

A D E M E



GENERATEURS PHOTOVOLTAIQUES RACCORDES AU RESEAU

SPECIFICATIONS TECHNIQUES RELATIVES A LA PROTECTION DES PERSONNES ET DES BIENS

Guide pratique à l'usage des bureaux d'étude et installateurs

Version 01/06/06



Syndicat des Energies Renouvelables
37 rue Lafayette
75 PARIS

AVANT-PROPOS

Ce guide de spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens pour les générateurs photovoltaïques raccordés au réseau, a été rédigé par M. Gérard Moine, ingénieur systèmes photovoltaïques chez Transénergie, pour le compte du Syndicat des Energies Renouvelables (S.E.R.) avec l'aide du Département des Énergies Renouvelables de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME).

Le contenu de ce guide a été validé par un groupe de travail du SER, constitué des représentants des principaux acteurs français du photovoltaïque raccordé au réseau, notamment :

- AET France (ensemblier)
- Apex BP Solar (ensemblier)
- Photowatt (ensemblier)
- Sharp France (ensemblier)
- Sunwatt (ensemblier)
- Tecsol (bureau d'étude)
- Tenesol (ensemblier)
- Transénergie (bureau d'étude)
- Hespul (association)

Ce document a pour objectif d'aider les bureaux d'études et installateurs à la conception et la mise en œuvre de systèmes photovoltaïques, par des règles pratiques, inspirées de guides européens existants.

Toute remarque et suggestion d'amélioration de ce document sont les bienvenues et peuvent être transmises à l'auteur pour une prise en compte lors d'une édition ultérieure.

Syndicat des Energies Renouvelables
Philippe Chartier
37 rue Lafayette
75009 PARIS
Tél : 01 48 78 05 60
philippe.chartier@enr.fr

TRANSENERGIE
Gérard Moine
3 D Allée c. Debussy
69130 ECULLY
Tél : 04 72 86 04 16
gmoine@transenergie.fr

ADEME/DER
Fabrice Juquois
500 route des Lucioles
06560 SOPHIA ANTIPOLIS
tél : 04 93 95 79 12
fabrice.juquois@ademe.fr

SER, Paris, 2006

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le code de la propriété intellectuelle (Art. L122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le code pénal. Seules sont autorisées (Art. L122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L122-10 à L122-12 du même code, relatives à la reproduction par reprographie.

1 INTRODUCTION

1.1 Domaine traité

L'objet de ce document est de préciser les spécifications techniques des installations photovoltaïques connectées au réseau à l'usage des concepteurs et des installateurs.

Il traite essentiellement des spécifications relatives à la protection des personnes et des biens pour ce qui concerne la partie génération photovoltaïque quelque soit le niveau de puissance.

Ce document est complémentaire à d'autres documents déjà existants à savoir :

- Guide « protection contre les effets de la foudre dans les installations faisant appel aux énergies renouvelables » (ADEME - 2001)
- Trame de contrôle des installations PV raccordées réseau (ADEME – 2005)

Les principes de conception énergétique et d'intégration des générateurs photovoltaïques sont plus particulièrement traités dans le Guide de rédaction du cahier des charges techniques de consultation à destination du maître d'ouvrage (ADEME- 2004).

Les conditions de raccordement des installations photovoltaïques au réseau sont plus particulièrement traitées dans les documents suivants :

- Référentiel de raccordement au réseau BT des installations PV <36 kVA (EDF – 2003)
- Référentiel de raccordement au réseau BT des installations >36 kVA (EDF – à venir)
- Référentiel de raccordement au réseau HTA des installations >250 kVA (EDF – à venir)

Les systèmes photovoltaïques « de sécurisation » ne sont pas spécifiquement traités dans cette première édition.

1.2 Normes

L'installation des matériels sera soumise au respect des normes de l'industrie photovoltaïque et des normes relatives aux installations électriques basse tension, notamment :

- NF C 15-100 (décembre 2002) : installations électriques à basse tension : Règles,
- UTE C 57-300 (mai 1987) : paramètres descriptifs d'un système photovoltaïque,
- UTE C 57-310 (octobre 1988) : transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique,
- UTE C 18 510 (novembre 1988, mise à jour 1991) : recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique,
- C 18 530 (mai 1990) : carnet de prescriptions de sécurité électrique destiné au personnel habilité,
- NF EN 61727 (septembre 1996) : Systèmes photovoltaïques (PV) - Caractéristiques de l'interface de raccordement au réseau,
- IEC 61723 : guide de sécurité pour les systèmes PV raccordés au réseau montés sur les bâtiments,
- CEI 60364-7-712 : Installations électriques dans le bâtiment – Partie 7-712 Règles pour les installations et emplacements spéciaux – Alimentations photovoltaïques solaires (PV) (mai 2002)
- NF EN 61173 (Février 1995) : Protection contre les surtensions des systèmes photovoltaïques (PV) de production d'énergie – Guide,
- NF C 17-100 (Décembre 1997) Protection contre la foudre – Installation de paratonnerres : Règles,
- NF C 17-102 (Juillet 1995) : Protection contre la foudre – Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage tension : Règles,
- NF EN 61643-11(2002) Parafoudres basse-tension connectés aux systèmes de distribution basse tension – Prescriptions et essais
- DIN VDE 0126 (Avril 1999) (Selbsttätige Freischaltstelle für Photovoltaikanlagen einer Nennleistung < 4,6 kVA und einphasiger Paralleleinspeisung über Wechselrichter in das Netz der öffentlichen Versorgung) : Spécifications du fonctionnement de l'onduleur (îlotage, fenêtre de tension et de fréquence, injection de courant continu) - Conditions de coupure de l'onduleur,

- CEI 61000-3-2 (Édition 2.2 de 2004) : Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-2 : limites - Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils inférieur ou égal à 16 A par phase).

Il devra être également respecté les textes réglementaires et guides suivants :

- le décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988 et ses arrêtés pour la protection des travailleurs qui mettent en œuvre des courants électriques,
- le décret n° 92-587 du 26 juin 1997 relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques,
- la circulaire DRT 89-2, 6 février 189, Application du décret 88-1056,
- les règles Neige et Vents,
- les règlements de sécurité contre l'incendie dans les établissements recevant du public et/ou des travailleurs,
- le Guide UTE C 15-400 (2005) : Raccordement des générateurs d'énergie électrique dans les installations alimentées par un réseau public de distribution,
- le Guide d'utilisation UTE C 15-443 (2004) : Choix et mise en œuvre des parafoudres basse tension
- le Guide EDF/ARD (2003) : Accès au réseau basse-tension pour les installations photovoltaïques – Conditions techniques et contractuelles du raccordement,
- le Guide de l'ADEME (2004) : Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau – Guide de rédaction du cahier des charges techniques de consultation à destination du maître d'ouvrage.
- le Guide de l'ADEME (2001) : Protection contre les effets de la foudre dans les installations faisant appel aux énergies renouvelables.
- le Guide UTE C 15-712 (en cours de rédaction) : Installation de générateurs photovoltaïques solaires,

1.3 Définitions

En complément des définitions de la norme NF C 15-100, les définitions suivantes s'appliquent au présent guide.

Cellule PV dispositif PV fondamental pouvant générer de l'électricité lorsqu'il est soumis à la lumière telle qu'un rayonnement solaire.

Module PV le plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées complètement protégé contre l'environnement.

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.

Groupe PV : ensemble mécanique et électrique intégré de chaînes et autres composants pour constituer une unité de production d'énergie électrique en courant continu.

Boîte de jonction de groupe PV : enveloppe dans laquelle toutes les chaînes PV de tous groupes PV sont reliés électriquement et où peuvent être placés les dispositifs de protection éventuels.

Générateur PV: ensemble de groupes PV.

Boîte de jonction ou tableau de générateur PV : enveloppe dans laquelle tous les groupes PV sont reliés électriquement et où peuvent être placés les dispositifs de protection éventuels.

Câble de chaîne PV : câble reliant les chaînes PV à la boîte de jonction générateur ou à la boîte de jonction groupe PV.

Câble de groupe PV : câble reliant les boîtes de jonction groupe PV à la boîte de jonction générateur PV.

Câble principal continu PV : câble connectant la boîte de jonction de générateur PV aux bornes du courant continu de l'équipement de conversion.

Equipement de conversion PV : dispositif transformant la tension et le courant continu en tension et en courant alternatif.

Câble d'alimentation PV : câble connectant l'équipement de conversion à l'installation électrique,

Installation PV: ensemble de composants et matériels mis en oeuvre dans l'installation PV.

Conditions d'essai normalisées : conditions d'essais prescrites dans l'EN 60904-3 pour les cellules et les modules PV

Tension en circuit ouvert : U_{oc} (stc)

tension en conditions d'essai normalisées, aux bornes d'un module PV, d'une chaîne PV, d'un groupe PV non chargés (ouvert) ou aux bornes, partie courant continu, de l'équipement de conversion PV.

Courants de court-circuit : I_{cc} (stc)

courant de court-circuit d'un module, d'une chaîne ou d'un groupe PV en conditions d'essai normalisées.

Partie courant continu (DC) : partie d'une installation PV située entre les modules PV et les bornes en courant continu de l'équipement de conversion PV.

Partie courant alternatif (AC) : partie de l'installation PV située en aval des bornes à courant alternatif de l'équipement de conversion.

Séparation simple : séparation entre circuits ou entre un circuit et la terre au moyen d'une isolation principale.

1.4 Sécurité

Dès le départ, le concepteur et l'installateur d'un système photovoltaïque connecté réseau doivent prendre sérieusement en considération les dangers potentiels, pendant et après la phase d'installation et prendre toutes les dispositions pour se protéger des risques.

La sécurité à long terme d'un système ne peut être atteinte que si les composants et le système ont été correctement conçus et spécifiés dès le départ. Ces aspects sont couverts dans la première partie « conception » de ce guide.

La seconde partie « installation » de ce guide traite des consignes à respecter lors de l'installation avec une trame de contrôle permettant de s'en assurer (document en cours d'actualisation).

2 PREMIERE PARTIE - CONCEPTION

2.1 Système DC

Le système photovoltaïque doit être conçu pour permettre une installation dans des conditions de sécurité optimale. En conséquence, le câblage sera réalisé sans risque de chocs électriques si la procédure d'intervention est respectée. Pour cela, le type de composants et leurs caractéristiques constructives permettront de garantir une isolation électrique du système DC vis à vis des personnes pendant l'installation ou l'exploitation du champ PV.

Typiquement un générateur photovoltaïque est constitué, sur le plan électrique, des composants suivants :

- Modules photovoltaïques
- Câblage DC
- Boîte de jonction (éventuelle)
- Dispositifs de protection (fusibles, disjoncteurs, parafoudres, ..)
- Dispositifs de sectionnement
- Onduleur(s)
- Câblage AC
- Compteur(s) d'énergie

Les spécifications des différents composants constituant le générateur PV sont détaillées ci-après.

2.1.1 Modules photovoltaïques :

Les modules photovoltaïques doivent respecter les normes suivantes

- CEI : 61215 pour des modules de type cristallin
- CEI : 61646 pour des modules de type film mince

Dans la cas de produits d'intégration, les modules laminés devront être issus d'une fabrication dérivée de modules standards disposant des normes indiquées ci-dessus.

L'ensemble des modules constituant le générateur photovoltaïque doivent avoir des caractéristiques identiques avec une tolérance de +/- 5% (idéalement 3%) sur la valeur de la puissance crête.

L'utilisation de modules classe II est imposée avec certification établie par un laboratoire agréé (ex : TUV).

La tension de fonctionnement maximum devra être clairement spécifiée dans la documentation technique et sur l'étiquette apposée au dos du module. Elle devra être compatible avec les niveaux de tension mis en jeu dans le champ photovoltaïque.

Le module devra comporter :

- une boîte de connexion ou des connecteurs appropriés au moins IP54.
- Des diodes by-pass

2.1.2 Câblage et protections DC-

Tous les composants DC (câbles, interrupteurs, connecteurs, etc,...) du système doivent être choisis en fonction de la valeur de courant et tension maximum des modules connectés en série/parallèle constituant le champ PV.

Modules en silicium mono et multi-cristallin :

Tous les composants DC seront calibrés, au minimum, :

- En tension : $V_{co}(stc) \times 1,15$
- En courant : $I_{cc} (stc) \times 1,25$

N.B :Sur le terrain, l'éclairement et la température peuvent varier considérablement par rapport aux conditions standard. Les facteurs multiplicatifs indiqués ci-dessus permettent de prendre en compte ces variations.

Autres types de modules (exemple : silicium amorphe)

Tous les composants DC seront calibrés, au minimum :

- Par calcul spécifique des conditions les plus sévères de V_{co} et I_{cc} à partir des données constructeur (plage de température de module de -15°C à $+ 80^{\circ}\text{C}$, un éclairement maximum de 1250W/m^2)
- Par calcul d'un accroissement de V_{co} et I_{cc} appliqué sur les valeurs déjà calculées précédemment.

N.B. Les modules en silicium amorphe délivrent une puissance de sortie beaucoup plus élevée durant les premières semaines de fonctionnement que celle annoncée par le fabricant (puissance crête garantie après stabilisation) . En effet, le fabricant prend en compte, dès le départ, la baisse de puissance prévisionnelle liée à cette technologie. Il y a lieu de se rapprocher des fabricants pour connaître les valeurs correspondantes.

2.1.3 Câblage DC

2.1.3.1 – Câbles

Les câbles cheminant derrière les modules photovoltaïques doivent être dimensionnés pour une température ambiante de 70°C .

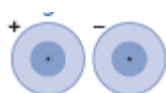
N.B. En toiture, la température arrière des modules peut être élevée en milieu de journée et il est impératif que les câbles qui sont susceptibles d'être en contact direct avec leur face arrière soient dimensionnés en conséquence.

Le choix des câbles doivent être effectués en fonction des courants et tensions déterminés en 2.1.2
On fera référence à la norme NFC 15-100 pour dimensionner les câbles .

Tous les câbles seront sélectionnés de manière à ce que les risques de défaut à la terre ou de courts-circuits soient minimisés après installation.

Ceci peut être réalisé par renforcement de la protection du câblage de 2 manières :

- a. Câble simple conducteur avec double isolation



- b. Câble 1 conducteur simple isolation cheminant dans un conduit spécifique



Les câbles doivent être dimensionnés de telle sorte que la chute de tension entre le champ PV (aux conditions STC) et l'onduleur soit inférieure à 3% (idéalement 1%).

Les câbles extérieurs doivent être à la fois, flexibles, stables aux UV, résistant aux intempéries, à la corrosion (pollution, brouillard salin...) et compatibles avec la connectique rapide le cas échéant..

2.1.3.2 Câblage des chaînes

Une chaîne est un circuit dans lequel les modules PV sont connectés en série, afin de générer la tension nécessaire à l'onduleur pour son bon fonctionnement.

Pour un système de N chaînes connectées en parallèle, chacune d'elle étant constitué de M modules connectés en série, le courant de défaut maximum dans une chaîne peut atteindre $1,25 \times (N-1) I_{cc}(stc)$.

En conséquence, il y a lieu de dimensionner les câbles en fonction du courant de défaut maximum éventuel et de la présence ou non d'une protection par fusible.

La norme CEI 60364 admet qu'une protection contre les surcharges peut être omise sur les câbles des chaînes si le courant admissible du câble est égal ou supérieur à $1,25 I_{cc}(stc)$ en tout point.

Les câbles des chaînes seront donc dimensionnés de la manière suivante :

- a. Panneau photovoltaïque sans protection par fusible
 - Type de câble pouvant supporter une tension : $V_{co}(stc) \times M \times 1,15$
 - Section de câble pouvant supporter un courant $>$ ou $=$ à $I_{cc}(stc) \times N \times 1,25$ (N limité à quelques unités)

Pour quelques chaînes en parallèle, les diodes et fusibles ne sont pas nécessaires si les composants constituant chaque chaîne (modules, connecteurs et câbles) sont dimensionnés pour supporter le courant maximum de défaut. Cette solution réduit le nombre de composants et améliore la fiabilité du système tout en évitant un risque d'incendie en cas de défaut.

Le nombre exact de chaînes qui peuvent être connectées en parallèle sans protection par fusible, dépend :

- Des caractéristiques des modules PV (capacité de supporter un courant inverse bien plus élevé que son courant nominal)
- Des connecteurs éventuels situés dans la chaîne
- Du câble utilisé (type, section) et arrangement (nombre, mode de pose)
- De la température ambiante maximum

- b. Panneau photovoltaïque avec protection fusible sur chaque chaîne
 - Type de câble pouvant supporter une tension : $V_{co}(stc) \times M \times 1,15$
 - Section de câble pouvant supporter un courant $>$ ou $=$ au courant de fusion du fusible (voir § 2.1.3.5)

Pour des systèmes comportant davantage de chaînes en parallèle, la protection par fusibles (sur chaque polarité de chaque chaîne) est indispensable pour les systèmes ne répondant pas aux exigences ci-dessus.

N.B. Dans tous les cas, les câbles seront dimensionnés en appliquant les facteurs classiques multiplicatifs de correction en courant (coefficient de mode de pose, coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble, coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble).

2.1.3.3 Connecteurs DC

Des connecteurs débrochables peuvent être utilisés au niveau des modules photovoltaïques, onduleurs, etc... pour simplifier la procédure d'installation.

Ces connecteurs sont également un bon moyen de protection contre les risques de choc électrique de l'installateur. De tels connecteurs sont recommandés en particulier pour toute installation mise en œuvre par un installateur non familiarisé avec le PV, par exemple par un couvreur.

Les connecteurs doivent être spécifiés pour le courant continu

Les connecteurs doivent être dimensionnés pour des valeurs de tensions et courant identiques ou supérieures à celles des câbles qui en sont équipés.

Une étiquette « ne pas déconnecter en charge » doit être fixée à proximité des connecteurs

Les connecteurs doivent :

- assurer une protection contre les contacts directs
- être de classe II
- résister aux conditions extérieures (UV, humidité, température,...) (> IP54),

2.1.3.4 Boîte de jonction DC (le cas échéant)

Si le système est constitué de plusieurs chaînes, la boîte de jonction permet leur mise en parallèle. Celle-ci peut contenir aussi d'autres composants tels que fusibles, interrupteurs, sectionneurs, parafoudres et points de tests.

La boîte de jonction devra être implantée en un lieu accessible pour les exploitants, et comportant des étiquettes de repérage et de signalisation de danger :

« Boîte de jonction panneau PV : BJPV N° » avec une étiquette « danger, conducteurs actifs sous tension durant la journée »

Les étiquettes devront être facilement visibles et fixées d'une manière durable pour résister aux conditions ambiantes (température, humidité, UV,...)

NB. Un champ photovoltaïque ne peut être mis hors tension pendant la journée. Il est important de s'assurer que la personne qui ouvre la boîte de jonction soit habilitée à effectuer cette intervention.

Chaque chaîne du champ photovoltaïque doit pouvoir être déconnectée et isolée individuellement. Ceci peut être réalisé par le biais de porte fusible ou d'autres liaisons déconnectables mais sans risque pour l'opérateur. En aucun cas, le sectionnement ne doit être réalisé en charge et ceci doit être clairement indiqué par une étiquette apposée à l'intérieur de la boîte de jonction.

Un interrupteur général DC sera de préférence intégré dans chaque boîte de jonction sur le départ de la liaison principale.

N.B. L'interrupteur DC permet la coupure en charge du circuit permettant ainsi de sectionner chaque chaîne pour le contrôle.

Afin de garantir un bon niveau de sécurité, il est préconisé les dispositions constructives suivantes :

- choix d'une enveloppe non propagatrice de la flamme
- protection contre les contacts directs par utilisation des appareils possédant au moins un degré de protection IP2X ou IPXXB.
- ouverture possible seulement à l'aide d'un outil
- séparation des borniers positifs et négatifs avec une isolation appropriée
- disposition des bornes terminales de telle sorte que les risques de court-circuits durant l'installation ou la maintenance soit improbables

2.1.3.5 Fusibles (le cas échéant)

Lorsque la protection par fusibles s'impose (voir précédemment) et compte tenu du principe de ne pas relier à la terre une des polarités DC, des fusibles doivent être installés à la fois sur la polarité positive et négative de chaque chaîne :

- Les fusibles doivent être appropriés pour le courant continu
- Les fusibles doivent être calibrés pour une valeur de courant comprise entre 1,5 Icc et 2 Icc (stc).
- Les fusibles doivent être dimensionnés pour fonctionner à une tension égale à $V_{co} \text{ (stc)} \times M \times 1,15$

2.1.3.6 Diodes de découplage (le cas échéant)

Si les diodes de découplage sont spécifiées, elles doivent avoir une tension inverse minimum égale à $2 V_{co} (stc) \times \text{nombre de modules dans la chaîne}$.

N.B. Les diodes de découplage (induisant une faible chute de tension) sont parfois spécifiées dans un système PV connecté réseau pour éviter des courants inverses dans les chaînes parallèles.

Toutefois ces diodes ne permettent pas pour autant de s'affranchir de la présence d'un fusible sur chaque chaîne.

En effet, les diodes de découplage peuvent se mettre en court-circuit et demandent par conséquent un contrôle régulier.

N.B.

La préconisation de fusibles sur chaque chaîne peut assurer une protection suffisante contre les courants inverses sans les problèmes et pertes associées par l'emploi de diodes.

2.1.3.7 Liaison principale DC

Pour un système de N chaînes connectées en parallèle, chacune d'elle étant constituée de M modules connectés en série, les liaisons principales DC seront dimensionnées de la manière suivante :

Tension : $V_{co} (stc) \times M \times 1,15$

Courant : $I_{cc} (stc) \times N \times 1,25$

La liaison principale sera réalisée par 2 câbles unipolaires double isolation et de section suffisante pour limiter les chutes de tension au minimum.

2.1.3.8 Sectionnement DC

Le sectionneur DC sur la liaison principale, en amont de l'onduleur, est un moyen d'isoler électriquement le champ PV tout entier. Une telle isolation est demandée durant les travaux d'installation, de maintenance ou de réparation. (Norme CEI 60364 –7-712).

Le sectionneur DC doit :

- être bipolaire pour isoler électriquement les 2 polarités.
- être spécifié pour le courant continu
- se situer en amont et à proximité de l'onduleur

Il est impératif qu'une étiquette signalétique soit apposée à proximité indiquant la consigne à respecter (par exemple : « ne pas manœuvrer avant l'ouverture du disjoncteur de sortie onduleur »)

N.B. Sur de nombreuses installations photovoltaïques constituées d'onduleurs modulaires de puissance inférieure à quelques kW, les chaînes de modules sont souvent raccordées directement à l'onduleur par le biais de connecteurs débrochables sur chaque polarité.

Cette solution, limitée à quelques chaînes maximum, peut être tolérée comme une alternative à l'utilisation d'un sectionneur DC général sous réserve :

- d'une mise en œuvre par des intervenants expérimentés
- de réaliser impérativement la déconnexion hors charge en arrêtant au préalable le fonctionnement de l'onduleur. La présence d'un disjoncteur AC à proximité de l'onduleur est un des moyens aisés d'y parvenir.
- de la présence d'une étiquette de signalisation à proximité des connecteurs indiquant la consigne à respecter (par exemple : « Attention : ne pas déconnecter le circuit DC en charge ; ouvrir le disjoncteur AC de l'onduleur au préalable »). Cette étiquette doit être très visible et fixée de manière durable.

2.1.3.9 Interrupteur DC (le cas échéant)

Toutefois pour s'assurer que le sectionnement ne soit pas réalisé en charge par inadvertance, il est fortement conseillé la mise en place d'un interrupteur/sectionneur remplissant à la fois la fonction de coupure en charge et de sectionnement.

NB. Le pouvoir de coupure d'un interrupteur n'est pas le même en DC ou en AC. L'interrupteur doit être spécifié pour un fonctionnement en DC.

- L'interrupteur DC doit être dimensionné pour la tension et le courant maximum calculé en section 2.1.2
- L'interrupteur doit être étiqueté « Interrupteur Sectionneur principal champ PV » avec un repérage clair des positions ON/OFF.
- Le coffret comportant l'interrupteur/sectionneur doit être étiqueté « danger, conducteurs actifs sous tension durant la journée ». Les étiquettes devront être très visibles et fixées d'une manière durable pour résister aux conditions ambiantes (température, humidité, ...)

2.2 Onduleurs

L'onduleur doit être capable d'accepter le courant et la tension maximum du champ PV tels que calculés précédemment.

Il doit comporter un contrôleur d'isolement côté DC permettant de prévenir d'un défaut éventuel d'isolement (entre chaque polarité et la masse).

Les spécifications relatives à la protection du réseau concernent essentiellement les aspects suivants :

- Interface réseau : norme internationale CEI 61727
- Découplage réseau : découplage externe de type B1 ou découplage interne avec application de la norme allemande VDE 0126 (mesure d'impédance non exigée) ou « directive sur le branchement et le fonctionnement parallèle d'installations auto-productrices d'électricité sur le réseau basse tension » de l'association allemande des producteurs d'électricité (VDEW)
- Harmoniques : norme 61000-3-2
- Compatibilité électronique : norme EN 61000-6-3 (émissions) et EN 61000-6-2 (immunité)
- Compatibilité électromagnétique : directive 2004/108/CE
- Marquage CE : directive 93/68/CEE
- Sécurité électrique : EN50178
- Injection DC

Si l'onduleur, de part sa technologie de fabrication, génère une composante continue sur le réseau, sa valeur ne doit pas dépasser celle précisée par la CEI 61000-3-2 ; toutefois, le distributeur d'électricité peut en outre définir une valeur limite à ne pas dépasser.

Tous les onduleurs installés doivent disposer d'un certificat de test établi par un organisme certifié.

NB. Pour tout complément d'informations relatives aux spécifications relatives à la protection du réseau, il y a lieu de se rapprocher du distributeur.

2.3 Partie courant alternatif (AC)

2.3.1 Câblage AC

2.3.1.1 Liaison onduleur réseau

L'onduleur doit être connecté au réseau par un circuit spécifique et protégé soit :

- par un disjoncteur différentiel 30mA dédié au tableau de distribution interne (cas de vente du surplus)
- par un disjoncteur différentiel de branchement (500mA) faisant office de limite de concession (cas de vente de la totalité)

N.B. Si l'onduleur peut, par construction, injecter un courant continu résiduel dans l'installation électrique AC, un dispositif différentiel de type B conforme à la CEI 60755, amendement 2, est exigé.

La partie AC de l'installation photovoltaïque peut être considérée comme un circuit spécifique de la distribution interne et doit répondre aux spécifications de la norme NFC 15-100.

Le câble de liaison sera de classe II dans le cas d'un raccordement au disjoncteur de branchement en limite de concession.

Le câble AC de liaison entre l'onduleur et le disjoncteur doit être dimensionné pour limiter la chute de tension à une valeur inférieure à 3% (idéalement 1%) en BT.

N.B. L'impédance de la ligne liant l'onduleur au point d'injection doit être minimisée selon le critère de la limitation en tension maximale admissible (230V/400V+6%, soit 244V/424V). En effet, l'onduleur lui-même est équipée d'une coupure automatique en cas de dépassement d'une certaine limite mesurée en sortie de l'appareil. Les conditions de dépassement interviendront donc d'autant plus facilement que la chute de tension dans la liaison est importante.

Deux points de coupure doivent être fournis entre l'onduleur et le point de connexion au réseau.

N.B. Un seul point de coupure est admis si l'onduleur et le point de raccordement sont situés dans la même pièce et qu'il est possible de visualiser l'ensemble des appareillages.

Un disjoncteur doit être installé à proximité de l'onduleur et le second à proximité du point de raccordement (disjoncteur différentiel 30mA au tableau divisionnaire en cas de vente d'énergie excédentaire ou disjoncteur différentiel de branchement 500mA en cas de vente d'énergie totale).

N.B. Pour sa capacité à alimenter un défaut par un courant beaucoup plus important que ne peut le faire un onduleur, le réseau sera considéré comme la source et le générateur comme la charge. La protection mise en œuvre devra être toutefois correctement dimensionnée pour la protection en surcharge des onduleurs.

En cas de présence de plusieurs onduleurs, un disjoncteur sera, de préférence, installé en sortie et à proximité de chaque onduleur avec étiquette numérotée pour repérage.

NB. Un seul disjoncteur pour un groupe d'onduleurs sera toléré si son calibre permet la protection des câbles de sortie de chacun des onduleurs en cas de défaut.

Un disjoncteur général et un organe de sectionnement à coupure certaine, verrouillable en position « ouvert » (exigence du distributeur) doivent être installés sur la liaison principale reliant le générateur photovoltaïque au réseau.

Une étiquette au niveau du disjoncteur indiquera « générateur photovoltaïque : point de coupure générale »

Une autre étiquette au niveau du sectionneur indiquera « sectionneur général : ne pas ouvrir en charge »

N.B. Les deux composants précédents peuvent être judicieusement remplacés par un seul interrupteur sectionneur à coupure certaine.

Dans ce cas une étiquette indiquera « générateur photovoltaïque : point de coupure et sectionnement général ».

2.3.2 Alimentation des auxiliaires

Dans certains cas, il y a lieu d'alimenter en 230V des équipements dont le fonctionnement est directement lié au générateur photovoltaïque (exemple : acquisition de mesures, afficheurs,...). L'alimentation peut s'effectuer de 2 manières :

- branchement sur le tableau de distribution du bâtiment par une liaison spécifique
- branchement en sortie onduleur du générateur photovoltaïque

Dans ce dernier cas, le raccordement pourra s'effectuer en aval du sectionneur par une liaison spécifique protégée par un disjoncteur approprié (et différentiel 30mA si le disjoncteur de branchement est calibré à une valeur supérieure : cas de l'injection totale).

2.3.3 Comptage

Un compteur d'énergie spécifique avec affichage sera impérativement mis en place en sortie du (ou des) onduleur(s) dans le cas de la vente d'énergie excédentaire.

N.B. Un comptage éventuel, interne à l'onduleur, ne dispense pas de ce compteur externe qui permet d'enregistrer le cumul d'énergie fournie par le générateur photovoltaïque, même en cas de remplacement éventuel d'onduleur.

Le compteur d'énergie externe est optionnel dans le cas d'une vente d'énergie totale dans la mesure où le comptage de production est également effectué par le distributeur.

N.B. Un tel compteur permet au producteur de contrôler l'énergie fournie par le système photovoltaïque et contribuera à la fois à satisfaire le client et à la détection d'un défaut éventuel. Le compteur doit être placé de telle sorte que le producteur puisse y accéder facilement.

2.4 Mise à la terre et protection foudre

2.4.1 Introduction

Le niveau de protection contre les effets de la foudre des systèmes PV raccordés au réseau, dépend des éléments suivants :

- Evaluation du foudroiement de la zone
- Topographie du lieu
- Niveaux de tenue aux surtensions des différents matériels
- Valeur et importance des matériels à protéger
- Conséquences de défaillances éventuelles

Une méthode d'évaluation du risque foudre inspirée de la norme 61024-1, est présentée dans le document édité par la commission Européenne « Lightning and overvoltage protection in photovoltaic and solar thermal systems ».

2.4.2 Mesures de protections préconisées

Pour être pratique, il est proposé 2 niveaux de protection pour les installations photovoltaïques raccordées réseau

Niveau A : Niveau de protection minimal

Niveau B : Niveau de protection supplémentaire

2.4.2.1 Détermination pratique du niveau de protection

Niveau A :

- installations photovoltaïques situées dans des zones dont la densité de foudroiement est $N_g < 2,5$

- installations photovoltaïques situées dans des zones urbaines quelque soit la densité de foudroiement

Niveau B :

- installations photovoltaïques situées dans des zones dont la densité de foudroiement est $N_g > 2,5$ et se trouvant en milieu rural avec ligne électrique aérienne
- installations photovoltaïques sur bâtiments équipés de paratonnerre quelque soit la zone
- sites sensibles à la foudre quelque soit la zone (exemple point haut)

2.4.2.2 Mesures préconisées

Niveau A :

- Interconnexion des masses et mise à la terre
- Protection par parafoudres bipolaires à base de varistances avec déconnexion thermique intégrée (possédant une capacité d'écoulement répétitif $I_n \geq 20\text{kA}$ onde (8/20 μs) sur liaisons extérieures (circuit continu)
- Protection par parafoudre bipolaires de type 2 à base de varistances avec déconnexion thermique intégrée (possédant une capacité d'écoulement répétitif $I_n \geq 20\text{kA}$ onde (8/20 μs)) ou de type 1 (à base d'éclateur à air possédant une capacité d'écoulement impulsionnel $I_{imp} \geq 35\text{ kA}$ onde (10/350 μs)) sur liaisons extérieures (circuit alternatif)
- Protection spécifique sur autres lignes extérieures (téléphone,...) possédant une capacité d'écoulement répétitive $I_n \geq 10\text{ kA}$ onde (8/20 μs)

Niveau B :

- Interconnexion des masses et mise à la terre
- Protection par varistances (ou éclateur à gaz et varistances associé montés en étoile) possédant une capacité d'écoulement maximum $I_{max} \geq 40\text{kA}$ sur liaisons courant continu
- Protection étagée sur réseau aérien alternatif possédant une capacité d'écoulement $I_{imp} > 35\text{ kA}$ onde (10/350 μs)
- Protection spécifique sur autres lignes extérieures (téléphone,...) possédant une capacité d'écoulement impulsionnel $I_{imp} \geq 2,5\text{ kA}$ onde (10/350 μs)
- Protection externe par dispositifs de capture
- Blindage des câbles sensibles

Pour la mise en œuvre de ces protections, on se reportera aux préconisations données ci-dessous et au guide de l'ADEME (2001) : « Protection contre les effets de la foudre dans les installations faisant appel aux énergies renouvelables ».

2.4.3 Prise de terre et équipotentialité des masses.

L'interconnexion des masses est d'une importance fondamentale pour le bon fonctionnement des protections contre la foudre et les surtensions.

L'ensemble des masses métalliques des équipements constituant l'installation de production et de distribution de l'électricité, y compris entre bâtiments différents, doit être interconnecté et relié à un réseau de terre unique.

L'interconnexion des masses entre le champ photovoltaïque et les équipements électriques peut être réalisée soit :

- avec le conducteur de protection vert/jaune s'il est présent dans le câble de liaison sous réserve que la section soit au minimum de 16mm²
- avec un câble cuivre de section minimale 16 mm². La proximité du conducteur de masse avec les conducteurs actifs est fortement conseillée pour limiter la surface de boucle.

Lorsque la liaison équipotentielle est enterrée, la section du câble en cuivre nu ne doit pas être de section inférieure à 25 mm² pour des problèmes de corrosion.

Lorsque plusieurs structures de modules photovoltaïques sont présentes, on pourra les relier entre elles avec une liaison équipotentielle continue (exemple : tresse de masse ou câble de section minimale 16 mm²).

D'une manière générale, toutes les canalisations conductrices doivent être mises à la terre à proximité de leur point d'entrée dans le bâtiment (cas de goulottes métalliques et de câbles blindés). Toutes les structures métalliques conductrices du bâtiment ainsi que celles des modules (supports) devraient être mises à la terre.

N.B. Pour les installations photovoltaïques dont les modules photovoltaïques sont sur un toit de bâtiment équipé d'un paratonnerre, et pour éviter tout risque d'amorçage entre les parties métalliques des modules et les conducteurs de descente, une liaison directe entre ces conducteurs et les parties métalliques des modules devra être effectuée.

Si la toiture est en tôle, il y a lieu de connecter celle-ci avec le conducteur assurant la liaison équipotentielle.

L'équipotentialité des masses métalliques des équipements électroniques (onduleurs, coffrets de protection,...) se fera, de la manière suivante :

- si la distance est inférieure à 2 m entre équipements et barre d'équipotentialité, chaque masse d'équipement sera directement raccordée à la barre d'équipotentialité par des conducteurs de masse de section minimale 10 mm².
- si la distance est supérieure à 2 m entre équipements et barre d'équipotentialité, chaque masse d'équipement sera directement raccordée à la câblette cuivre nu commune proche des équipements elle-même reliée à la barre d'équipotentialité,.

Ces connexions doivent être réalisées même si un conducteur PE relie déjà 2 équipements via un câble d'alimentation.

D'une manière générale, l'interconnexion des masses se fera de préférence d'une manière maillée, plutôt qu'en étoile, surtout si les câbles d'interconnexion sont longs.

2.4.4 Schéma de liaison à la terre

2.4.4.1 Circuit continu DC

Bien que sur le plan fonctionnel, plusieurs schémas de liaison à la terre soient envisageables, on retiendra côté continu un potentiel flottant (pratique européenne), c'est à dire aucune polarité DC ne sera reliée à la terre.

En cas d'utilisation de protections contre les surcharges, il y a lieu de protéger les 2 polarités.

2.4.4.2 Circuit alternatif AC

A la différence des onduleurs autonomes, aucune polarité de sortie de l'onduleur ne doit être reliée à la terre dans la mesure où le schéma de liaison à la terre côté alternatif est imposé par le réseau de distribution (généralement régime TT).

2.4.5 Parafoudres

2.4.5.1 Emplacement :

Afin de protéger les équipements (modules photovoltaïques et onduleurs) contre les coups de foudre indirects, des parafoudres (type varistances à oxyde de zinc seules ou associés avec un éclateur à gaz) doivent être installés de part et d'autres des différentes liaisons.

Si le câble de liaison n'excède pas 10 m, l'installation de parafoudres au niveau du champ photovoltaïque n'est pas indispensable.

N.B. Pour les générateurs photovoltaïques, les diodes by-pass et diodes anti-retour éventuelles doivent pouvoir supporter une tension inverse compatible avec le seuil de tension de protection du parafoudre afin qu'elles ne soient pas détruites lors d'une surtension.

D'une manière générale, tous les câbles entrant et sortant du bâtiment (puissance, données, téléphone) doivent bénéficier d'une protection contre les surtensions référencée à la masse locale.

N.B. Bien qu'une liaison souterraine soit moins exposée aux surtensions induites qu'une liaison aérienne, une protection par parafoudre reste nécessaire.

2.4.5.2 Choix du parafoudre sur circuit courant continu (liaison champ photovoltaïque)

Un parafoudre multipolaire s'impose compte tenu du potentiel flottant.

Les caractéristiques du parafoudre sont déterminées par les critères suivants :

- U_n : la tension doit être choisie de telle sorte que la varistance ne conduise pas en tension de circuit ouvert des modules. En pratique on retiendra $U_n = 1,4 V_{co}$.
- U_p : Niveau de protection : en kV selon la tenue aux chocs des équipements à protéger au I_n déclaré
- I_n : en kA en onde (8/20 μs)

Plutôt que de prendre des varistances à oxyde de zinc seules, on choisira impérativement des parafoudres avec signalisation et déconnexion thermique intégrée pour éviter tout risque de court circuit en cas de vieillissement.

N.B. L'éclateur à gaz seul est à proscrire en DC car sa tension d'arc étant faible, il peut ne pas s'éteindre.

Toutefois, un montage en étoile associant varistances avec déconnecteur thermique et un éclateur à gaz peut constituer une solution intéressante afin d'éviter des courants de fuite par rapport à la terre et donc d'influer sur le système de surveillance de l'isolation.

2.4.5.3 Choix du parafoudre sur circuit courant alternatif :

Le type de parafoudre (unipolaire ou multipolaire) est fonction du schéma de liaison à la terre.

Pour un site photovoltaïque raccordé au réseau, le schéma de neutre est généralement de type TT.

Pour faire le bon choix des parafoudres correspondants, on se reportera utilement aux indications du guide UTE C 15-443 et à la norme NFEN61643-11 pour déterminer les parafoudres appropriés aux installations électriques basse tension.

Nb : Le guide UTE C 15-443 exige que la longueur totale des conducteurs de raccordement de la protection réseau au réseau de masse ne doit excéder 0,5 m pour ne pas dégrader son efficacité.

3 DEUXIEME PARTIE - INSTALLATION / TRAVAIL SUR SITE

3.1 Généralités

Lors de l'installation d'un système PV, les règles d'usage en matière de santé, de sécurité et les recommandations en matière d'installations électriques doivent être appliquées notamment par l'élaboration d'un plan de prévention ou d'un PPSPS (Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé).

Les spécificités du travail en toiture et du câblage résidentiel en courant alternatif sont traitées plus largement dans d'autres publications et ne sont donc pas détaillées dans ce guide.

La section installation de ce guide traite des problèmes d'installation spécifiques aux systèmes photovoltaïques et de leur contrôle en se référant à la trame élaborée par l'ADEME et la profession (voir en annexe).

3.2 Spécificités des installations PV

3.2.1 Risques identifiés

- Les modules PV produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière du jour et ne peuvent pas être interrompus individuellement. C'est pourquoi, contrairement à l'usage dans la plupart des installations électriques, les matériels PV partie courant continu doivent être considérés sous tension, même en cas de déconnexion de la partie courant alternatif
- De même que pour les générateurs de courant, les chaînes de modules PV ne peuvent pas être protégées par des fusibles pour une déconnexion automatique en cas de défaut. En effet, le courant de court circuit est à peine plus élevé que le courant en fonctionnement. Certains défauts non détectés (contacts défectueux, défauts d'isolation) peuvent engendrer la création d'arcs électriques qui ne pourront être interrompus et augmenter les risques d'incendie. Sans protections fusibles pour lever de tels défauts, la prévention des risques d'incendie peut être réalisée par une bonne conception du système courant continu et une installation soignée.

Compte tenu du niveau de tension $> 120V_{cc}$, de bonnes pratiques en matière de conception et d'installation de câblage sont nécessaires pour protéger du risque de choc électrique à la fois les installateurs du système et toute personne qui pourrait par la suite entrer en contact avec le système (opérateur, propriétaire, agent de nettoyage, ingénieur spécialisé, etc).

Le PV présente une combinaison unique de risques simultanément aux difficultés d'accès et de manutention à savoir :

- risques de choc électrique,
- risques de chutes pour le personnel travaillant en hauteur
- risques de chutes d'objets si les travaux sont réalisés en hauteur
- risque de casse de modules photovoltaïques

Tous ces risques sont rencontrés systématiquement sur un bâtiment en construction, mais rarement tous en même temps. Bien que les couvreurs puissent être habitués à minimiser les risques de chute ou de blessure dus à des problèmes de manutention, ils ne sont probablement pas familiarisés avec les risques de chocs électriques. De la même façon, les électriciens sont familiarisés avec les risques de chocs électriques, mais pas forcément avec ceux de la manutention de grands composants en hauteur.

3.2.2 Mesures générales de sécurité

Afin de limiter les risques encourus pour l'installation d'un générateur photovoltaïque, les mesures de sécurité générales suivantes devront être mises en œuvre :

- Au niveau des intervenants :
 - Poseurs de modules photovoltaïques :
 - Personnes ayant reçu une information sur les spécificités du photovoltaïque et sous réserve que la pose des modules photovoltaïques ne présente aucun danger d'ordre électrique (présence de connecteurs isolés ou travail sous très basse tension de sécurité)
 - Personnes habilitées pour des travaux en hauteur
 - Electriciens solaires :
 - Personnes justifiant d'une expérience minimum pour la mise en œuvre d'installations photovoltaïques en conditions similaires
 - Personnes qualifiées disposant d'une habilitation électrique (selon UTE 18 510)
 - Personnes ayant reçu une formation au photovoltaïque couplé réseau et traitant particulièrement ses spécificités en terme de protection des personnes et des biens.

N.B. Dans le cas où les mêmes personnes assurent à la fois la pose des modules photovoltaïques et l'ensemble du câblage électrique, celles-ci devront disposer de l'ensemble des compétences.

- Au niveau des procédures à respecter :
 - Elaboration après une visite préalable des lieux et avant le début des travaux d'un Plan de Prévention (suivant décret du 20 février 1992) ou d'un PPSPS (voir sommaire en annexe).
 - Elaboration de procédures d'intervention

3.2.3 Mesures spécifiques de sécurité

Afin de limiter les risques encourus pour l'installation d'un générateur photovoltaïque, les mesures de sécurité suivantes devront être mises en œuvre

3.2.3.1 Travaux de manutention :

- Utilisation d'équipements de protection individuelle (casque, vêtement, gants, chaussures de sécurité...)
- Utilisation de matériel de manutention approprié (palan, grue, nacelle, planche de répartition de charge,...)
- Utilisation d'outils et d'appareils homologués pour un usage extérieur (outils, outillage électrique portatif, cordons prolongateurs, lampes baladeuses, groupe électrogène,...)

3.2.3.2 Travaux d'ordre électrique :

- Utilisation d'équipements de protection individuelle (gants isolants, lunettes,...)
- Utilisation de matériel de sécurité collectif (outils isolants, vérificateur absence de tension, banderoles de signalisation,...)
- Respect de procédure d'installation

3.2.3.3 Travaux en hauteur :

- Accès :
 - Utilisation de matériel temporaire approprié (échelle mobile, échafaudage, ..)
 - Utilisation de matériel permanent (échelle à crinoline,...)
- Travaux :
 - Utilisation de matériel de sécurité collectif (garde-corps, filets, échafaudage,...)

Utilisation d'équipements de protection individuelle (harnais de sécurité, longe, casque,...) nécessitant la pose de points d'ancrage, de ligne de vie temporaire ou permanente

- Délimitation des zones de travaux (risques de chutes d'objets)
 - Utilisation de dispositif interdisant l'accès aux zones dangereuses
 - Signalisation de zones de travaux

3.2.4 Précautions de câblage

3.2.4.1 Champ photovoltaïque :

Le système photovoltaïque doit être conçu pour permettre une installation dans des conditions de sécurité optimale. En conséquence, le câblage doit pouvoir se réaliser sans risque de chocs électriques si la procédure d'intervention est respectée.

Cela doit être réalisé de sorte qu'il ne soit jamais nécessaire pour un installateur de travailler dans une enceinte ou une situation avec les parties positives et négatives du champ PV de tension supérieure à 120V qui soient accessibles simultanément.

N.B. L'utilisation de connecteurs isolés sur chacune des polarités est un moyen de travailler sans risque et hors tension.

S'il est inévitable de travailler dans une enceinte ou une situation qui permet l'accès à des fils sous tension > 120V positifs et négatifs simultanément, cela doit être réalisé en travaillant de nuit avec un dispositif d'éclairage approprié qui n'éclaire pas le champ photovoltaïque, ou en utilisant des gants, outils et matériels isolants dans le but de protéger le personnel (voir conditions réglementaires de travail sous tension).

Un signal d'avertissement temporaire et une barrière doivent être affichés pour toute la période pendant laquelle les câbles sous tension du champ PV ou d'autres câbles à courant continu sont en cours d'installation.

Remarque : couvrir un champ PV peut être un moyen d'éviter de travailler sous tension. En pratique, cependant, il est souvent difficile de mettre en œuvre cette solution sur des installations importantes.

N.B. Un champ PV peut être divisé en plusieurs subdivisions, pour réduire la tension et éviter ainsi une éventuelle électrocution sur ce circuit. De nombreux onduleurs présents sur le marché sont conçus pour s'adapter à de telles divisions.

Une double isolation, des barrières adéquates et une séparation des différentes parties du champ PV doivent être appliqués à tout système dont la tension en circuit ouvert dépasse les 120 volts en courant continu.

Remarque : la double isolation de tous les câblages en courant continu supprime pratiquement le risque d'électrocution accidentelle (par exemple via un câble défectueux entrant en contact avec le cadre d'un panneau PV) et le risque d'incendie. Avoir une boîte de jonction PV avec des parties négatives et positives bien séparées et protégées par des barrières, ou mieux en utilisant des enceintes séparées, tout cela réduit de manière significative le risque d'électrocution pour l'installateur.

Il est important de noter qu'en dépit des précautions décrites préalablement, un installateur qualifié ou un ingénieur spécialisé peut encore subir un choc électrique.

Remarque : un choc électrique peut se produire à cause d'une décharge capacitive –en effet, une charge peut s'accumuler dans le système PV en raison d'un effet capacitif réparti vers la terre. De tels effets sont plus courants avec certains types de modules ou de systèmes, en particulier les modules en silicium amorphe (film mince), les modules avec des cadres ou faces arrière métalliques. Dans ce cas, des mesures de sécurité appropriées doivent être adoptées. (Voir directives de travail sous tension).

Un choc électrique peut se produire en raison d'un défaut d'isolement, généré par le champ PV. De bonnes pratiques de câblage, une double isolation et l'utilisation des modules de classe II peuvent réduire significativement ce problème, mais une fois le système installé, des défauts d'isolement peuvent encore apparaître. Toute personne travaillant sur un système PV doit être consciente de ce problème et prendre les mesures qui en découlent.

Pour tout système avec une tension en circuit ouvert de plus de 120 volts, il faut toujours tester la tension sur les composants avant de toucher quelque composant du système que ce soit. Si un risque de choc électrique résiduel est identifié, alors les pratiques de travail sous tension doivent être adoptées.

Remarque : un exemple pour lequel de tels risques peuvent être rencontrés serait dans le cas où un installateur est assis sur une pièce métallique reliée à la terre pendant qu'il câble un grand champ PV. Dans de telles circonstances, l'installateur en touchant le câblage peut subir un choc électrique. La tension du choc électrique augmente avec le nombre de modules connectés en série. L'utilisation de gants et d'outils isolants, à laquelle s'ajoute un paillason isolant sur lequel l'installateur doit se tenir debout ou assis, peut supprimer ce risque.

3.2.4.2 Liaisons électriques

Longueur et type de câbles

Les sections et type de câbles reliant les différents sous-ensembles doivent être conformes aux spécifications réalisés par le bureau d'étude pour éviter tout problème de fonctionnement.

Les câbles unipolaires double isolation doivent être dimensionnés de telle sorte que la chute de tension entre le champ PV (aux conditions STC) et l'onduleur soit inférieure à 3% (idéalement 1%).

Le câble AC de liaison entre l'onduleur et le disjoncteur doit être de classe II et dimensionné pour limiter la chute de tension à une valeur inférieure à 3% (idéalement 1%).

Dispositions de câblage

Le champ magnétique dû à la foudre génère dans les boucles des surtensions proportionnelles à l'intensité du coup de foudre, à la surface et à la position de la boucle et à l'inverse de la distance au point d'impact.

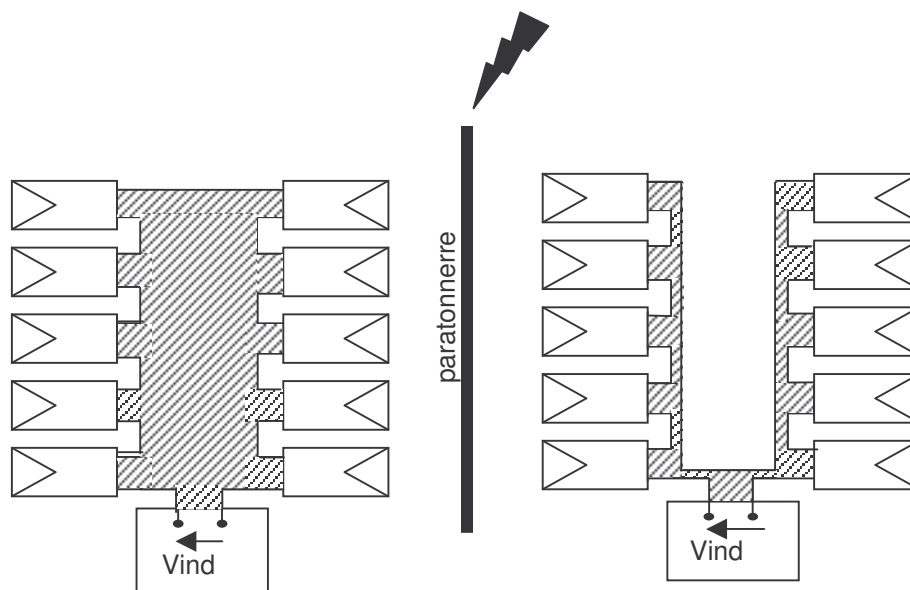
Pour limiter ces surtensions, des dispositions de câblage doivent être prises :

Câblage des modules photovoltaïques .

Avec les installations photovoltaïques, deux types de boucle d'induction peuvent exister si des précautions ne sont pas prises dans la mise en œuvre du câblage :

Boucle induite par les conducteurs actifs :

Les générateurs PV sont généralement constitués d'une connexion série de plusieurs modules photovoltaïques. Dans le cas d'un coup de foudre, une tension est créée entre la ligne positive (L+) et la ligne négative (L-) du système. Dans les cas les plus défavorables une tension induite se crée sur



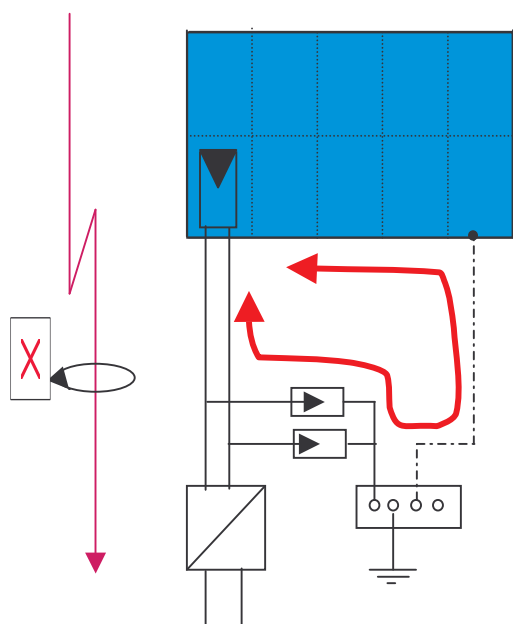
chaque module qui vient s'ajouter à la tension dans la boucle (L+, L-). Cette tension induite est transmise directement à l'entrée DC des onduleurs et peut occasionner leur destruction.

En conséquence, lorsque l'on câble des modules, il faut faire attention de ne pas faire de grande boucle, en plaçant par exemple les conducteurs de polarité positive et négative ensemble et parallèles, ainsi la surface de boucle reste la plus petite possible.

Boucle induite par les conducteurs actifs et le conducteur de masse

Une autre boucle peut se former entre les conducteurs actifs du circuit DC et le conducteur d'interconnexion des masses si ceux-ci ne sont pas joints lors du cheminement des câbles vers les

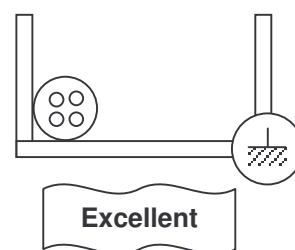
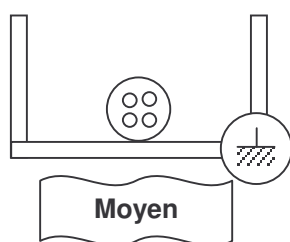
équipements électriques (voir ci-dessous.). Cette surtension peut provoquer un claquage destructif des onduleurs ou des modules photovoltaïques.



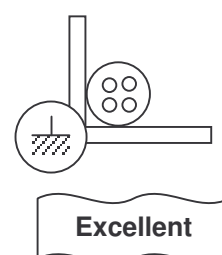
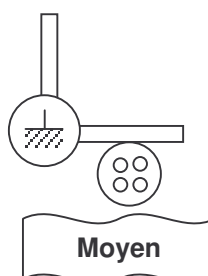
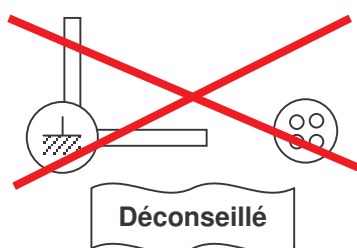
Couplage inductif entre chaque composants et les parties métalliques du générateur.

En conséquence, on veillera à ce que les câbles de liaison entre le champ photovoltaïque et les équipements électriques soient plaqués sur toute leur longueur contre le câble de masse. Une protection complémentaire, type blindage permet d'augmenter le degré de protection. Ce blindage peut être réalisé en utilisant des goulottes métalliques raccordées à la masse côté capteurs et côté bâtiment.

Goulottes



Cornières



Cheminement des câbles:

- Les câbles doivent être fixés correctement, en particulier ceux exposés au vent. Les câbles doivent cheminer dans des zones préalablement définies ou à l'intérieur de protections mécaniques. Ils doivent aussi être protégés des bords anguleux.

- Le cheminement devra être tel que la longueur soit la plus faible possible entre le champ photovoltaïque et l'onduleur. Les câbles (+) et (-) ainsi que la liaison équipotentielle devront être jointifs pour éviter des boucles de câblage préjudiciable en cas de surtensions dues à la foudre.

N.B. Pour des installations très exposées à la foudre comportant des équipements sensibles, par exemple en télécommunication, plutôt que d'utiliser des câbles blindés entre champ photovoltaïque et électronique, il est préférable et moins coûteux de faire cheminer les conducteurs dans des chemins de câbles métalliques reliés à la masse de part et d'autre (voir ci-dessus).

Connexions

Pour des raisons de fiabilité de la connexion dans le temps, le nombre de connexions sur les liaisons DC doivent être réduit au minimum et celles-ci devront être réalisées par des connecteurs débouchables ou boîte de jonction adaptés (voir § 2.1.3.)

NB. L'emploi de barrettes de connexion n'est pas autorisé en raison du risque de mauvais contact pouvant engendrer un arc électrique et incendie.

Câblage des protections AC

Au niveau du câblage des protections AC, le réseau sera considéré comme la source et le générateur photovoltaïque comme la charge (réseau sur les bornes amont du disjoncteur).

3.2.5 Emplacement des équipements

L'emplacement des équipements (boîte de jonction, onduleur(s), coffrets de protections et comptage,...) sera choisi en fonction des critères suivants :

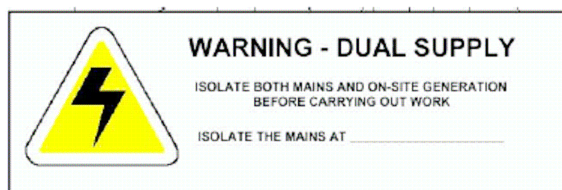
- Distance la plus courte possible entre les différents sous-ensembles (champ photovoltaïque, onduleur(s), réseau,...)
- Non accessibilité aux personnes non habilitées (grand public, enfants,...)
- Accessibilité aisée pour la maintenance
- Montage sur une paroi suffisamment solide pour supporter le poids des équipements
- Montage sur murs éloignés d'un bureau ou pièce d'habitation en cas de nuisance sonore potentielle des onduleurs (ronronnement de transformateur interne ou de ventilation)
- Montage en extérieur possible si le degré de protection des équipements est suffisant en privilégiant les zones protégées de la pluie, du rayonnement solaire direct et de la poussière (voir recommandations constructeur)
- Montage du ou des onduleur(s) à l'intérieur d'un local suffisamment tempéré, ventilé et étanche au ruissellement si non conçu(s) pour un usage en extérieur (avec une distance minimale de 20 cm entre chaque onduleur)

3.2.6 Signalisation

Pour des raisons de sécurité à l'attention des différents intervenants (chargés de maintenance, contrôleur, exploitants du réseau, services de secours) il est impératif de signaler le danger lié à la présence de 2 sources de tension (photovoltaïque et réseau électrique) sur le site.

Pour cela, il est demandé la pose de signalisation indiquant la nature du danger à proximité des différents équipements :

- Etiquette « Attention : présence de 2 sources de tension Réseau et Photovoltaïque – Isoler les 2 sources avant toute intervention » à proximité :
 - du disjoncteur de branchement d'injection
 - du disjoncteur de soutirage du bâtiment concerné si celui-ci est implanté en un lieu différent
 - des onduleurs



- Etiquette « ne pas ouvrir en charge » ou « ne pas déconnecter en charge » à proximité des différents équipements concernés : sectionneurs, connecteurs.
- Etiquette « danger, conducteurs actifs sous tension durant la journée » à proximité des différents équipements concernés : boîte de jonction, sectionneur DC, liaison principale DC,..
- Documents sous plastique (schéma électriques et d'implantation des composants du générateur photovoltaïque avec coordonnées de l'exploitant) à proximité du disjoncteur de branchement de soutirage.

N.B. En cas d'intervention du personnel de secours sur un bâtiment, il est important que celui-ci soit informé de :

- *l'emplacement des disjoncteurs (injection et soutirage) permettant la coupure générale des circuits AC.*
- *la présence de tensions dangereuses en journée sur les circuits DC même après avoir coupé l'alimentation générale AC du ou des onduleur(s).*

3.2.7 Documentation

Un générateur photovoltaïque doit être accompagné au minimum de la documentation suivante en langue locale :

- Un schéma électrique du système photovoltaïque
- Le repérage sur plans de l'implantation des différents composants et modules photovoltaïques ainsi que des liaisons correspondantes
- Des instructions de fonctionnement et de maintenance de l'onduleur
- Une description de la procédure d'intervention sur le système et consignes de sécurité

3.3 Réception et test

Le contrôle de l'installation photovoltaïque pour procéder à la réception de l'installation photovoltaïque devra se référer à la trame de contrôle élaborée par la profession et l'ADEME.

- *N.B. La version de la trame de contrôle de novembre 2005 sera mise à jour pour que celle-ci soit en cohérence avec le guide de spécifications techniques.*

3.3.1.1.1 EXEMPLES DE SCHEMAS UNIFILAIRES

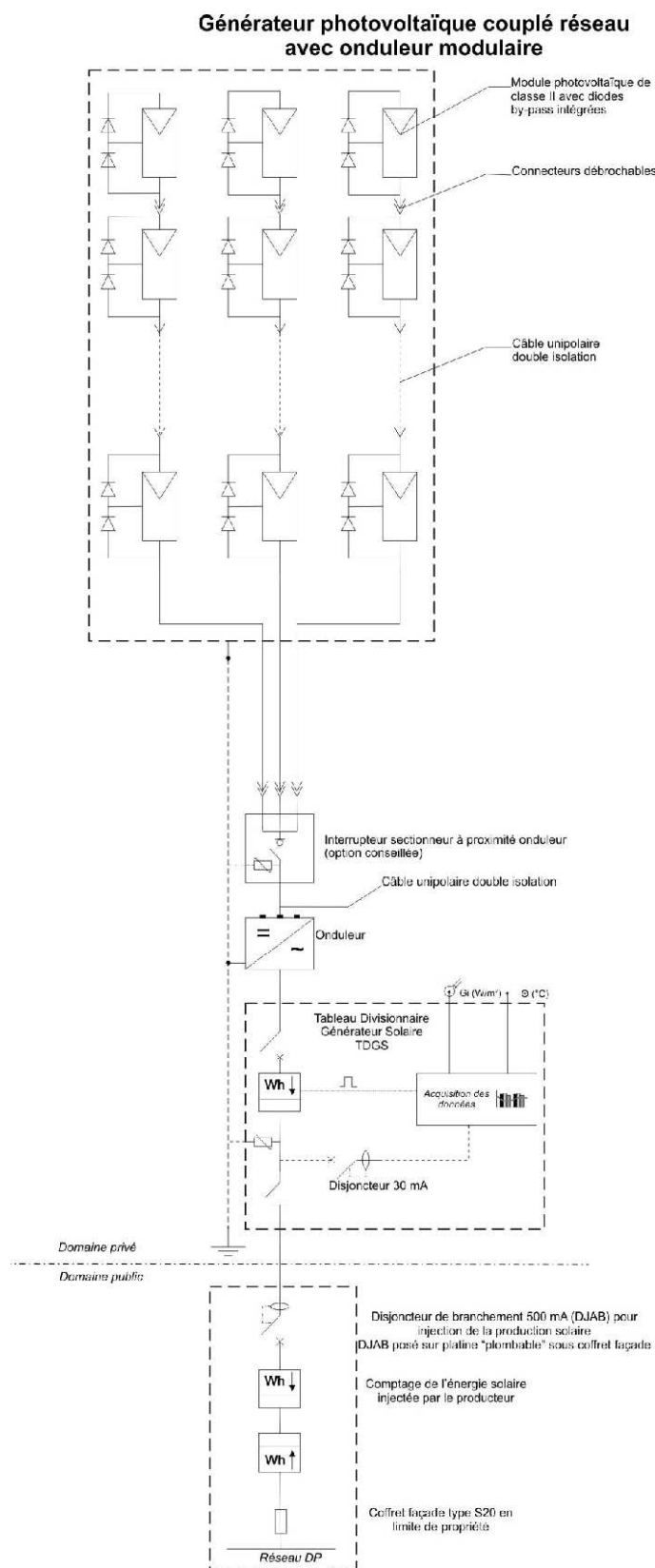
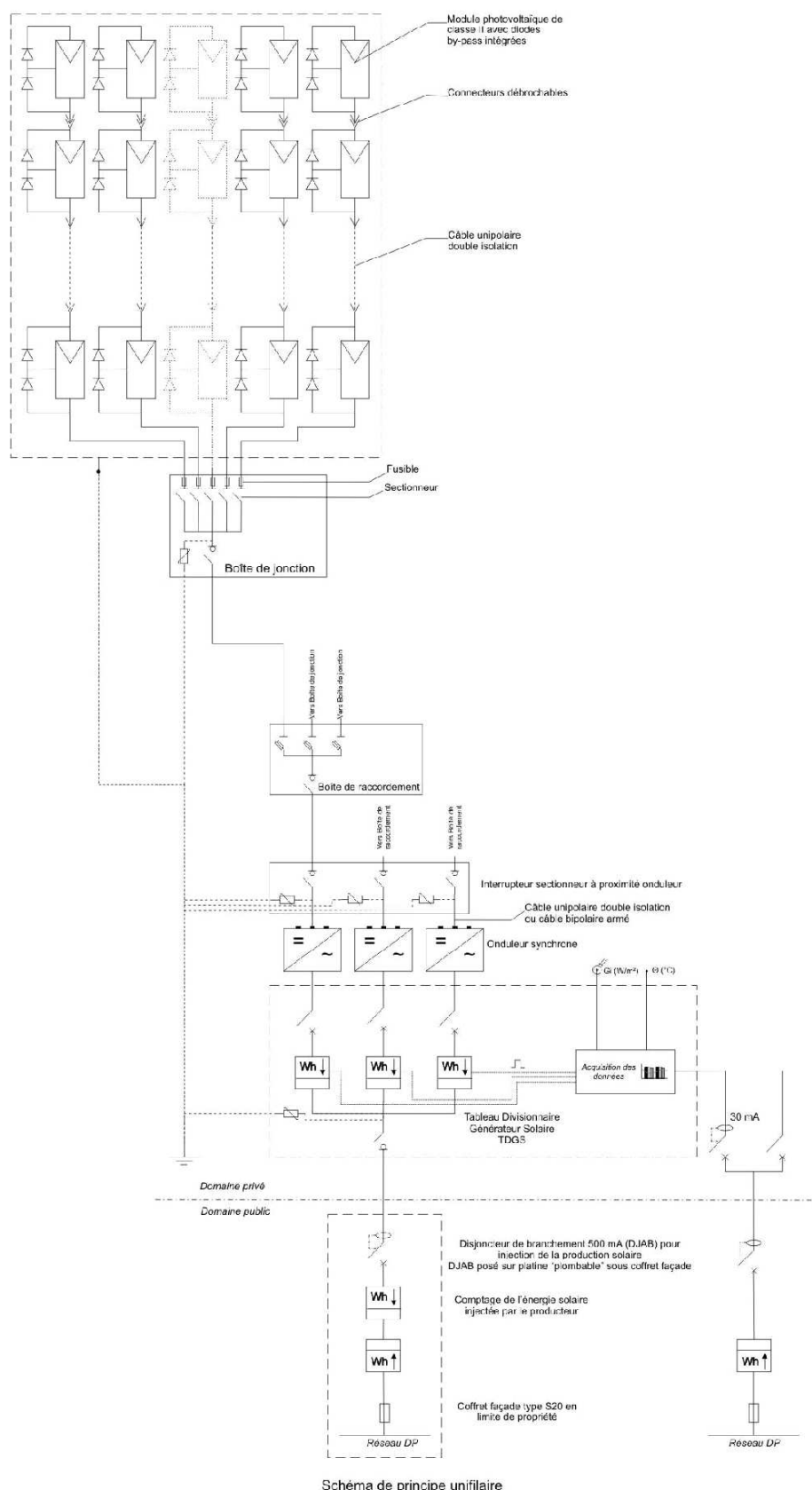


Schéma de principe unifilaire

Générateur photovoltaïque couplé réseau avec onduleurs centralisés



4 ANNEXES

SOMMAIRE d'un PPSPS

RENSEIGNEMENTS ENTREPRISE

I - Organigramme de la société

II - Généralités sur l'affaire

- II-1 - Travaux sous-traités
- II-2 - Effectif du chantier
- II-3 - Planning de Travaux
 - II-3.a - Durée du chantier
 - II-3.b - Horaires de Travail

III - Mode de construction

- III-1 - Fondations
- III-2 - Superstructure
- III-3 - Menuiseries Extérieures
- III-4 - Charpente
- III-5 - Couverture
- III-6 - Autres travaux
- III-7 - Travaux Spécifiques

RENSEIGNEMENTS GENERAUX

I - Maître d'ouvrage

II - Directeur opérationnel / architecte

III - Economiste

IV - Bureau d'études techniques

V - Bureau de contrôle

VI - Coordonnateur S.P.S

VII - Missions OPC

VIII - Services concessionnaire

- VIII-1.a - EDF - GDF
- VIII-1.b - France Télécom
- VIII-1.c - Service des Eaux
- VIII-1.d - Direction Départementale de L'Equipement

INSTALLATION, CANTONNEMENT ET HYGIENE

I - Préliminaires

II - Cantonnements

- II-1 - Points d'Eau
- II-2 - Sanitaires
- II-3 - Réfectoires
- II-4 - Vestiaires
- II-5 - Infirmerie
- II-6 - Protection Incendie

III - Hébergement

IV - Bureaux de chantier

V - Desserte en énergie des locaux

ANALYSE DES RISQUES DU CHANTIER et mesures

I - Analyse des risques

- I-1 - Risques engendrés par d'autres entreprises
- I-2 - Risques inhérents à l'environnement du chantier

I-3 - Risques propres à l'entreprise rédigeant ce PPSPS

II - PLAN D'INSTALLATION DE CHANTIER

- II-1 - Zone de sécurité
- II-2 - Zone de stockage
- II-3 - Accès à la toiture
- II-4 - Sécurité en toiture

ORGANISATION DES PREMIERS SECOURS

I - Consignes en cas d'accident

II - Consignes rappelées dans la boîte à pharmacie

- II-1 - Plaie
- II-2 - Brûlure
- II-3 - Coupure
- II-4 - Oeil
 - II-4.a - Projection de produit chimique
 - II-4.b - Irritation
 - II-4.c - Poussières
- II-5 - Conseils
- II-6 - Autres consignes
 - II-6.a - En cas d'accident grave
 - II-6.b - Blessé transportable avec moyens disponibles :
 - II-6.c - Blessé à transporter couché :

III - Matériel de premier secours

IV - Liste des secouristes

PROTECTIONS

I - Protections individuelles

II - Protections collectives

MATERIEL UTILISE

I - Liste des engins de chantier

II - Engins de terrassement

III - Matériel spécifique

IV - Matériel de levage et manutention

- IV-1 - Grue
- IV-2 - Autres moyens de levage et manutention

V - Produits nocifs ou inflammables

VI - Emploi de produits à réglementation spécifique

PLAN DE PREVENTION

Décret n° 92-158 du 20 février 1992

Travaux effectués dans une entreprise utilisatrice (E. U.) par une (ou des) entreprise(s) extérieure(s) (E.E.)

- Opération : **ponctuelle** ☐ (sites nouveaux ou installations sur sites existants et travaux dangereux (*) ou modification de l'infrastructure)
- annuelle** ☐ (opérations identiques et répétitives effectuées sur le même site par la(les) même(s) entreprise(s) en l'absence de travaux dangereux (*) et de modifications d'infrastructure)
- Moins de 400 heures ☐ Plus de 400 heures ☐
Travaux non dangereux (*) ☐ Travaux dangereux (*) ☐

SITE

(*) au sens de l'arrêté du 19 mars 1993 fixant la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention, il s'agit notamment :

- des travaux exposant les travailleurs à des risques de chute de hauteur de plus de trois mètres
- des travaux exposant au contact avec des pièces nues sous tensions supérieure à la TBT
- des travaux de soudage oxyacétyléniques exigeant le recours à un "permis de feu"
- des travaux comportant le recours à des ponts roulants ou des grues ou des transstockers
- des travaux comportant le recours aux treuils et appareils assimilés mus à la main, installés
- temporairement au-dessus d'une zone de travail ou de circulation

En application de l'article R237-8 du dit décret, le présent document doit être établi en concertation, après une visite préalable des lieux et avant le démarrage des travaux, entre le responsable de l'E.U. et les responsables de toutes les E.E. et tous les services concernés par les travaux, objet de ce plan. Ce plan harmonise les mesures de prévention de toutes les entreprises concernées par cette opération. Les CHSCT des E.E. qui seules interviennent sur le site sont informés de la date de la visite préalable.

1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Désignation de l'opération :

Lieu de l'intervention :

Début des travaux prévu le :

Nombre d'entreprises extérieures, sous-traitants compris :

Effectif global prévu :

Plage horaire de travail :

N°	Entreprise d'accueil/ Propriétaire	Adresse	Téléphone	Responsable

N°	Entreprises extérieures	Nature des travaux	Adresse	Téléphone	Responsable
1					
2					
3					
4					

Les responsables s'engagent à respecter et à faire respecter les dispositions de ce plan de prévention

2. INSPECTION COMMUNE AVANT LE DEBUT DE L'OPERATION

Date de l'inspection commune :

3. MESURES DE PREVENTION

ORIGINE ET NATURE DES RISQUES *	MESURES A PRENDRE
Accès au site	
Risque de chute de hauteur	
Risque de chute d'objet	

* Incendies, risques électriques, de chutes, enlèvement de garde-corps, machines en mouvements....