \geq (80 \times 1,45) / 0,75$  (si fusible) soit  $I_z \geq 154 \text{ A}$

# Câbles de groupes PV (exemple)

Tableau 52H - Courants admissibles (en ampères) dans les canalisations pour les méthodes de référence B, C, E et F

MÉTHODE DE RÉFÉRENCE	ISOLANT ET NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGÉS													
	B	C	E	F	S (mm <sup>2</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	PVC 3	PVC 2			PR 3						PR 2			
C		PVC 3			PVC 2	PR 3						PR 2		
E			PVC 3		PVC 2	PR 3							PR 2	
F				PVC 3		PVC 2	PR 3							PR 2
S (mm <sup>2</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
CUIVRE														
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26						
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36						
4	28	32	34	36	40	42	45	49						
6	36	41	43	48	51	54	58	63						
10	50	57	60	63	70	75	80	86						
16	68	76	80	85	94	100	107	115						
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161					
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200					
50	134	144	153	166	179	192	207	225	242					
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310					
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377					
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437					
150		299	319	344	371	395	441	473	504					
185		341	364	392	424	450	506	542	575					
240		403	430	461	500	538	599	641	679					
300		464	497	530	576	621	693	741	783					
400					656	754	825		940					
500					749	868	946		1083					
630					855	1005	1088		1254					

## ❑ Choix de câbles de groupes :

- cuivre unipolaire U1000R2V S = 35 mm<sup>2</sup> : section appropriée sous réserve de vérification des chutes de tension

# Câble principal PV

---

- Pour un générateur de Nc chaînes connectées en parallèle, le câble principal DC doit être dimensionné avec le courant admissible suivant :

$$I_z \geq I_{SCMAX\_GENERATEUR}$$

NB : Le choix du courant admissible du câble doit tenir compte des différents facteurs de correction (température, mode de pose,...)

- Exemple :

$$I_z \geq 1,25 \times 6 \times 64$$

$$I_z \geq 480 \text{ A}$$

Facteurs de correction globale (température, mode de pose,...) :  $K = 0,7$

$$I_z \geq 480 / 0,7$$

$$I_z \geq 685 \text{ A}$$

**Câble cuivre unipolaire U1000R2V :  $S = 400 \text{ mm}^2$**

# Sectionneur et interrupteur sectionneur DC (exemple)

---

- ❑ Choix des sectionneurs fusible des boites de jonction
  - Calibre 10 A, pour fusible taille 10,3 x 38
  - $U_{OCMAX} > 878 \text{ V}$
  
- ❑ Choix de l'interrupteur-sectionneur boite de jonction
  - $I_n = 8 \times I_{scmax} = 8 \times 1,25 \times 6 = 60\text{A}$
  - Calibre : 100 A - 1000V DC
  
- ❑ Choix des sectionneurs fusible de la boite de raccordement
  - Calibre 80 A, pour fusible taille 120 (couteau)
  - $U_{OCMAX} > 878 \text{ V}$
  
- ❑ Choix de l'interrupteur-sectionneur boite de raccordement
  - $I_n = N_c \times I_{sc \text{ max}} = 64 \times 6 \times 1,25 = 480\text{A}$
  - Calibre : 500 A - 1000V DC

# Chute de tension câblage DC

## ❑ Calcul de la chute de tension cumulée entre modules PV et onduleur

$\Delta V \text{ total} = \Delta V \text{ (câble de chaîne)} + \Delta V \text{ (câble de groupe)} + \Delta V \text{ (câble principal)}$

**Chute de tension maximum autorisée : 3 %**

## ❑ Calcul de la chute de tension pour un tronçon

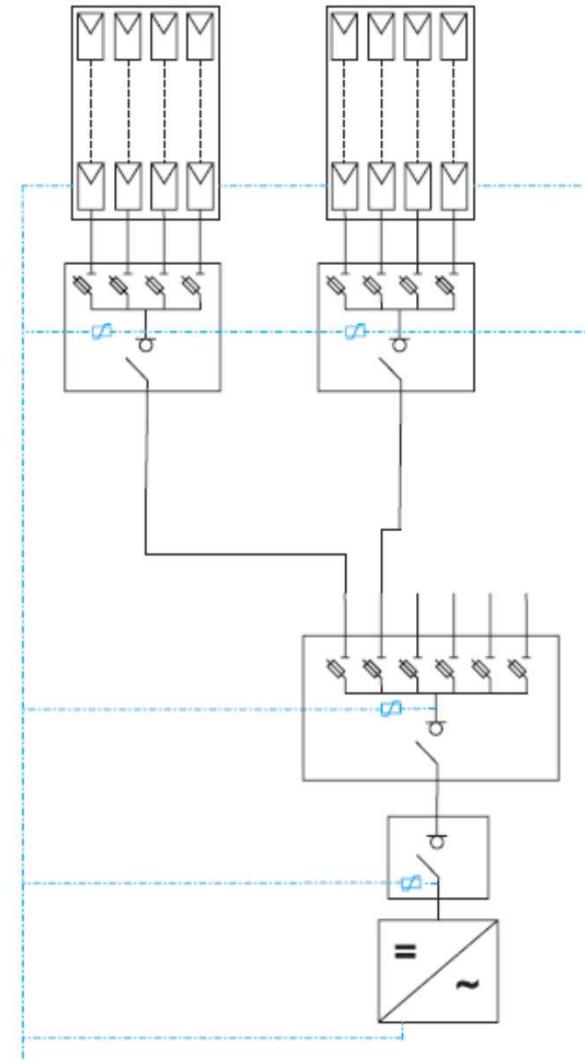
$$\Delta V = 2 (\rho_1 L/S) \times I_{mpp} \text{ (stc)}$$

- $\Delta V$  : chute de tension, en volts
- $\rho_1$  : résistivité du conducteur en service normal, soit 1,25 fois celle à 20 °C ( $\rho_1 = 0,023 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  pour le cuivre;  $\rho_1 = 0,037 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  pour l'aluminium)
- L : longueur de la canalisation, en mètres
- S : section des conducteurs en mm<sup>2</sup>
- $I_{mppSTC}$  : courant de référence, en ampères

Chute de tension relative :

$$\Delta V / V \text{ (%) = } 100 \Delta V / U_{mppSTC}$$

- $U_{mppSTC}$  : tension de référence, en volts



# Chute de tension câblage DC (exemple)

- ❑ Résultats du calcul de la chute de tension pour les différents tronçons

CHUTE DE TENSION COURANT CONTINU (C15-712)															
Départ	Arrivée	Modules en série	Strings en parallèle	Longueur "aller"	Section	Conducteur	Tension	Intensité	Puissance	Resistivité	R (Ω)	D sur gaine	DU (V)	DU (%)	DU total [%]
CHAINE	BJP groupe	12	1	20	4 mm <sup>2</sup>	Cuivre	658,4 V	5,58 A	3 674 W	0,023	0,230	7,6 mm	1,28	0,19%	2,10%
BJP groupe	Boîte de raccordement	12	8	200	35 mm <sup>2</sup>	Cuivre	658,4 V	44,64 A	29 391 W	0,023	0,263	13,5 mm	11,73	1,78%	
Boîte de raccordement	ONDULEUR	12	64	20	400 mm <sup>2</sup>	Cuivre	658,4 V	357,12 A	235 128 W	0,023	0,002	34,5 mm	0,82	0,12%	

CHUTE DE TENSION COURANT CONTINU (C15-712)															
Départ	Arrivée	Modules en série	Strings en parallèle	Longueur "aller"	Section	Conducteur	Tension	Intensité	Puissance	Résistivité	R (Ω)	D sur gaine	DU (V)	DU (%)	DU total [%]
CHAINE	BJP groupe	12	1	20	4 mm <sup>2</sup>	Cuivre	658,4 V	5,58 A	3 674 W	0,023	0,230	7,6 mm	1,28	0,19%	0,98%
BJP groupe	Boîte de raccordement	12	8	200	95 mm <sup>2</sup>	Cuivre	658,4 V	44,64 A	29 391 W	0,023	0,097	19,0 mm	4,32	0,66%	
Boîte de raccordement	ONDULEUR	12	64	20	400 mm <sup>2</sup>	Cuivre	658,4 V	357,12 A	235 128 W	0,023	0,002	34,5 mm	0,82	0,12%	

# Protection de découplage

---

- ❑ Déconnexion:
  - Défaut réseau public
  - Disparition de l'alimentation du réseau
  - Variation de la tension ou de la fréquence
- ❑ Protection découplage conforme au guide UTE C 15-400
  - De type B1 pour installation < 250 kVA
  - De type H pour installation > 250 kVA
- ❑ Peut être intégrée dans des onduleurs < 250 kVA (Pré-norme DIN VDE 0126-1-1 )

# Câblage et protection AC

---

## ❑ Onduleur

- Classe I
- Mise à la terre de la masse par liaison équipotentielle

## ❑ Protection contre les surcharges

- Conformément aux prescriptions de l'article 433 de la norme NF C 15-100
- $I_b$  (courant d'emploi) =  $I_{max}$  du fabricant ou  $1,1 I_n$  (courant nominal)

## ❑ Exemple

- $I_b$  (courant d'emploi) =  $1,1 I_n$  (courant nominal) soit  $1,1 \times 289 \text{ A}$
- $I_b$  = courant max sortie onduleur : 318 A

# Câblage et protection AC (exemple)

---

## □ Dimensionnement du disjoncteur (AGCP)

- $I_n \geq I_b$  soit  $I_n \geq 318$  A
- Calibre de la protection :  $I_n = 400$  A

## □ Dimensionnement de l'interrupteur-sectionneur sortie onduleur

- $I_n \geq I_b$  soit  $I_n \geq 318$  A
- Calibre :  $I_n = 400$  A



## □ Dimensionnement du câble

- $I_z \geq I_b$  (pas de surcharge possible)
- Facteur de correction globale (température, mode de pose,...) :  $K = 0,75$   
d'où  $I_z \geq 318 / 0,75$  soit  $I_z \geq 424$  A

**Choix de câble : cuivre U1000R2V : S = 3 x 185 mm<sup>2</sup>**

# Chute de tension câblage AC

---

- ❑ Chute de tension maximale autorisée entre les bornes AC de l'onduleur et le point de livraison (NF C 14-100) de 3 % à puissance nominale du ou des onduleurs
- ❑ Recommandé de limiter cette chute de tension à 1 %
  - Limite les pertes d'énergie
  - Limite les découplages momentanés de l'onduleur

$$\Delta V = b ( \rho_1 L/S \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi ) I_b$$

Avec  $\Delta V$  : chute de tension, en volts

b : coef de 1 pour triphasé phase-neutre, 2 mono, et racine de 3 pour le tri entre phases.

$\rho_1$  : résistivité du conducteur en service normal, soit 1,25 fois celle à 20 °C  $\rho_1 = 0,0225 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  pour le cuivre;  $\rho_1 = 0,036 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$  pour l'aluminium

L : longueur de la canalisation, en mètres

S : section des conducteurs, en  $\text{mm}^2$

$\cos\varphi$  : facteur de puissance

$I_b$  : courant maximal d'emploi, en ampères

$\lambda$  : réactance linéique des conducteurs. En l'absence d'information, prendre  $0,08 \text{ m}\Omega / \text{m}$

$$\Delta V/V (\%) = 100 \Delta V/V_o \quad (V_o : \text{tension entre phase et neutre en volts})$$

# Chute de tension câblage AC (exemple)

- Résultat du calcul de la chute de tension pour les différents tronçons

CHUTE DE TENSION COURANT ALTERNATIF (C15-100)																		
Départ	Arrivée	Niveau de tension	Puissance d'injection	Nombre d'appareils	Longueur "aller"	Section	Conducteur	Tension	Intensité	Puissance	Resistivité	Cos $\phi$	Réactance linéique	R ( $\Omega$ )	D sur gaine	DU (V)	DU (%)	DU total [%]
ONDULEUR	CR	TRI 400V	220 kVA	1	5	185 mm <sup>2</sup>	Cuivre	400	318 A	220 kVA	0,023	1	0,00008	0,0006216	25,5 mm	0,20	0,09%	0,94%
TGBT PV	PDL	TRI 400V	220 kVA	1	50	185 mm <sup>2</sup>	Cuivre	400	318 A	220 kVA	0,023	1	0,00008	0,0062162	25,5 mm	1,97	0,86%	

# Protection contre les surtensions d'origine atmosphérique (exemple)

---

## □ Choix et caractéristiques des parafoudres DC (selon guides C61 740-51 et C61 740-52)

- Parafoudre de type 2
- $U_p$ : niveau de protection du parafoudre
  - $U_p < 80\% U_w$  (tension de tenue aux chocs) pour les modules PV soit  $U_p < 0,8 \times 8 = 6,4$  kV
  - $U_p < 80\% U_w$  (tension de tenue aux chocs) pour l'onduleur soit  $U_p < 0,8 \times 5,1 = 4$  kV
  - On retiendra un parafoudre  $U_p = 4$  kV
- $I_{n \text{ parafoudre}} = 12,5$  kA
- $I_{\text{max}} = 25$  kA
- $U_{\text{pv max}} = 1000$  V