



Solerm Connecté Réseau (Secouru)

Système d'étude d'une installation photovoltaïque connectée au réseau (secourue)

Points forts & activités clés

- ✓ Étude personnalisée et installation de votre installation photovoltaïque connectée au réseau
- ✓ Choix de la puissance correspondant à vos besoins et à votre budget
- ✓ Utilisation pédagogique autour d'un dimensionnement réel et scénarisé d'un site connecté au réseau avec ou sans continuité d'alimentation
- ✓ Communication des données de production d'énergie solaire sur le site à l'intérieur du lycée (par tableau d'affichage) et à l'extérieur du lycée (via une liaison Internet)
- ✓ Constituants industriels de la gamme professionnelle à longue durée de vie et fiabilité éprouvée
- ✓ Suivi des données de fonctionnement de l'installation en local ou à distance
- ✓ Multiples possibilités d'acquisition de mesure pour diagnostic (Tensions, Intensités, Températures, Intensité lumineuse...)
- ✓ Activités de mesurage, bilans énergétiques, dimensionnement et justification de composants, communication, analyses technico-économiques...

**CAP Electricien , Bac Pro MELEC / CIEL
BTS Electrotechnique - IUT
Universités - Ecoles d'ingénieurs**

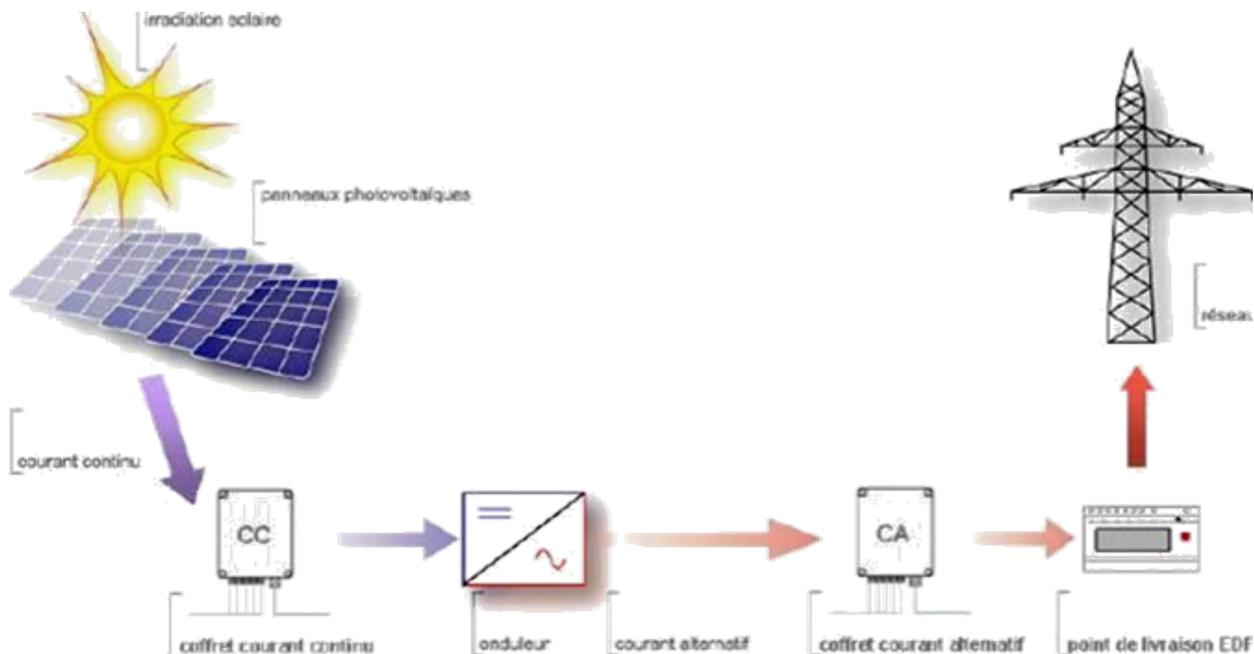


Composants particuliers

- ✓ Panneaux photovoltaïques poly-cristallins avec sondes d'ensoleillement et température
- ✓ Onduleur avec carte de communication à affichage digital et carte d'analyse du réseau
- ✓ Data logger pour acquisition des données de fonctionnement
- ✓ Compteurs d'électricité
- ✓ Logiciel d'acquisition et traitement des données sur PC ou à distance (option CR25)

Références

- ✓ **CR20**: Solerm Connecté Réseau Communicant 1500Wc (Toit terrasse)
 - ✓ **CR25**: Option Acquisition & Communication
 - ✓ **CR07**: Option Panneau d'affichage
- Autres puissances et configurations, nous consulter





L'énergie photovoltaïque clé-en-main

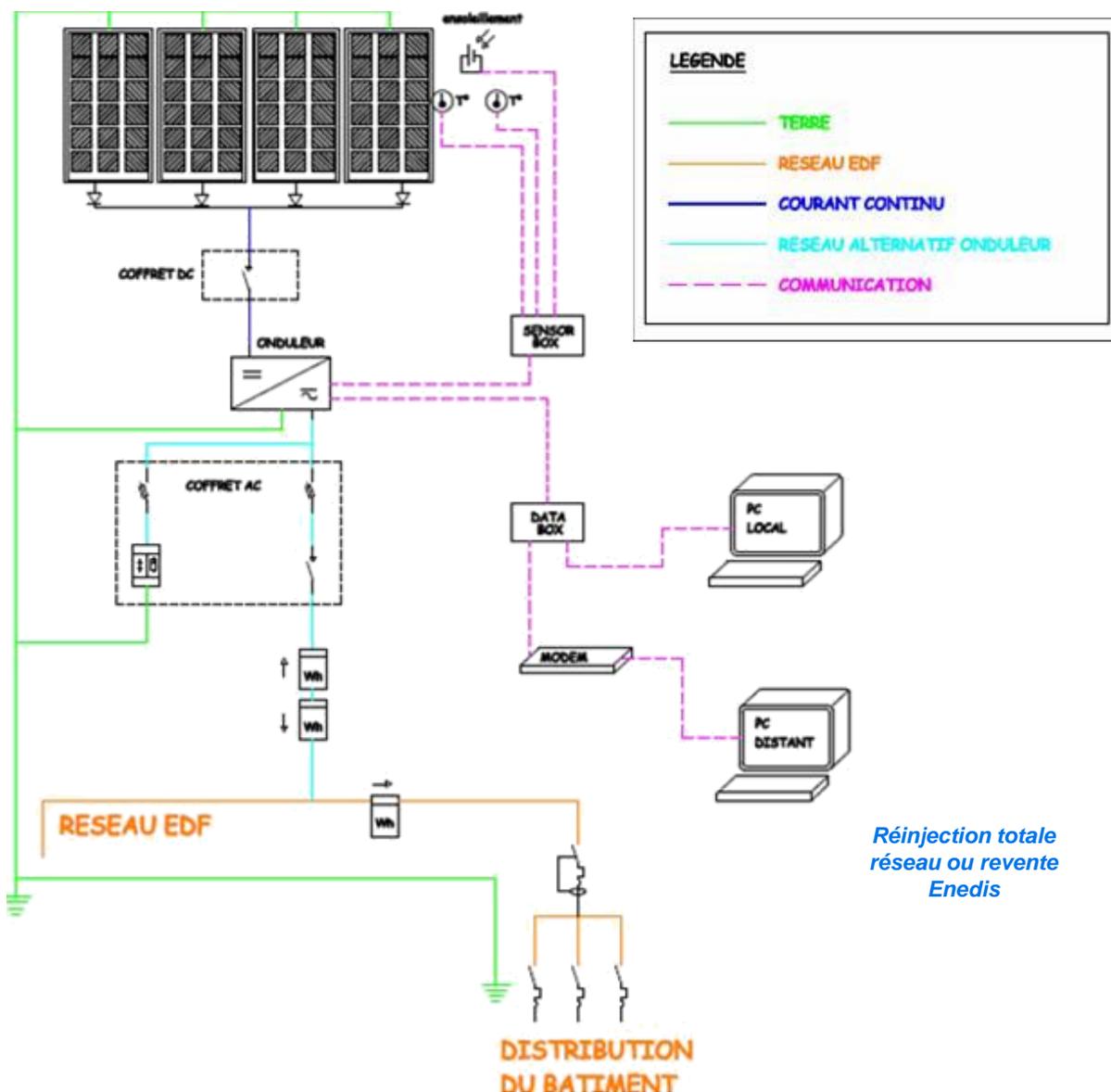
Accompagnement du début à la fin du projet

- ✓ Étude personnalisée en fonction du site, du budget et des objectifs de l'équipe pédagogique
- ✓ Prise en charge des démarches administratives
- ✓ Maîtrise d'œuvre et suivi de l'installation connectée réseau
- ✓ Suivi dans la prise en main et formation des intervenant

Approche pédagogique à la carte

- ✓ Utilisation des moyens multimédia (ex: Accès à distance du suivi de production...)
- ✓ Fourniture d'outils de communication à l'intérieur et à l'extérieur du lycée (Affichages temps réel, Internet...)

Synoptique général des raccordements de puissance

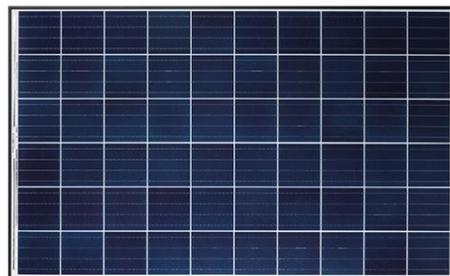




Architecture du système

Descriptif fonctionnel

- ✓ Ce système a été dimensionné pour permettre l'étude en taille réelle de la production d'électricité par énergie solaire photovoltaïque.
- ✓ Il met en œuvre les techniques de production photovoltaïque connectée au réseau.
- ✓ Le système fonctionnera suivant un des 3 modes de fonctionnement suivants :
 - Utilisation de l'électricité produite pour la consommation de l'établissement
 - Connecté réseau avec revente totale de la production
 - Connecté réseau avec revente du surplus de production



Sous ensemble Production de courant continu

- ✓ Il permet de transformer l'énergie de rayonnement solaire en courant continu.
- ✓ Il est principalement constitué:
 - Du châssis ou des structures de fixation
 - Des modules photovoltaïques 300Wc
 - Cellules solaires 125 x 125mm
 - Cadre aluminium anodisé
 - Câbles MC pour raccordement des rangées de panneaux
 - Câble 4² pour raccordement au coffret CC (Courant Continu)
- ✓ Il est nécessaire de réaliser la mise en série de plusieurs modules afin d'obtenir une tension de fonctionnement en courant continu compatible avec la plage d'entrée de l'onduleur.

Caractéristiques du (300W) pour un ensoleillement de 1000W/m² et 25°C:

Puissance maximale / Puissance garantie	300W
Tension à Pmax / Courant à Pmax	32,4V / 9,26A
Tension en circuit ouvert / Courant de court-circuit	39,76V / 9,77A
Dimensions: L x l x h (en mm)	1670 x 1000 x 32
Surface	1,67m ²
Poids	18,5kg
Coefficient de température de la puissance	-0.39%/K
Rendement du module	18%
Garanties: 80% pendant 25 ans (Garantie linéaire)	

Configuration standard proposée par ERM

- ✓ CR20 → 1 x 5 panneaux

Sous ensemble Coffret de sectionnement et protection courant continu

- ✓ Il permet d'isoler le générateur photovoltaïque côté CC (Courant Continu).
- ✓ Ses principales caractéristiques sont:
 - Utilisation jusqu'à 1000V et 20A
 - Connexion de plusieurs branches de modules en parallèle en amont
 - Connexion du coffret onduleur en aval



Coffret de protection courant continu

Sous ensemble Onduleur

- ✓ Il permet la conversion du courant continu en courant alternatif 50Hz synchronisé avec le réseau tout en:
 - Régulant les variations de la tension d'entrée
 - Travaillant au point de puissance maximal (MPP) quel que soit l'ensoleillement
 - Analysant automatiquement les éventuelles sources de dérangement internes ou externes
 - Surveillant les paramètres du réseau (Tension, Fréquence, Résistance interne, Sauts d'impédance)
 - Surveillant l'isolation CC
- ✓ Les solutions proposées par ERM Automatismes utilisent des onduleurs Fronius Galvo (Modèle 1.5-1 pour CR20) ayant les caractéristiques suivantes (CR20):
 - Affichage et enregistrement sur trois ans des données de production
 - Gamme de tension MPP: 120 à 335V
 - Tension d'entrée maximum (1000W/m² et -10°C): 420V - Courant d'entrée maximum: 13.3A
 - Puissance nominale 1500W – Puissance de sortie maximum 1500W
 - Rendement maximum: 95,9%
 - Tension de réseau / Fréquence: 230V / 50Hz
 - Facteur de puissance: 1 – Taux de distorsion harmonique: < 4%





Architecture du système (suite)

Sous ensemble Coffret de sectionnement et protection courant alternatif monophasé

- ✓ Il permet la protection et le sectionnement du générateur photovoltaïque côté CA (Courant Alternatif).
- ✓ Ses principales caractéristiques sont:
 - Utilisation jusqu'à 32A
 - Parafoudre
 - Connexion du coffret onduleur en amont
 - Connexion du point de raccordement en aval



Sous-ensemble Acquisition des données de température et ensoleillement (Option CR25)

- ✓ Il permet de mesurer l'ensoleillement, la température des panneaux et la température extérieure ambiante et d'envoyer ces données vers l'onduleur
- ✓ Il est principalement constitué:
 - De deux sondes de température
 - D'une sonde d'ensoleillement
 - D'un boîtier d'acquisition relié à la carte de communication de l'onduleur

Sous-ensemble Communication de données (Datalogger) (Option CR25)

- ✓ La Datalogger récupère les données de l'onduleur par un protocole série « ouvert » et les exporte vers un autres système (ex: PC).
- ✓ Les données peuvent être enregistrées au sein même du Datalogger pendant une durée de 1000 jours.
- ✓ Elles sont par ailleurs consultables sur Internet.



Exemple de structure de communication



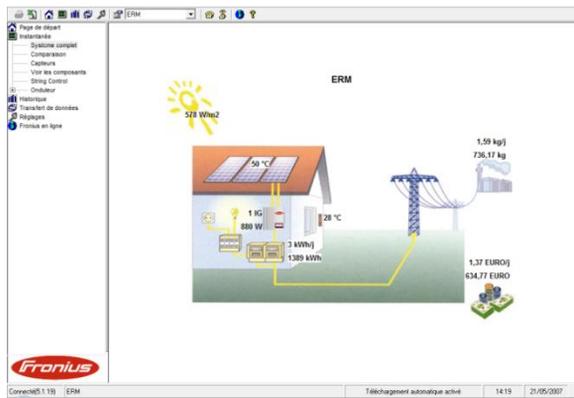


Composition du kit

- ✓ 30m Câble Powerflex 1x4²
- ✓ 10x Câble 4² 0,2m avec connecteurs MC T3Mâle/T4Fem
- ✓ 10x Câble 4² 0,2m avec connecteurs MC T3Fem/T4Mâle
- ✓ 10x Connecteur MC Femelle
- ✓ 10x Connecteur MC Mâle PV-KST 4/6II
- ✓ 1x Pince MC4 pour câbles 2,5/4,0/6,0 mm²

➤ Ce kit permet de montrer aux apprenants la façon de raccorder des chaînes de modules PV

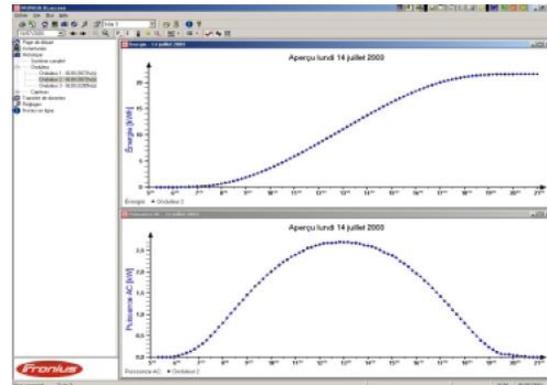
Exemples de courbes



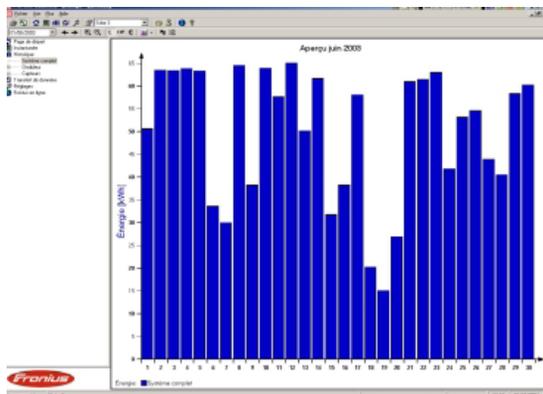
Valeurs instantanées du système :

- Ensoleillement
- Température des panneaux
- Puissance produite
- Energie produite
- Température ambiante
- Quantité de CO₂ économisée
- Gain financier

**Energie injectée le 14 juillet
En kWh)**



**Puissance le 14 juillet
En kW)**



**Production journalière
du mois de Juin (En kWh)**

**Option Panneau d'affichage
(différentes dimensions, nous consulter)**





Aspects administratifs

Procédure administratives pour une installation photovoltaïque). Dans le cadre de votre installation Photovoltaïque Connecté Réseau, vous devez réaliser les démarches ci-dessous

- 1- Dépôt en Mairie ou envoi par lettre recommandée avec AR d'une « déclaration préalable exemptés de permis de construire ». Dans un délai d'un mois, à compter de la réception du dossier complet, la Mairie doit faire connaître son opposition. L'absence d'opposition vaut accord et les travaux peuvent commencer.
- 2- Souscription d'une assurance responsabilité civile mentionnant l'installation photovoltaïque
- 3- Envoi de la « fiches de collecte de renseignements Enedis » pour informer que l'électricité produite sera entièrement consommée sur le site

➤ **Prise en charge de l'installation par une équipe de professionnels agréés Qualit'EnR**

✓ L'installation consiste à :

- Installer les capteurs à l'endroit déterminé au préalable en fonction de l'exposition
- Réaliser le raccordement électrique entre les capteurs, l'onduleur et les coffrets
- Mettre en service et réaliser les essais de l'installation
- Assurer la prise en main et la formation des intervenants

3 types d'installations de capteurs proposées

➤ **Toiture terrasse : les panneaux sont fixés sur des bacs lestés**



Caractéristiques

- ✓ Dimensions d'un bac : L x l x H : 1350 x 730 x 440 mm
- ✓ Dimension d'un capteur : 1593 x 790 x 50 mm
- ✓ Masse d'un capteur : 15 Kg
- ✓ Masse du bac lestée : Hauteur < 8 m, 70 Kg et H > à 8 m, 112 Kg

➤ **Brise soleil**



Caractéristiques

- ✓ Dimensions de la structure et masse :
En fonction de la puissance

➤ **Surimposition toiture**



Caractéristiques

- ✓ Dimensions de la structure et masse :
En fonction de la puissance



Approche pédagogique

Activités pédagogiques envisagées (Solerm Connecté Réseau)

Dimensionnement & Bilans énergétiques

Analyse fonctionnelle

Dimensionnement d'une installation et évaluation de la production d'énergie

Tracé du masque solaire & Utilisation de données météo pour déterminer le potentiel solaire

Utilisation d'un logiciel de dimensionnement d'une installation

Vérification des données de dimensionnement de l'installation

(Puissance photovoltaïque, Sections de câbles, Puissance onduleur,

Taille protections...)

Analyses économiques et environnementales

Analyses technico-économiques (Cas d'un particulier, d'une entreprise, d'une collectivité...)

Comparaison du solaire photovoltaïque avec d'autres moyens de production locale d'électricité (Eolien, Co-génération...)

Etude de coûts et Temps de retour sur investissement en fonction des subventions

Enjeux de la production d'électricité locale dans les pays en voie de développement

Analyses environnementales

Eco-conception autour des modules photovoltaïques

Emissions de CO2 évitées

Problématique de la production décentralisée comparée à la production centralisée (Pertes en ligne...)

Production de l'énergie électrique

Mesures et interprétation de données (Courant, Tension, Températures, Ensoleillement)

Détermination de l'inclinaison optimale

Rendement des modules photovoltaïques et rendement global de l'installation

Transformation de l'énergie électrique

Etude de l'onduleur (Mesures pour calcul du rendement en fonction de la puissance nominale...)

Paramétrage de l'onduleur (Fonction Recherche du Point de Puissance Maximal MPP...), synchronisation réseau

Analyse de la chaîne de puissance (Protections CC, AC avec parafoudre). Réponse aux exigences réglementaires d'Enedis

Distribution et la tarification de l'énergie électrique

Qualité de l'énergie électrique et pollution des réseaux avec des mesurages adéquats et performants

Mise en service de l'équipement, régulation et synchronisation

Equipements Communicants

Étude et définition du support d'un réseau communicant

Recherche des limites de fonctionnement entre les deux interfaces

Recherche de la compatibilité entre les systèmes communicants

Dialogue expérimental entre les systèmes communicants, établissement d'un protocole de test et analyse des performances

Définition des services apportés par le système communicant (Plus values pour l'utilisateur et le gestionnaire)

Mise en service & Réalisation (Chantier)

Planification de l'installation par les élèves avant passage du professionnel (Demande de travaux auprès de la mairie, Collecte des plans du lycée, Identification des chemins de câbles à utiliser, Détermination des sections de câbles...)

Renforcement de câbles et pose de câbles entre le panneau et l'armoire technique

Remplacement des coffrets de protection

Mise en service de l'installation

Procédure et conditions de connexion au réseau

Exécution du protocole de demande de revente d'énergie avec E.D.F

Câblage et raccordement de panneaux supplémentaires

Mise en place de l'acquisition de données d'ensoleillement et température

Mise en place de la communication suivant le protocole choisi

Maintenance

Diagnostic à distance (Création de pannes: Couverture sur panneaux, Câble déconnecté...)

Planification et organisation des interventions de maintenance (Vérification des connexions, Nettoyage des panneaux...)

Changement d'un panneau défectueux



Approche pédagogique (pour le niveau III)

Exemples de Travaux Pratiques proposés par ERM

Partie 1 Etude: Etude de base sur le champ solaire

Etude des différentes technologies de cellules
 Etude d'un module poly-cristallin (Puissance dissipée, Caractéristique, Impact de la température, Point de puissance maximum, Protections...)
 Exploitation de données météorologiques
 Dimensionnement d'un champ photovoltaïque (Surface, Inclinaison, Production...)
 Plan d'implantation des panneaux et des câbles (Section des câbles...)
 Protection électrique de l'installation (Choix des câbles, Pose des câbles, Risque kéranutique...)

Partie 2 Essais de systèmes: Configuration de l'installation en vue de la connexion au réseau

Aspects législatifs et réglementaires de la connexion au réseau
 Choix et performances des matériels de l'installation
 Tarification de l'énergie
 Paramétrage de l'onduleur et du système annexé de communication
 Essais de l'installation
 Récupération et exploitation des données lors de la mise en service
 Vérification des performances de l'installation au plan de la qualité de l'énergie (Distortion harmonique...), domaines limites de fonctionnement

Partie 3 Essais de systèmes: Augmentation de puissance de l'installation

Problématique du dimensionnement
 Mise en parallèle des onduleurs
 Mise en commun de la partie communication-récupération des données
 Mise en service de l'installation
 Vérification des paramètres et essais de l'installation
 Exploitation de l'installation et remise de l'installation au client

Partie 4 Essais de systèmes: Secours d'alimentation avec stockage complémentaire de l'énergie

Prise de conscience économique et conceptuelle du principe en relation avec une gestion de l'énergie dans un site secours et des économies à envisager sur l'installation du propriétaire
 Étude de la circulation de l'énergie dans les différentes phases de fonctionnement
 Schématique de base et organisation fonctionnelle
 Configuration de l'installation et compléments sur le fonctionnement, le choix des accumulateurs et du chargeur
 Mise en service et conduite de l'installation
 Exploitation des données
 Retours d'exploitation, bilan économique et technique

Partie 5 Essais de systèmes : Exploitation, gestion et mise en réseau des données de fonctionnement

Exploitation des différentes données fournies par le système interne de communication de l'onduleur : ensoleillement, puissance, température

 Étude de la production suivant l'ensoleillement, les températures, exploitation des données
 Paramétrage et configuration optimale du réseau
 Plate-forme de communication vers d'autres standards
 Gestion à distance et interface homme machine

Activités d'organisation de chantier: Canevas proposé

Aspects économiques associés
 Approvisionnements en matériels, composants et outillages nécessaires
 Prévention du risque électrique : en vue de la mise en service de l'installation, du raccordement au réseau, de la remise du chantier au client
 Prévention des risques en vue du travail en hauteur et l'utilisation des matériels adéquats
 Organisation de la gestion des ressources humaines du chantier : prévisions, rotations, missions
 Gestion du parc outillage-approvisionnement-fourniture
 Planification du chantier
 Mise en route du chantier et suivi
 Bilan et archivage des données

Activités d'organisation de chantier: Scénarios proposés

Chantier 1: Organisation du chantier pour l'installation de base prévue *in situ*
 Chantier 2: Augmentation de puissance produite avec ajout de capteur solaire
 Chantier 3: Augmentation de puissance produite avec ajout de capteur solaire et second onduleur
 Chantier 4: Mise en place de la structure d'acquisition de données (Capteurs, Datalogger...)
 Chantier 5: Mise en place du secours d'alimentation
 Chantier 6: Maintenance préventive de l'installation
 Chantier 7: Maintenance corrective de l'installation (ex: Changement d'un panneau défectueux)

Photos d'installation réalisées par ERM Automatismes



Lycée Nicéphore Niepce (Chalon sur Saône)



Lycée Nicéphore Niepce (Chalon sur Saône)

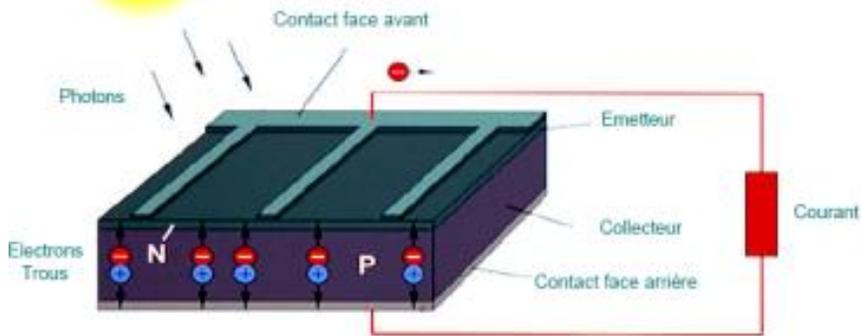


ERM Automatismes (Carpentras)



Transformation de l'énergie lumineuse: le photovoltaïque et la jonction PN

- ✓ Une cellule photovoltaïque est principalement constituée à partir de silicium dopé (Semi-conducteur: jonction p-n).
- ✓ Lorsqu'une cellule est exposée au rayonnement électromagnétique solaire, les photons de la lumière transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Cette énergie permet aux électrons de libérer des atomes, générant ainsi des électrons (charges N) et des trous (charges P).
- ✓ Ces charges sont alors maintenues séparées par un champ électrique qui constitue une « barrière de potentiel ».
- ✓ Une fois les charges P et N isolées, il suffit de fermer le circuit entre ces 2 zones (P et N) pour mettre en mouvement les électrons et créer ainsi un courant électrique.



Rendement des modules photovoltaïques

- ✓ Le rendement des modules en fonction des différentes technologies fait apparaître des différences importantes.

Technologie	Rendement typique	Rendement maximum obtenu (laboratoire)
Mono-cristallin	12-15%	24%
Poly-cristallin	11-14%	18.6%
Couche mince : Amorphe	6-7%	12.7%

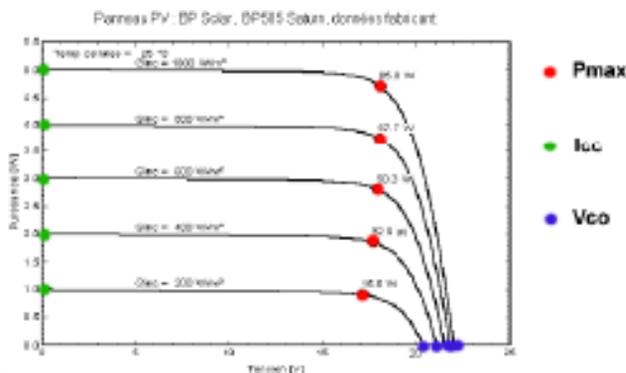
- ✓ Calcul du rendement:
 - Puissance de rayonnement à l'entrée de l'atmosphère (Constante solaire): 1350W/m²
 - Puissance de rayonnement au niveau du sol: 1000W/m²
 - Puissance obtenue par conversion photovoltaïque: 110 à 150W/m²
 - Rendement: 11 à 15%

Le Watt Crête (Wc)

- ✓ Unité de puissance de référence qui permet de comparer les cellules et modules
- ✓ Puissance maximale délivrée sous des conditions de test standard (Rayonnement au sol: 1000W/m² - Température: 25°C)

Caractéristique Courant-Tension

- ✓ La caractéristique Courant-Tension d'un module cristallin fait apparaître un point de puissance maximum dont la tension est proche des 17/18Volts à 25°C et 1000W/m².
- ✓ L'évolution en fonction de la température montre que la tension décroît et le courant augmente quand la température s'élève.





Informations sur le photovoltaïque (suite)

Ensoleillements moyens en France

	Marseille	Toulouse	Nantes	Lyon	Paris	Mulhouse
Ensoleillement moyen pour une orientation Sud à 30°	5.0 kWh/m ² .j	4.2 kWh/m ² .j	3.7 kWh/m ² .j	3.7 kWh/m ² .j	3.2 kWh/m ² .j	3.2 kWh/m ² .j

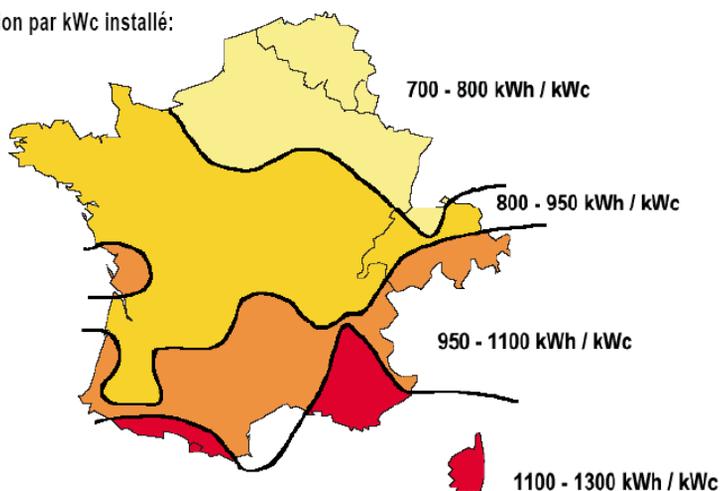
Impacts de l'orientation et de l'inclinaison (1 = Orientation Sud, Inclinaison 30°)

- ✓ Orientation Sud: Horizontal → 0.93, Inclinaison 60° → 0.91, Inclinaison 90° → 0.68
- ✓ Inclinaison 30°: Orientation Est → 0.9, Orientation Sud-est → 0.96

Potentiel de production d'électricité photovoltaïque sur le territoire français

- ✓ A titre indicatif, l'installation d'un kWc nécessite environ 8m² de panneaux solaires

Carte de production par kWc installé:



Les trois applications principales du solaire photovoltaïque

- ✓ **Système autonome**
 - Le module charge une batterie qui permet d'utiliser l'énergie à convenance. La charge et la décharge de la batterie sont contrôlées et gérées par un dispositif de gestion d'énergie.
 - Sur certains systèmes un dispositif d'acquisition de données permet de surveiller le fonctionnement du système
 - Généralement des appareillages de conversion d'énergie sont également intégrés:
 - Onduleur : pour fournir à l'utilisateur une tension alternative conventionnelle (230Vac)
 - Chargeur : pour apporter une charge complémentaire à partir d'une source auxiliaire (Groupe électrogène, Eolien)
 - Ce type de système nécessite un dimensionnement du système tenant compte de la localisation, du besoin et de l'autonomie de la batterie.
- ✓ **Fil du soleil**
 - L'énergie électrique produite par les modules solaires est directement utilisée par le récepteur. Il n'y a donc pas de stockage électrochimique.
 - Généralement les générateurs « au fil du soleil » sont destinés à alimenter des moteurs électriques en courant continu ou alternatif (dans ce cas un appareil de conversion d'énergie est requis).
 - Les principales applications sont celles où l'on peut envisager un stockage d'énergie sous une autre forme que l'énergie électrique (par exemple : stockage d'eau, stockage de froid...)
 - Autres applications : application pour lesquelles le service rendu ne nécessite pas des contraintes spéciales liées à la fourniture d'énergie : aération, ventilation...
- ✓ **Connecté au réseau**
 - Tout ou partie de l'énergie produite est injectée dans le réseau de distribution électrique.
 - Il existe principalement deux variantes :
 - L'« injection simple » : la totalité de l'énergie produite est injectée dans le réseau.
 - L'« injection secours », avec batterie, permet de fournir de l'énergie de façon autonome en cas de d'absence du réseau public (Coupure due a des aléas climatiques ou techniques). Ainsi une garantie de service de distribution électrique est assurée.