

C.C.T.P.

*Structures photovoltaïque surélevées en toiture-terrasse type pergola
(Bâtiments collectifs, tertiaire, ERP)*

Document type prêt DCE

Table des matières

Table des matières	2
ARTICLE 1 – Objet du marché et objectifs	3
1.1 – Prestations comprises.....	3
1.2 – Prestations non comprises (à préciser au DCE)	3
ARTICLE 2 – Référentiels, normes et réglementations	3
2.1 – Électricité / Photovoltaïque	3
2.2 – Structures, corrosion, fixations	4
2.3 – Toitures-terrasses / étanchéité / EP	4
2.4 – Sécurité, chantier, coordination	4
ARTICLE 3 – Données projet et contraintes de site	4
3.1 – Fiche site (à compléter)	4
3.2 – Objectifs de conception issus des retours d'exploitation	5
ARTICLE 4 – Phasage de l'opération	5
Phase 1 – Études et validations préalables	5
Phase 2 – Réalisation.....	5
Phase 3 – Exploitation et maintenance.....	6
ARTICLE 5 – Répartition des responsabilités et données fournies	6
ARTICLE 6 – Principe : structure surélevée, réversible et maintenable.....	8
6.1 – Exigence clé : absence de percement de l'étanchéité	8
6.2 – Réversibilité et préservation des équipements existants	8
6.3 – Maintenabilité depuis la sous-face	8
ARTICLE 7 – Structure, appuis et interfaces	9
7.1 – Principes généraux.....	9
7.2 – Notes de calcul et justificatifs	9
7.3 – Protection anticorrosion.....	9
ARTICLE 8 – Gestion des eaux pluviales.....	9
ARTICLE 9 – Générateur photovoltaïque (modules et intégration)	10
9.1 – Modules.....	10
9.2 – Système d'intégration / fixation.....	10
ARTICLE 10 – Architecture électrique et conversion	10
10.1 – Objectifs de sécurité et d'exploitation	10
10.2 – Choix d'architecture : distribuée ou centralisée (justification obligatoire)	10
10.3 – Protections, coupure d'urgence et signalisation.....	10
ARTICLE 11 – Câblages, cheminements et mise à la terre	11
11.1 – Cheminements.....	11
11.2 – Mise à la terre et liaisons équipotentielles	11
ARTICLE 12 – Supervision, données et cybersécurité.....	11
ARTICLE 13 – Sécurité incendie et intervention secours.....	11
ARTICLE 14 – Essais, réception et mise en service.....	12
ARTICLE 15 – Dossier des ouvrages exécutés (DOE) et formation.....	12
ARTICLE 16 – Maintenance, garanties et coût global	13
16.1 – Maintenance	13
16.2 – Disponibilité et résilience	13
16.3 – Garanties minimales	13
16.4 – Analyse de coût global (25 ans)	13

ARTICLE 1 – Objet du marché et objectifs

Le présent Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) définit les conditions techniques relatives à la conception, la fourniture, la mise en œuvre, les essais, la mise en service et la maintenance d'installations photovoltaïques sur structures surélevées de type ombrière/ pergola, implantées en toiture-terrasse, sans percement du complexe d'étanchéité, et conçues pour une exploitation sur 25 ans.

L'installation est conçue dans une logique de :

- sécurité renforcée des intervenants et des services de secours,
- préservation du patrimoine bâti (étanchéité, émergences, garde-corps, désenfumage, ventilation, accès),
- maîtrise du coût global (CAPEX + OPEX) sur 25 ans,
- haute disponibilité et résilience (impact limité d'une défaillance ponctuelle),
- réversibilité complète de l'installation.

1.1 – Prestations comprises

Le titulaire devra a minima :

- réaliser les relevés, études et validations (structure, électrique, urbanisme si requis),
- fournir et poser la structure (structure primaire/secondaire, appuis, interfaces),
- fournir et poser le générateur photovoltaïque (modules, fixations, câblages DC/AC),
- fournir et poser les systèmes de conversion (micro-onduleurs/optimizeurs/onduleurs string selon solution retenue),
- fournir et poser les protections, coupures, signalétiques et dispositifs de mise en sécurité,
- fournir la supervision/monitoring et la connectivité,
- réaliser les essais, obtenir le CONSUEL si applicable, et assurer la mise en service,
- fournir le DOE complet, former l'exploitant, et assurer la maintenance contractuelle.

1.2 – Prestations non comprises (à préciser au DCE)

Par défaut, la demande administrative de raccordement au réseau public (ENEDIS) peut être portée par le maître d'ouvrage, sauf mention contraire au RC. Le titulaire reste tenu de fournir l'ensemble des documents techniques nécessaires à cette demande et de garantir la conformité de l'installation.

ARTICLE 2 – Référentiels, normes et réglementations

Les travaux seront exécutés dans les règles de l'art, conformément aux textes en vigueur à la date de remise des offres et à la date d'exécution. La liste ci-dessous est indicative et non limitative ; le titulaire est réputé connaître et appliquer l'ensemble des prescriptions applicables.

2.1 – Électricité / Photovoltaïque

- NF C 15-100 (installations électriques basse tension).
- UTE C 15-712-1 (installations photovoltaïques sans stockage raccordées au réseau).
- IEC 60364-7-712 (exigences particulières pour générateurs PV).

- NF EN 61215 et NF EN 61730 (modules photovoltaïques – performance et sécurité).
- NF EN 62446-1 (documentation, essais de mise en service et inspection).
- NF EN 61643-11 (parafoudres BT).
- NF EN 62305 (protection contre la foudre – si étude de risque le justifie).
- NF EN 50549-1/-2 (exigences de raccordement des générateurs au réseau public, selon contexte).

2.2 – Structures, corrosion, fixations

- Eurocodes : EN 1990, EN 1991 (vent/neige), EN 1993 (acier), EN 1998 (sismique si applicable).
- DTU 32.1 (charpentes métalliques) ou documents équivalents applicables.
- NF EN 1090-2 (exécution des structures en acier – exigences techniques).
- ISO 1461 (galvanisation à chaud) et/ou NF EN ISO 12944 (protection anticorrosion) selon solution retenue.

2.3 – Toitures-terrasses / étanchéité / EP

- DTU 43.x applicable à la nature de la toiture-terrasse (à confirmer par le maître d’ouvrage).
- DTU 60.11 (évacuations d’eaux pluviales – si descentes/canalisation créées ou modifiées).
- Avis techniques / DTA / ETN / ETE (évaluations techniques) des systèmes de fixation et d’intégration.

2.4 – Sécurité, chantier, coordination

- Code du travail, SPS (si applicable) et Plan Général de Coordination (PGC) du chantier.
- INRS/OPPBTP : prévention chutes de hauteur, levage, manutention, risques électriques.

ARTICLE 3 – Données projet et contraintes de site

Les éléments suivants seront fournis au DCE lorsque disponibles : plans, études de structure, rapports de contrôle, plans des réseaux, descriptifs des complexes d’étanchéité et contraintes d’accès. À défaut, le titulaire devra prévoir dans son offre les investigations nécessaires à la bonne conception de l’installation.

3.1 – Fiche site (à compléter)

Adresse / site	[à compléter]
Type de bâtiment	[logements collectifs / tertiaire / ERP – à préciser]
Toiture	[toiture-terrasse – complexe d’étanchéité à préciser]
Surface utile	[m ²]
Puissance cible	[kWc]
Mode d’exploitation	[autoconsommation / ACC / injection – à préciser]
Contraintes	[émergences, garde-corps, accès, voisins, urbanisme...]

3.2 – Objectifs de conception issus des retours d’exploitation

La conception devra démontrer, dossier à l’appui :

- la préservation du bâti (zéro percement par défaut, réversibilité, protection étanchéité),
- la réduction des risques DC (limitation des longueurs, limitation de l’énergie accessible),
- la facilité d’exploitation (maintenance possible sans immobiliser l’installation, remplacement rapide),
- la limitation du temps d’intervention en toiture (sécurité + coûts).

ARTICLE 4 – Phasage de l’opération

L’opération se déroule selon trois phases successives : études et validations préalables, réalisation des travaux, puis exploitation et maintenance de l’installation.

Phase 1 – Études et validations préalables

Cette phase constitue le préalable au lancement des travaux et vise à vérifier la faisabilité technique, structurelle et réglementaire de l’installation photovoltaïque.

Elle comprend notamment :

- Relevés techniques et architecturaux du bâtiment, incluant le repérage des réseaux et des équipements techniques présents en toiture.
- Analyse des caractéristiques du bâtiment et de la toiture afin de définir les conditions d’implantation de l’installation photovoltaïque.
- Étude structurelle comprenant la vérification de la capacité portante du bâtiment, l’analyse des charges admissibles et l’étude des appuis ou ancrages éventuels, conformément aux Eurocodes.
- Vérification du domaine d’emploi des systèmes de fixation, de support et d’intégration des modules photovoltaïques (ETN, DTA, ETE ou équivalent).
- Étude d’intégration architecturale du projet et analyse des contraintes réglementaires d’urbanisme applicables au site, incluant le cas échéant la consultation des Architectes des Bâtiments de France.
- Préparation et dépôt éventuel des autorisations d’urbanisme nécessaires (déclaration préalable ou permis de construire).
- Étude de sécurisation électrique de l’installation (parties courant continu et courant alternatif), incluant l’analyse des risques et les dispositions de mise en sécurité.
- Simulation de productible prenant en compte les caractéristiques du site et les hypothèses d’implantation des modules.

Les études structurelles pourront nécessiter l’intervention d’un bureau d’études spécialisé et faire l’objet d’une validation par un bureau de contrôle technique.

Cette phase constitue une mission préalable pouvant faire l’objet d’une facturation spécifique indépendante du marché de travaux.

La validation de cette phase conditionne le lancement de la phase de réalisation.

Phase 2 – Réalisation

Les travaux de réalisation de l’installation photovoltaïque devront être organisés de manière à limiter les interventions en toiture et à réduire les risques associés aux travaux en hauteur.

Ils comprendront notamment :

- La mise en œuvre des structures porteuses, des modules photovoltaïques et des équipements électriques conformément aux études validées.
- Une organisation optimisée des opérations de levage, de stockage et de cheminement des matériels afin de garantir la sécurité du chantier et la protection des zones occupées.
- Le respect de l'intégrité du complexe d'étanchéité de la toiture. Toute intervention susceptible d'affecter l'étanchéité devra être justifiée et validée conformément aux prescriptions techniques applicables.

Phase 3 – Exploitation et maintenance

L'installation devra être exploitée et maintenue afin de garantir sa performance et sa sécurité sur la durée.

Cette phase comprend notamment :

- Une maintenance préventive au minimum annuelle, incluant l'inspection des éléments mécaniques et électriques de l'installation ainsi que le contrôle du système de supervision.
- Un nettoyage périodique des modules photovoltaïques adapté au contexte urbain et aux conditions d'encrassement du site.
- Une supervision continue de la production et du fonctionnement de l'installation.
- L'établissement de rapports d'exploitation périodiques.

L'objectif de disponibilité de l'installation est fixé à un minimum de 99 %, hors indisponibilités liées au réseau public d'électricité ou à des causes extérieures.

ARTICLE 5 – Répartition des responsabilités et données fournies

La réalisation du projet photovoltaïque implique l'intervention de plusieurs acteurs dont les rôles et responsabilités doivent être clairement définis.

Maître d'ouvrage

Le maître d'ouvrage est responsable de la définition du besoin et de la mise à disposition des informations disponibles relatives au bâtiment.

À ce titre, il met à disposition dans la mesure des documents disponibles :

- les plans du bâtiment et les plans de structure,
- les études structurelles existantes et les informations relatives aux charges admissibles,
- les plans des réseaux techniques existants,
- les informations relatives au complexe d'étanchéité et à son état,
- toute contrainte réglementaire ou patrimoniale connue,
- les diagnostics réglementaires applicables au bâtiment, notamment le repérage amiante avant travaux (RAAT) conformément à la réglementation en vigueur.

Lorsque ces éléments ne sont pas disponibles ou sont incomplets, des investigations complémentaires pourront être nécessaires dans le cadre des études préalables définies à l'article 4.

Le maître d'ouvrage désigne les intervenants réglementaires nécessaires au projet, notamment le coordonnateur sécurité et protection de la santé (CSPS) et le bureau de contrôle.

L'entreprise titulaire collaborera avec ces intervenants dans le cadre de leurs missions respectives.

Maîtrise d'œuvre

La maîtrise d'œuvre assure la conception technique du projet et le suivi de sa réalisation.

Elle est notamment chargée :

- de la coordination des études techniques,
- de la validation de la conception du projet au regard des contraintes du bâtiment,
- de l'intégration architecturale de l'installation,
- du suivi de l'exécution des travaux.

Bureau de contrôle

Le bureau de contrôle intervient dans le cadre des missions qui lui sont confiées par le maître d'ouvrage.

Il assure notamment la vérification de la conformité des dispositions techniques proposées, en particulier :

- la validation des hypothèses structurelles et des notes de calcul,
- la vérification de la conformité réglementaire du projet,
- la vérification des dispositions relatives à la sécurité électrique de l'installation,
- l'analyse des dispositions relatives à la sécurité incendie et à l'accessibilité des équipements techniques,
- la vérification des dispositions de sécurité liées à l'accès et aux interventions en toiture.

Coordination sécurité et protection de la santé (CSPS)

Le coordonnateur SPS est désigné par le maître d'ouvrage conformément à la réglementation applicable.

Il est chargé notamment :

- d'établir le plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé (PGC),
- de coordonner les interventions des entreprises en matière de sécurité.

Entreprise titulaire du marché

Le titulaire du marché est responsable de la réalisation de l'installation photovoltaïque conformément aux prescriptions du présent CCTP et aux études validées.

Les prestations pourront être réalisées par le titulaire ou par des entreprises intervenant sous sa responsabilité dans le cadre du marché.

À ce titre, le titulaire est notamment chargé :

- de la réalisation ou de la coordination des études d'exécution nécessaires à la mise en œuvre de l'installation,
- de la fourniture, de la fabrication et de la mise en œuvre des différents équipements et structures nécessaires à l'installation photovoltaïque,
- de la coordination des entreprises intervenant dans le cadre du marché (structure, électricité, levage, etc.),
- du respect des règles de sécurité sur le chantier,
- de la mise en service de l'installation et de la remise des documents techniques.

Données techniques du site

Les données techniques relatives au bâtiment constituent un élément essentiel pour la conception et la réalisation de l'installation.

Les documents fournis par le maître d'ouvrage pourront comprendre notamment :

- plans de structure et plans architecturaux,
- études de descente de charges ou diagnostics structurels existants,
- plans des réseaux techniques,

- dossier relatif au complexe d'étanchéité,
- maquettes numériques ou modèles 3D du bâtiment lorsqu'ils existent (BIM ou équivalent),
- relevés techniques ou relevés de toiture existants lorsqu'ils sont disponibles.

Lorsque ces éléments sont incomplets ou absents, les vérifications nécessaires devront être réalisées dans le cadre des études préalables définies à l'article 4.

ARTICLE 6 – Principe : structure surélevée, réversible et maintenable

6.1 – Exigence clé : absence de percement de l'étanchéité

Le principe de conception privilégié pour l'installation photovoltaïque est l'absence de percement du complexe d'étanchéité existant.

Ce principe devra être étudié et justifié dans le cadre de la phase d'études définie à l'article 4.

Aucun percement du complexe d'étanchéité existant ne sera admis, sauf démonstration, dans le cadre des études préalables, qu'aucune alternative technique raisonnable ne permet de respecter ce principe.

Dans ce cas exceptionnel, le titulaire devra fournir :

- une justification technique détaillée,
- une proposition de traitement d'étanchéité compatible avec les règles professionnelles et les avis techniques applicables,
- la validation préalable du bureau de contrôle et du maître d'ouvrage.

Si les études démontrent l'impossibilité technique de respecter ce principe dans des conditions compatibles avec la sécurité du bâtiment ou la pérennité de l'étanchéité, la poursuite du projet pourra être réexaminée par le maître d'ouvrage.

Cette situation ne remet pas en cause la réalisation et la rémunération des études préalables.

6.2 – Réversibilité et préservation des équipements existants

- L'installation devra être entièrement démontable sans altération durable du bâti.
- Les émergences (ventilation, désenfumage, gaines, garde-corps, accès) devront rester accessibles.
- La conception devra éviter la transmission d'efforts excessifs à la dalle existante.

6.3 – Maintenabilité depuis la sous-face

La structure et l'architecture électrique devront permettre l'accès, l'inspection et le remplacement des composants techniques (conversion, protections, boîtes, câblages accessibles) depuis la sous-face de la structure, sans démontage massif des modules et en limitant les déplacements en toiture. Le titulaire décrira son dispositif d'accès et de consignation, sans nécessiter systématiquement le recours à un engin de levage.

ARTICLE 7 – Structure, appuis et interfaces

7.1 – Principes généraux

- La structure porteuse sera dimensionnée conformément aux Eurocodes applicables.
- La structure pourra être constituée d'une charpente métallique (structure primaire et secondaire) adaptée aux charges permanentes et climatiques.
- Les poteaux ou points d'appui devront être positionnés de manière optimisée afin de limiter les contraintes sur la structure existante et les interfaces avec l'étanchéité.
- La pose des modules sera privilégiée à plat ou à très faible pente lorsque le domaine d'emploi des composants le permet.
- Les supports d'équipements techniques (conversion, coffrets, protections) seront intégrés à la structure porteuse et positionnés de manière à rester accessibles, idéalement en sous-face.
Lorsque cette disposition n'est pas possible, le titulaire devra décrire précisément la solution retenue, les conditions d'accès et de maintenance associées.

7.2 – Notes de calcul et justificatifs

Le titulaire fournira :

- une note de calcul structure complète intégrant les charges permanentes et variables, les actions climatiques (vent, neige) et la stabilité globale de l'ouvrage,
- la vérification des appuis, ancrages ou systèmes de lestage ainsi que la compatibilité des efforts transmis avec la structure existante,
- les plans d'exécution comprenant l'implantation de la structure, les coupes, les détails d'appuis et les interfaces avec l'étanchéité,
- la procédure de pose et le séquençage des opérations incluant les moyens de levage et de manutention.
- Les hypothèses de calcul pourront être soumises à la validation du bureau de contrôle.

7.3 – Protection anticorrosion

Les éléments métalliques exposés seront protégés contre la corrosion par galvanisation à chaud ou par un système équivalent adapté à l'environnement urbain.

La protection anticorrosion devra présenter une durabilité minimale de 10 ans.

ARTICLE 8 – Gestion des eaux pluviales

Selon le projet, la gestion des eaux pluviales pourra être :

- soit reprise par la structure (gouttières + raccordement au réseau EP existant),
- soit laissée inchangée (aucune obligation de collecte par le système PV).

En cas de collecte, les prestations comprendront a minima :

- gouttières longitudinales en bas de pente,
- descentes dimensionnées et fixées selon DTU 60.11 (si applicable),
- raccordement au réseau EP existant, traitement des interfaces d'étanchéité,
- contrôle du bon écoulement avant réception.

ARTICLE 9 – Générateur photovoltaïque (modules et intégration)

9.1 – Modules

Les modules devront a minima :

- être certifiés IEC 61215 et IEC 61730 (ou équivalents NF/EN).
- présenter une garantie produit de 12 à 25 ans et une garantie performance conforme aux standards industriels.
- être de classe II minimum.
- disposer de connecteurs compatibles IP67/IP68 et de diodes by-pass.

9.2 – Système d'intégration / fixation

Le système d'intégration des modules sur structure devra relever d'une évaluation technique en vigueur (ETN/DTA/ETE ou équivalent) couvrant explicitement son domaine d'emploi, notamment pour les configurations à plat ou à faible pente le cas échéant. Le titulaire fournira les documents justificatifs et respectera les prescriptions de mise en œuvre du fabricant.

ARTICLE 10 – Architecture électrique et conversion

10.1 – Objectifs de sécurité et d'exploitation

- minimisation des longueurs de courant continu exposées en toiture et dans le bâtiment,
- réduction maximale de la tension DC cumulée accessible,
- mise en sécurité rapide, centralisée et clairement identifiable,
- continuité de service : limitation des arrêts globaux,
- facilité d'intervention (remplacement sans arrêt prolongé de l'installation).

10.2 – Choix d'architecture : distribuée ou centralisée (justification obligatoire)

L'architecture pourra être centralisée (onduleurs string) ou distribuée (micro-onduleurs, optimiseurs + onduleurs, ou équivalent), sous réserve de satisfaire aux objectifs ci-dessus. Toute concentration de puissance en un point unique devra être justifiée au regard des enjeux de disponibilité et de maintenance.

Le dossier d'exécution précisera notamment :

- schéma unifilaire DC/AC, repérage chaînes, localisation des équipements,
- dispositifs de réduction/sectionnement de l'énergie DC (selon architecture),
- stratégie de remplacement d'un équipement sans arrêt prolongé (procédure).

10.3 – Protections, coupure d'urgence et signalisation

Les protections seront dimensionnées conformément à NF C 15-100 et UTE C 15-712-1. Une coupure d'urgence en courant alternatif, à action manuelle directe, clairement identifiable et accessible, sera mise en place. La signalisation réglementaire PV (DC/AC, danger, consignes secours) sera fournie et posée.

ARTICLE 11 – Câblages, cheminements et mise à la terre

11.1 – Cheminements

Les cheminements électriques seront réalisés en sous-face de structure, en goulottes/chemins de câbles dédiés, avec protections mécaniques adaptées. Les câbles devront être protégés des arêtes, fixés avec une densité compatible avec les efforts de vent, et repérés (DC/AC) conformément aux exigences réglementaires.

11.2 – Mise à la terre et liaisons équipotentielles

Les masses métalliques (structures, cadres modules, enveloppes) seront raccordées à la liaison équipotentielle et à la prise de terre du bâtiment. Les sections et modalités seront conformes à NF C 15-100 et UTE C 15-712-1

ARTICLE 12 – Supervision, données et cybersécurité

Le système de supervision devra permettre :

- visualisation en temps réel et historique exportable (CSV ou équivalent),
- alertes automatiques en cas d'écart de performance,
- accès distant sécurisé (comptes, droits, chiffrement),
- granularité fine : idéalement module à module ou 1 à 2 modules par point de mesure (critère technique).

Le titulaire décrira l'architecture de communication (Ethernet/4G/5G), la politique de mots de passe et la réversibilité des accès au bénéfice du maître d'ouvrage.

Les données de production et d'exploitation resteront la propriété du maître d'ouvrage.

ARTICLE 13 – Sécurité incendie et intervention secours

L'installation photovoltaïque devra être conçue de manière à limiter les risques électriques et à faciliter l'intervention des services de secours.

Elle devra notamment respecter les principes suivants :

- limiter l'énergie électrique accessible en toiture, en particulier en courant continu,
- réduire le risque d'apparition d'arcs électriques sur les circuits courant continu,
- permettre une mise hors tension clairement identifiable et accessible de l'installation.

Un plan d'intervention électrique sera établi par le titulaire.

Ce document précisera notamment :

- l'implantation des principaux équipements de l'installation,
- le repérage des circuits électriques,
- les dispositifs de coupure et de mise en sécurité,
- les cheminements des câbles.

Ce plan sera remis au maître d'ouvrage et placé dans une pochette étanche à proximité des accès au bâtiment ou de l'AGCP.

Sur demande du maître d'ouvrage, le titulaire transmettra un dossier de prévention ou d'information au SDIS territorialement compétent.

ARTICLE 14 – Essais, réception et mise en service

Avant la mise en service de l'installation, le titulaire réalisera l'ensemble des essais et vérifications nécessaires au bon fonctionnement et à la sécurité de l'installation.

Ces vérifications comprendront a minima :

- la vérification du montage mécanique de la structure et des modules, incluant le contrôle visuel et la vérification des couples de serrage,
- la mesure des tensions des chaînes photovoltaïques à vide (lorsque applicable), la vérification des polarités et du repérage des circuits,
- la mesure de la continuité de la mise à la terre et la vérification de la résistance d'isolement des circuits DC et AC,
- le test des dispositifs de coupure et de protection, ainsi que la validation du dispositif anti-îlotage,
- la vérification du fonctionnement du système de supervision et de la remontée des données de production.

Un procès-verbal d'essais sera établi par le titulaire avant la mise en service de l'installation.

La réception des travaux interviendra après levée des éventuelles réserves et, le cas échéant, après obtention des attestations et validations réglementaires nécessaires à la mise en service de l'installation.

ARTICLE 15 – Dossier des ouvrages exécutés (DOE) et formation

Le DOE comprendra notamment :

- plans d'exécution et plans de recollement,
- notes de calcul structure et ancrages/appuis,
- attestations ETN/DTA/ETE (système d'intégration) et notices de pose,
- schémas unifilaires, paramétrages protections, liste des équipements,
- procès-verbaux d'essais, attestations (CONSUEL si applicable),
- plan de maintenance, gammes d'intervention, liste pièces de rechange recommandées,
- simulation de productible (hypothèses) et objectifs de performance.

Une séance de formation/information sera réalisée à destination du maître d'ouvrage/exploitant : sécurité, supervision, maintenance courante, procédures de consignation.

ARTICLE 16 – Maintenance, garanties et coût global

16.1 – Maintenance

Le titulaire assurera une maintenance préventive au minimum annuelle de l'installation.

Le plan de maintenance précisera notamment :

- les inspections visuelles des modules et de la structure,
- les contrôles électriques (coffrets, protections, câblages, équipements de conversion),
- le contrôle des fixations et des supports mécaniques,
- le contrôle du système de supervision et des dispositifs de sécurité,
- le nettoyage des modules photovoltaïques lorsque cela est retenu et justifié,
- les tests de coupure et de mise en sécurité de l'installation.

16.2 – Disponibilité et résilience

La solution proposée devra démontrer sa capacité à limiter l'impact d'une défaillance ponctuelle sur la production globale de l'installation.

L'objectif de disponibilité de l'installation est fixé à $\geq 99\%$, hors indisponibilités liées à des événements externes dûment documentés (réseau public d'électricité, opérations de maintenance programmée, force majeure).

16.3 – Garanties minimales

Les équipements fournis devront présenter au minimum les garanties suivantes :

- Modules photovoltaïques : garantie produit comprise entre 12 et 25 ans, incluant une garantie de performance,
- Équipements de conversion (onduleurs, micro-onduleurs ou équivalent) : garantie minimale de 12 ans, extensible jusqu'à 25 ans selon la solution proposée,
- Structure porteuse et protection anticorrosion : garantie minimale de 10 ans,
- Système de supervision : maintien de l'accès et des fonctionnalités sur la durée contractuelle.

16.4 – Analyse de coût global (25 ans)

Le candidat fournira une analyse de coût global sur une période de 25 ans intégrant les dépenses d'investissement (CAPEX) et d'exploitation (OPEX).

Afin de faciliter la compréhension du projet, deux niveaux d'analyse financière seront présentés :

1. Analyse d'investissement technique

Une première analyse portera sur le coût de l'installation photovoltaïque proprement dite, incluant notamment :

- la structure porteuse,
- les modules photovoltaïques et équipements électriques associés,
- la fourniture et la mise en œuvre des équipements.

Cette analyse sera présentée hors études préalables, contrôles réglementaires, démarches administratives et frais annexes.

2. Analyse complète du projet

Une seconde analyse intégrera l'ensemble des coûts nécessaires à la réalisation et à l'exploitation du projet, notamment :

- les études préalables et études techniques,
- les missions de contrôle et d'ingénierie,
- les démarches réglementaires et autorisations administratives,
- les coûts de maintenance et d'exploitation.

L'analyse devra également préciser :

- les hypothèses de maintenance préventive et corrective,
- les coûts estimatifs de remplacement des composants principaux,
- les temps d'intervention et les impacts potentiels sur la disponibilité de l'installation,
- les options de prolongation ou d'extension des garanties.