

Guide des Bonnes Pratiques

RÉUSSIR VOTRE
CENTRALE
PHOTOVOLTAÏQUE
AVEC LES PROFESSIONNELS DU SECTEUR ÉLECTRIQUE

Environnement

Sécurité

Rentabilité

Pérennité

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	p. 3
1. Contexte général de votre projet photovoltaïque	p. 5
1.1 Le marché et ses enjeux	p. 5
1.2 Description d'une centrale photovoltaïque	p. 6
1.3 Démarches administratives	p. 8
1.4 Les phases d'un projet de centrale photovoltaïque	p. 10
2. L'engagement des professionnels du Gimélec	p. 13
2.1 Au service de votre réussite	p. 13
2.2 Qui sommes-nous ?	p. 14
2.3 Notre champ d'action	p. 15
2.4 Des professionnels qui s'engagent	p. 16
3. Qualité de votre installation photovoltaïque	p. 17
3.1 Objectif rentabilité	p. 18
3.2 La qualité d'une installation PV	p. 18
Bonnes pratiques pour chaque étape du cycle de vie	p. 19
4. Compétences - l'expertise à votre service	p. 25
4.1 Mettre en œuvre les indicateurs de performance d'une centrale	p. 26
4.2 Un raccordement réussi, un avenir maîtrisé	p. 30
Glossaire	p. 35

Sommaire

Investir dans une centrale photovoltaïque, c'est chercher - avec raison - à exploiter cet immense gisement d'énergie que représente le rayonnement solaire (près de 3000 fois la consommation annuelle mondiale d'énergie !). Cinquième gisement solaire européen, la France représente un territoire favorable aux investissements. Cette attractivité s'est encore vue renforcée ces dernières années par les incitations gouvernementales. Les objectifs pris lors des rencontres internationales (en particulier le « triple 20 »*), le Grenelle ainsi que les changements de mentalité sont à l'origine d'une évolution des besoins et des attentes en termes d'énergie. L'enjeu est clair : le photovoltaïque est un atout essentiel dans le développement durable de notre société, de nos collectivités et de nos entreprises.

Cet investissement peut prendre la forme soit d'une installation sur toit (pour une entreprise ou une collectivité) soit d'une installation au sol (encore appelée ferme photovoltaïque). À partir d'une puissance de 250 kWc (kiloWatts-crête), toute installation est considérée comme une « centrale », objet de ce guide.

Le photovoltaïque, à l'instar des autres énergies renouvelables, a généré de nouveaux métiers complexes ; car une installation photovoltaïque comporte un ensemble de points sensibles qu'il est impératif de parfaitement maîtriser. En outre, la multiplicité des acteurs impliqués nécessite de définir un langage commun pour faciliter le dialogue et une démarche générique pour permettre la coordination. De là est née l'idée du guide que vous tenez entre les mains.

Sont concernés par ce document tous les acteurs impliqués dans un projet de centrale photovoltaïque : les investisseurs - et parmi eux les agriculteurs apporteurs de foncier -, les collectivités locales, les banquiers ainsi que les assureurs. Dans ce guide, ils trouveront de la part des professionnels du Gimélec des réponses précises et des engagements clairs en faveur d'installations « de qualité », c'est-à-dire sûres, rentables, pérennes et s'inscrivant dans une démarche de développement durable.

...

Intervenant avec compétence et responsabilité sur l'ensemble de la chaîne de valeur d'une installation photovoltaïque, les acteurs du Gimélec (concepteurs, constructeurs, assembleurs et spécialistes de l'exploitation et de la maintenance d'équipements électriques) vous feront bénéficier d'une totale maîtrise des risques. Les indicateurs de performance qu'ils vous proposent vous permettront d'évaluer clairement chaque étape du projet.

Découvrez les bonnes pratiques qui aboutissent à une installation de qualité, donnez-vous les moyens de connaître avec précision la performance globale de votre outil de production d'électricité, et entrez dans le monde des réseaux électriques intelligents (appelés *Smart Grids*), véritable mutation du système de fourniture d'énergie qui se profile à l'horizon des trente prochaines années !



* Par rapport au niveau de 1990, les vingt-sept pays européens se sont engagés pour 2020 à 20% d'économies d'énergie, 20% de réduction des émissions de gaz à effet de serre et 20% d'énergie renouvelable dans la consommation totale d'énergie.

1

Contexte général

de votre projet photovoltaïque

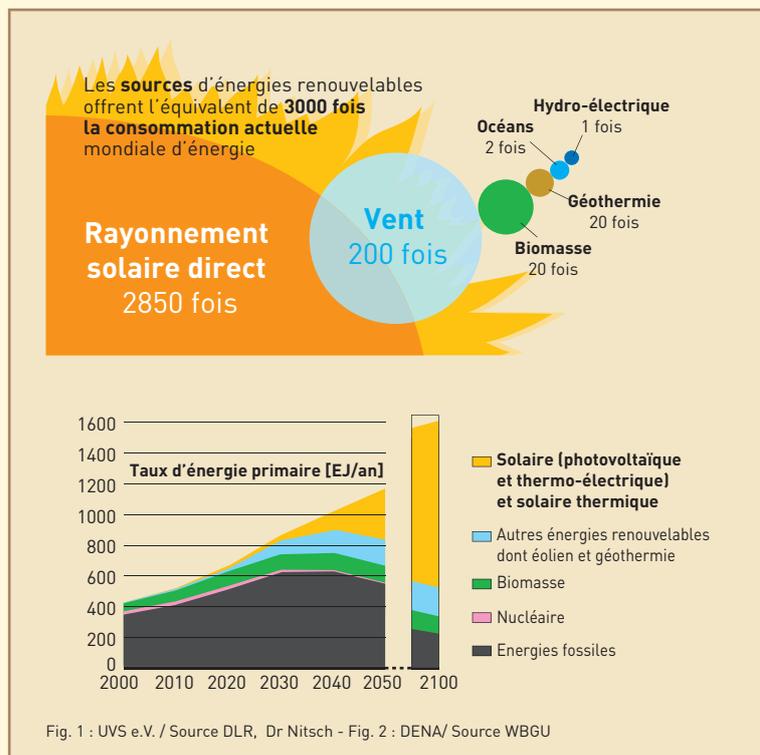
1.1 Le marché et ses enjeux

Le solaire photovoltaïque est la seule technologie permettant la conversion de l'énergie solaire en électricité. Cette technologie présente un potentiel immense : **une seule heure de rayonnement solaire suffirait à assurer une année de la consommation mondiale d'énergie** (voir fig. 1). À l'horizon 2050, il est probable que près de 20% de l'énergie utilisée dans le monde sera produite par des installations photovoltaïques (voir fig. 2).

Aujourd'hui, les enjeux du développement durable et les incitations gouvernementales donnent un nouvel élan à l'industrie photovoltaïque française. Ce dynamisme est également poussé vers le haut par le marché européen - qui représente deux tiers du marché photovoltaïque mondial.

Le marché français du solaire photovoltaïque connaît depuis 2003 une croissance importante, croissance qui s'est encore accélérée à partir de 2007 avec la mise en place par l'État de mesures fiscales incitatives.

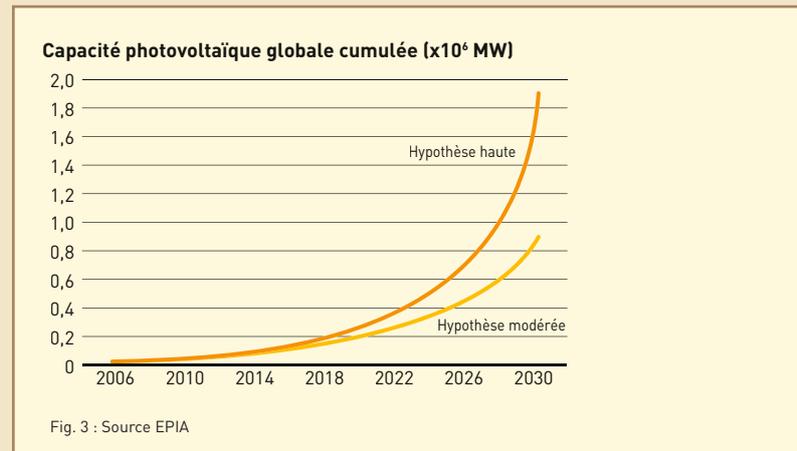
...



Selon les prévisions de l'association européenne des industries photovoltaïques, le parc photovoltaïque installé pourrait atteindre environ 1 800 000 MW en 2030 (voir figure 3), ce qui représenterait environ 14% de la consommation d'électricité mondiale. Ce parc installé permettrait ainsi à plus de 4,5 milliards de personnes – dont 3,2 dans les pays en développement – d'être alimentées en électricité.

1.2 Description d'une centrale photovoltaïque

Une centrale photovoltaïque est constituée de divers équipements – électriques pour la plupart – jouant un rôle direct ou indirect dans la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.



Cette complexité implique des compétences multiples en termes de métiers, seules garantes de la qualité de la réalisation finale :

1 Structure porteuse / de fixation

Fonction matériel

- Être stable
- Supporter le poids des panneaux
- Résister aux contraintes environnementales

Métiers

- Couverture (dans le cadre des grandes toitures)
- Génie Civil (dans le cadre des centrales au sol)

2 Panneaux

Fonction matériel

- Convertir le rayonnement solaire en courant continu
- Assurer une fonction de couverture (projet en toiture)

Métiers

- Fabricants de panneaux photovoltaïques
- Couverture (dans le cadre des grandes toitures)
- Installation électrique (dans le cadre des centrales au sol)

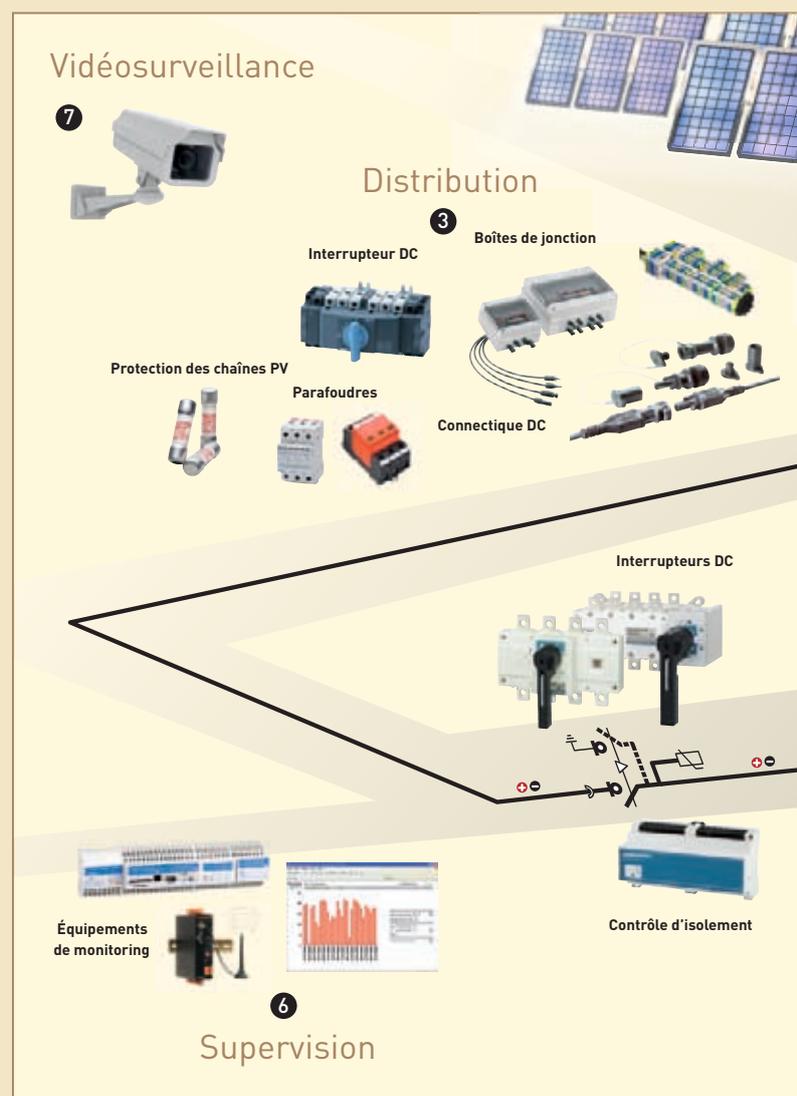
3 Distribution courant continu (DC) ou alternatif (AC)

Fonction matériel

- Raccorder les chaînes de panneaux entre elles
- Protéger les chaînes de panneaux et les intervenants des risques électriques et atmosphériques
- Assurer l'acheminement du courant produit vers les postes de conversion

Métiers

- Fabricants de connectiques
- Fabricants de protections
- Fabricants de câbles
- Fabricants de coffrets
- Fabricants d'appareillage
- Installateurs électriciens





4 Poste de conversion

Fonction matériel

- Convertir le courant continu en courant alternatif
- Protéger les circuits de distribution DC et les intervenants des risques électriques et atmosphériques
- Générer un courant alternatif de qualité
- Transformer la basse tension en moyenne tension

Métiers

- Fabricants d'onduleurs
- Fabricants d'appareillage et de protections
- Fabricants de postes pré-fabriqués
- Installateurs électriciens

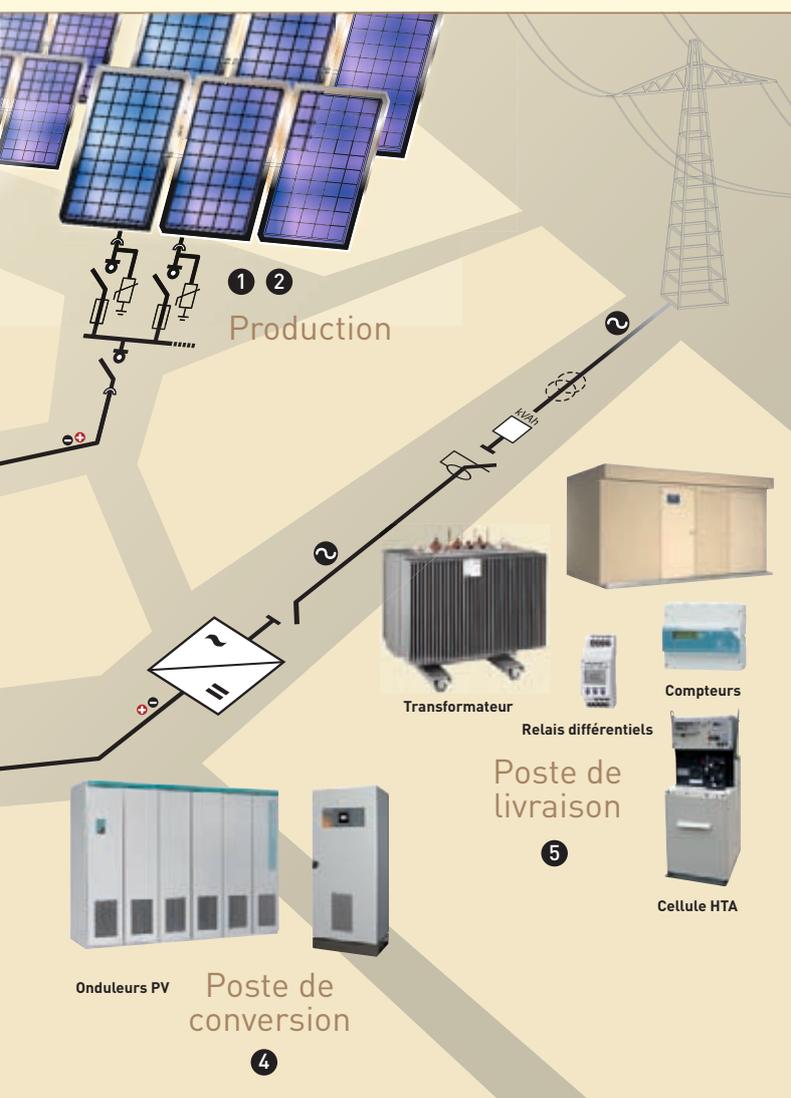
5 Poste de livraison

Fonction matériel

- Transformer la moyenne tension en haute tension
- Protéger les circuits de distribution AC et les intervenants des risques électriques et atmosphériques
- Raccorder l'installation au réseau de distribution ou de transport (ERDF, RTE)

Métiers

- Fabricants de transformateurs
- Fabricants de protections
- Installateurs électriciens
- Fabricants d'appareillage



6 Système de supervision

Fonction matériel

- Suivre le fonctionnement et la performance de l'installation
- Permettre d'optimiser la production (détection d'anomalie)

Métiers

- Fabricants de système de monitoring
- Fabricants de capteurs
- Éditeurs de logiciels
- Installateurs électriciens
- Exploitants
- Maintenançiers spécialisés

7 Contrôle d'accès et vidéosurveillance

Fonction matériel

- Sécuriser le site de production
- Authentifier, autoriser et tracer les accès au site
- Prévenir les intrusions et les actes de vandalisme

Métiers

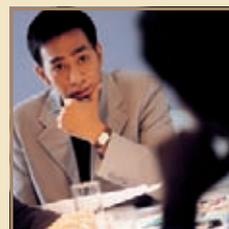
- Fabricants de systèmes de contrôle d'accès (caméra vidéo, capteurs, etc.)
- Éditeurs de logiciels
- Installateurs électriciens
- Exploitants
- Maintenançiers spécialisés



1.3 Démarches administratives

La réalisation d'une installation photovoltaïque passe par l'obtention de diverses autorisations dont le détail est donné ci-après. Les procédures administratives sont prises au titre :

- du droit de l'électricité (Réglementation Electrique),
- du code de l'environnement,
- du code de l'urbanisme.



Au titre du droit de l'électricité

Les demandes au titre du droit de l'électricité concernent :

- l'autorisation ou la déclaration d'exploiter le site,
- la demande de raccordement,
- le certificat ouvrant droit à l'obligation de rachat.

Autorisation ou déclaration d'exploiter le site

Suivant sa puissance, une installation photovoltaïque est soumise à autorisation d'exploiter ou à déclaration préalable au titre électrique (voir tableau ci-contre).

Le site Internet Ampère (<http://ampere.industrie.gouv.fr>) permet d'effectuer la déclaration en ligne et d'imprimer le récépissé pour les installations inférieures à 4500 kWc.

Demande de raccordement et obligation d'achat

Afin de bénéficier de l'obligation d'achat, tout producteur d'électricité photovoltaïque doit effectuer deux démarches : une demande de raccordement au gestionnaire du réseau public (qui diffère selon le niveau de tension, voir tableau ci-contre) et une demande de contrat d'achat auprès du fournisseur d'électricité EDF Obligation d'Achat (EDF OA).

Depuis l'automne 2009, un guichet unique a été mis en place afin qu'il n'y ait plus qu'une seule démarche à effectuer : les exploitants d'une centrale photovoltaïque n'adressent plus désormais que la demande de raccordement au gestionnaire de réseau. Une fois traitée, celle-ci est automatiquement transmise à EDF OA qui délivre à l'exploitant un contrat d'achat à signer.

Certificat ouvrant droit à l'obligation de rachat

Pour les centrales photovoltaïques affichant une puissance supérieure à 250 kWc, le producteur doit effectuer une demande de certificat ouvrant droit à l'obligation de rachat (voir tableau ci-contre).

Texte de référence	Organisme	Puissance (kWc)	
		250 - 4500	4500 - 12000
Décret n°2000-877 du 7/09/2000	MEEDDM *	Déclaration	Autorisation

(*) MEEDDM : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Niveau de tension	Organisme
< 63 kVA	Electricité Réseau Distribution France (ERDF) ou distributeurs non nationalisés
≥ 63 kVA	Réseau de Transport d'Electricité (RTE)

Texte de référence	Organisme	Puissance (kWc)	
		< 250	> 250
Décret n°2001-410 du 10/05/2001 & Décret n°2009-1414 du 19/11/2009	DREAL *	-	Demande nécessaire

(*) Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

Au titre du droit de l'urbanisme

L'implantation d'un dispositif photovoltaïque se doit d'être compatible avec le règlement d'urbanisme en vigueur (POS, PLU, règlement d'urbanisme national). En cas d'incompatibilité, il convient de faire modifier ces documents.

Permis de construire ou déclaration de travaux

Suivant sa puissance et son type, une installation photovoltaïque peut être soumise à déclaration préalable ou à permis de construire. Pour toute installation d'une puissance supérieure à 250 kWc, il est nécessaire de déposer une demande de permis de construire.

Si l'électricité produite n'est pas destinée à une utilisation directe par le demandeur, le permis de construire ou la déclaration préalable relèvent de la compétence du préfet.

Texte de référence	Organisme	Puissance (kWc)
Décret n°2009-1414 du 19/11/2009 & circulaire du 18/12/2009	Mairie ou Préfet	> 250
		Permis de construire

Au titre de l'environnement

Suivant sa taille et sa localisation, une installation photovoltaïque est soumise à plusieurs démarches au titre de l'environnement :

Etude d'impact environnemental

Les installations au sol d'une puissance supérieure à 250 kWc sont soumises à étude d'impact environnemental.

Enquête publique

Les installations au sol d'une puissance supérieure à 250 kWc sont soumises à enquête publique dans le cadre de la procédure du permis de construire. D'autres considérations environnementales peuvent s'appliquer à ces mêmes installations au sol, au cas par cas.

Le MEEDDM est en train de préparer un « Guide méthodologique de l'étude d'impact des installations solaires photovoltaïques au sol » qui devrait être publié avant la fin du mois de juin 2010. Il est conseillé de se reporter à ce document.

Tableau de synthèse pour les installations de plus de 250 kWc

Procédure	Type d'installation	Puissance (kWc)	
		250 - 4500	4500 - 12000
Certificat ouvrant droit à obligation d'achat	Parc au sol et toiture	Délibéré par l'instance départementale (DREAL)	
Droit de l'électricité	Parc au sol et toiture	Déclaration	Autorisation
Code de l'urbanisme	Parc au sol	Permis de construire & enquête publique	
	Toiture	Déclaration préalable ou permis de construire si le bâtiment est un bâtiment neuf	
Code de l'environnement	Parc au sol	Etude d'impact	

1.4 Les phases d'un projet de centrale photovoltaïque

Le cycle de vie d'une centrale photovoltaïque comporte six phases essentielles :

Faisabilité -
Etude et conception

Fourniture
de matériel



Objet

- Etudier la faisabilité du projet
- Définir et concevoir l'installation (plan d'exécution, schéma électrique, planning, etc.)
- Effectuer les démarches administratives au titre du droit de l'électricité, du code de l'environnement et du code de l'urbanisme

Acteurs

- Société d'ingénierie
- Bureau d'études
- Installateur
- Intégrateur
- Banque, investisseur

Objet

Choisir les matériels constitutifs du projet selon les critères suivants :

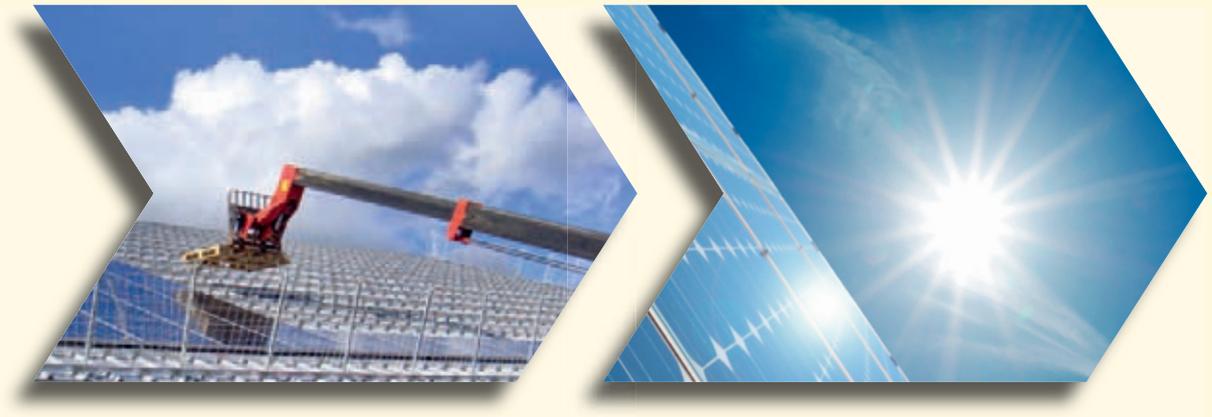
- Composants répondant aux spécifications techniques du projet
- Démarche qualité des constructeurs
- Garanties offertes et pérennité des constructeurs
- Intégration de la chaîne de valeur des composants

Acteurs

- Bureau d'études
- Installateur
- Intégrateur
- Constructeurs de matériel
- Banque, investisseur

Installation et mise en service

Exploitation



Objet

- Se conformer à l'étude de conception
- Atteindre, grâce à une installation réalisée dans les règles de l'art, le ratio de performance théorique escompté
- Faire raccorder l'installation au réseau par le gestionnaire du réseau (RTE, ERDF)
- Tester les fonctionnalités de l'installation
- Contrôler la conformité de l'installation (respect des spécifications techniques, Performance Ratio atteint, ...)

Acteurs

- Constructeurs de matériel
- Installateur
- Bureau de contrôle

Objet

- Réaliser des actions permettant à l'installation d'assurer pleinement sa fonction
- Gérer et optimiser la performance de l'installation

Acteurs

- Exploitant
- Mainteneur spécialisé
- Constructeurs de matériel

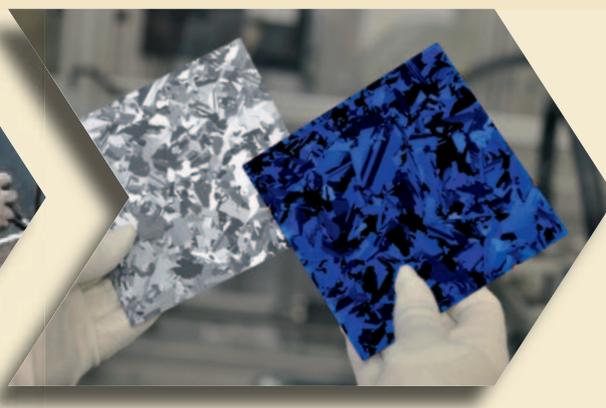




Maintenance



Recyclage



Objet

- Réaliser des actions permettant d'optimiser le fonctionnement, au niveau escompté
- Anticiper les défaillances matérielles (système d'information, politique de maintenance, indicateurs, ...)
- Gérer à date fixe le gros entretien et le renouvellement (GER)
- Mettre en place des procédures et des méthodes pour la réalisation de la maintenance
- Réaliser les interventions (préventives, correctives)
- Gérer les pièces de rechanges

Acteurs

- Exploitant
- Mainteneur spécialisé
- Constructeurs de matériel

Objet

- Démanteler les installations
- Traiter et recycler les équipements en fin de vie de l'installation
- Reconditionner les sites

Acteurs

- Entreprises de recyclage
- Constructeurs de matériel



2 L'engagement des professionnels du Gimélec

2.1 Au service de votre réussite

La qualité d'une installation photovoltaïque repose sur quatre piliers fondamentaux :

La RENTABILITÉ

La centrale permet de générer des bénéfices satisfaisants.

La PÉRENNITÉ

La centrale est exploitable à un niveau optimal pendant les 20 années de la durée du contrat d'achat de l'électricité produite.

La SÉCURITÉ

L'installation garantit la sécurité des personnes intervenant sur le site ; les biens et le voisinage sont protégés.

L' ENVIRONNEMENT

L'installation permet de produire une énergie verte et de s'inscrire dans une démarche développement durable.

**Les acteurs du Gimélec
déclinent leur savoir-faire
au cœur des centrales photovoltaïques
pour fournir un ensemble complet de
solutions et de services responsables.**

Les acteurs du Gimélec s'engagent à concevoir une centrale photovoltaïque tout en maîtrisant les risques techniques et les facteurs de performance et de disponibilité.

Ils s'engagent par ailleurs à utiliser des composants compatibles, interopérables et conformes aux normes en vigueur.

Enfin, les acteurs du Gimélec ont la capacité d'optimiser le raccordement au réseau électrique de la centrale photovoltaïque ainsi que son exploitation au travers des *Smart Grids*.

2.2 Qui sommes-nous ?

Le Gimélec rassemble 230 entreprises qui fournissent des solutions électriques et d'automatismes sur les marchés de l'énergie, du bâtiment, de l'industrie et des infrastructures.

Les entreprises membres du Gimélec génèrent un chiffre d'affaires de 11,4 milliards d'euros à partir de la France et de 41,2 milliards d'euros dans le monde. Leurs produits, équipements, systèmes et services assurent des fonctions essentielles :



**Sécurité et intelligence
des réseaux électriques**



Gestion active des bâtiments

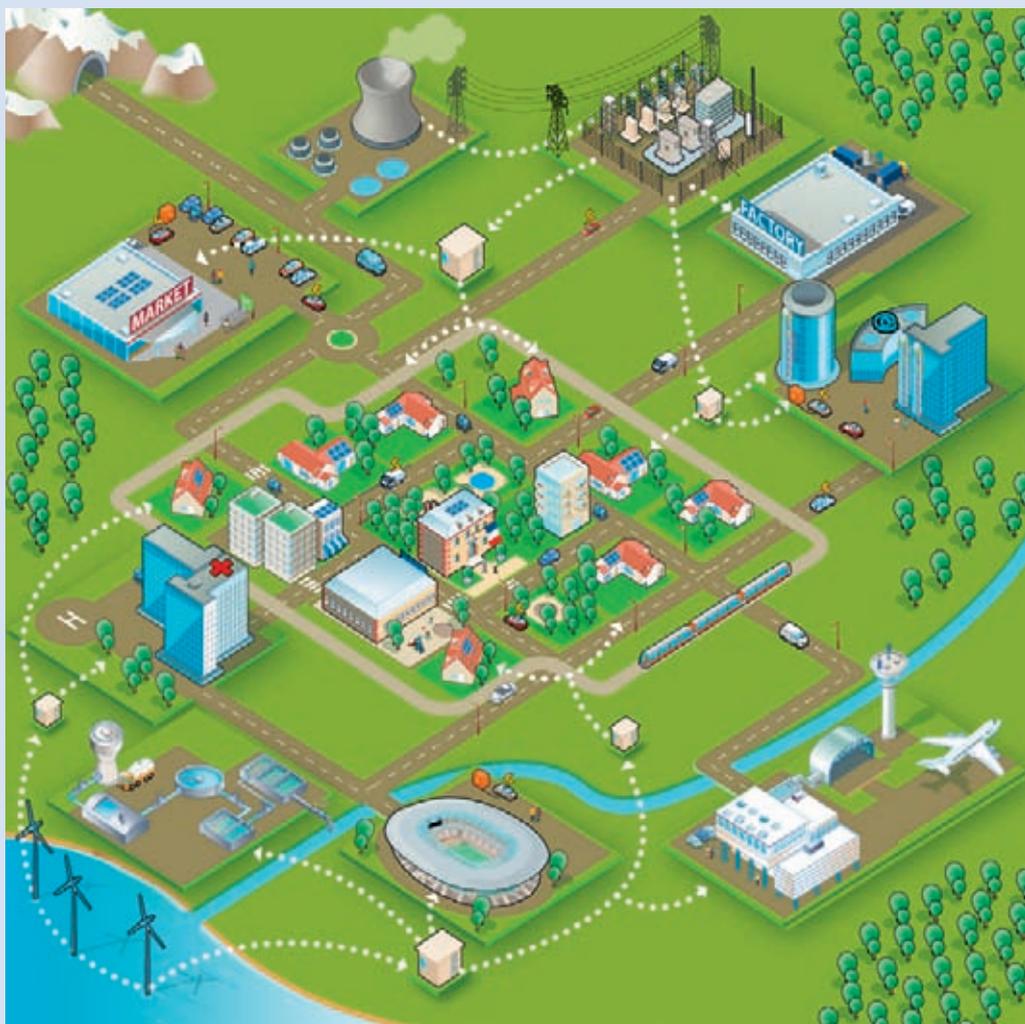


**Productivité et sécurité
des procédés**



**Continuité et qualité
de l'alimentation électrique**

2.3 Notre champ d'action



Face aux objectifs ambitieux de l'Europe et de la France en matière d'économies d'énergie et de réduction des émissions de CO₂, les entreprises membres du Gimélec s'inscrivent dans une dynamique de développement durable en proposant des produits, équipements, systèmes et solutions pour :

- une gestion active des bâtiments neufs et existants,
- des réseaux sécurisés et intelligents (smart grid) facilitant la maîtrise de la production et de la demande d'énergie ainsi que la diffusion de nouveaux usages
- le déploiement du véhicule électrique
- le raccordement au réseau électrique et la gestion des nouvelles sources d'énergie décarbonée
- un pilotage sécurisé et énergétiquement efficace des procédés de fabrication industriels

2.4 Des professionnels qui s'engagent

À chaque étape du projet, les entreprises du Gimélec vous font bénéficier des compétences et savoir-faire nécessaires à l'atteinte de vos objectifs de performance et de disponibilité.

Leur maîtrise des quatre piliers fondamentaux vous assure d'une installation de qualité.



3

Qualité

de votre installation photovoltaïque

Que l'installation tienne ses promesses dans la durée, voilà la principale exigence des investisseurs. Deux conditions permettent d'atteindre ce résultat :

D'une part, ils doivent savoir ce qu'ils sont en droit d'attendre de l'installation et pouvoir constater les inévitables dérives – c'est le rôle des indicateurs de performance.

D'autre part, ils doivent mettre toutes les chances de leur côté en adoptant les Bonnes pratiques propres à chacune des phases du cycle de vie de l'installation.

Un exemple : dès la conception, l'intégration et la compatibilité des composants doivent être parfaitement maîtrisées. Car les parties électriques et électroniques constituent avec le monitoring le véritable cœur de l'installation ; la maîtrise des interactions entre tous ces éléments est donc un savoir-faire clé, dans une optique de qualité globale du projet.



Si les toitures industrielles atteignent ou dépassent 250 kWc, les centrales au sol ou « fermes solaires » sont conçues pour produire plusieurs MWc.

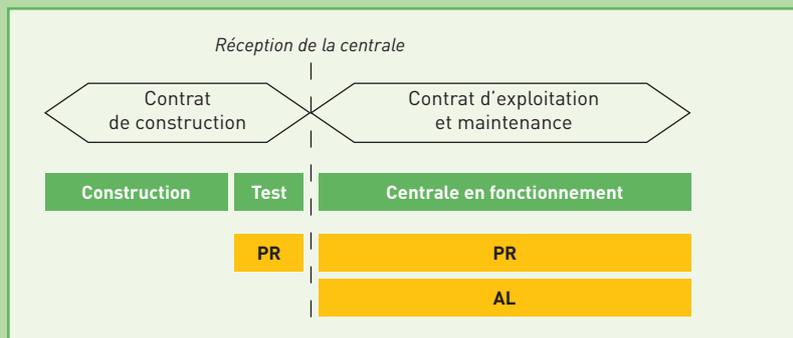
3.1 Objectif rentabilité

Les investisseurs, les banques et les compagnies d'assurances ont besoin d'indicateurs de qualité pour pouvoir s'engager à financer une centrale photovoltaïque, puis la réceptionner et enfin mesurer son niveau de performance tout au long de son exploitation.

Deux indicateurs sont généralement utilisés :

- le Performance Ratio (PR),
- la Disponibilité (AL).

Le Performance Ratio (PR) mesure la capacité de la centrale à produire. Il ne quantifie pas une production annuelle mais un rendement qui reflète l'efficacité de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Le PR est utilisé à la réception de la centrale et pendant l'exploitation.



La Disponibilité (AL) mesure la capacité de la centrale à fonctionner sans défaut. Cet indicateur est utilisé uniquement pendant l'exploitation.

Les entreprises membres du Gimélec ont la maîtrise des aspects techniques et contractuels de ces indicateurs. Elles sont à même de vous conseiller et de vous aider à les mettre en œuvre.

3.2 La qualité d'une installation

Dans cette même logique, elles vous proposent dans les pages suivantes un ensemble de **bonnes pratiques** acquises au cours des nombreux projets menés à bien ces dernières années.





Faisabilité - Etude et conception



« La future performance de votre installation se joue dès sa conception »

Bonnes pratiques

Génie Civil

- Etudes de sol pour s'assurer de la faisabilité d'implantation des structures
- Conception de travaux de terrassement permettant un accès et une circulation aisés sur le site
- Dimensionnement du système d'évacuation des eaux pluviales

Installation électrique

- Optimisation du dimensionnement, de la compatibilité des matériels et des locaux techniques
- Etude des pertes et de la problématique de la qualité de l'énergie – harmoniques, stabilité de tension

Structure et montage

- Calcul de la charge admissible en toiture
- Adéquation des panneaux aux ancrages, aux types de toiture, d'étanchéité ou de sol
- Optimisation du choix inclinaison / espacement / ombre

Raccordement au réseau

- Estimation de la faisabilité du raccordement : distance (pertes d'énergie, coût), capacité du poste source
- S'assurer de la qualification des matériels par rapport aux exigences en vigueur des opérateurs contractuels d'énergie (RTE, ERDF)

EXEMPLES

Un défaut de prise en compte du relief peut générer des travaux de génie civil supplémentaires à cause de la présence d'un grand nombre d'irrégularités du relief.

→ **Impact sur le coût de construction – Travaux d'aplanissement du terrain**

Un choix inadapté de locaux techniques peut engendrer des problèmes de condensation et accélérer le vieillissement du matériel installé à l'intérieur.

→ **Impact sur le coût d'exploitation – Augmentation des actions curatives sur le matériel**

Faisabilité
Études et
conception

**Fourniture
de matériel**

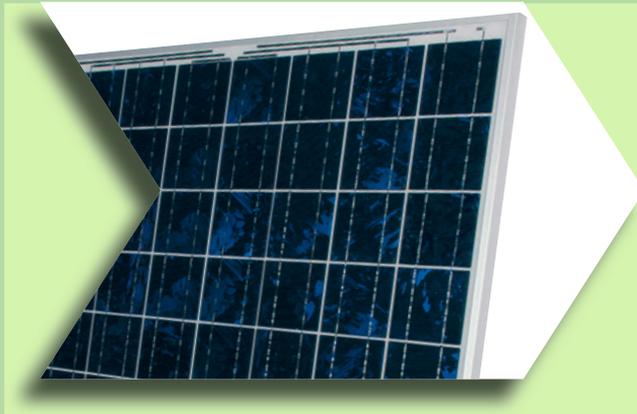
Installation
Mise en
service

Exploitation

Maintenance

Recyclage

Fourniture de matériel



« La clé de voûte
du projet : le choix de
matériels performants
et compatibles »

Bonnes pratiques

Structure et montage

- Vérification du conditionnement et du mode de livraison des matériels afin de garantir l'accessibilité au site et de faciliter la mise en œuvre

Installation électrique

- Respect des spécifications techniques liées aux particularités de la centrale (chaque centrale est unique !)
- Prise en compte des délais de fabrication (pouvant être variables pour certains équipements)

Raccordement au réseau

- Choix de matériels répondant aux spécifications du gestionnaire de réseau et anticipant les évolutions attendues en terme de raccordement (qualité de l'énergie produite, capacité d'opérer à distance, ...)

EXEMPLES

Une commande passée trop tard ou une livraison décalée ont un impact direct sur le planning de réalisation et donc sur les premières semaines de production.

→ **Impact sur le coût d'installation – Pénalités de retard**

Le rendement final et la disponibilité de la centrale sont des critères prioritaires. Lorsqu'un des équipements a un fonctionnement dégradé ou un rendement moindre, c'est toute la production qui est impactée

→ **Impact sur le coût d'exploitation – Pertes d'exploitation**



Installation et mise en service



« L'étape essentielle pour garantir vingt années d'exploitation »

Bonnes pratiques

Génie Civil

- Respect des prescriptions des études de sols
- Réalisation de systèmes de drainage, d'évacuation des eaux pluviales respectant la loi sur l'eau
- Respect des procédures d'ouverture de chantier (information aux riverains)

Structure et montage

- Maîtrise de la manipulation et des modes de pose des systèmes de fixation
- Respect des études de conception concernant l'alignement, l'inclinaison et l'orientation des structures

Installation électrique

- Maîtrise du raccordement des équipements selon les recommandations du constructeur
- Maîtrise du câblage, des normes entourant les travaux sous tension et les travaux en hauteur
- Maîtrise de la pose et du mode d'enfouissement des câbles

Raccordement au réseau

- Respect des prescriptions techniques du gestionnaire du réseau
- Maîtrise du dimensionnement et de la pose des équipements de protection électrique de l'installation

EXEMPLES

La connexion de panneaux en parallèle au lieu d'une mise en série peut entraîner la destruction des onduleurs.

→ **Impact sur le coût de construction – Renouvellement du parc d'onduleurs**

Un défaut de conception du système d'évacuation des eaux pluviales peut entraîner une détérioration des câbles au cours du temps, du fait d'une remontée à la surface

→ **Impact sur le coût d'exploitation – Action curative sur l'enfouissement des câbles et le système d'évacuation des eaux pluviales**

Faisabilité
Études et
conception

Fourniture
de matériel

Installation
Mise en
service

Exploitation

Maintenance

Recyclage

Exploitation



« *Piloter la production
pour obtenir le meilleur
de votre centrale* »

Bonnes pratiques

Génie Civil

- Plan de suivi de l'état de la partie génie civil de l'installation pour s'assurer de la stabilité des fondations

Structure et montage

- Plan de suivi de l'état de la partie structure de l'installation pour contrôler la stabilité du couple inclinaison – orientation des structures
- Nettoyage des panneaux

Installation électrique

- Maîtrise de la conception, du dimensionnement et du choix des outils de supervision adapté à l'installation et à son environnement
- Choix d'indicateurs pertinents pour le suivi de l'état de fonctionnement de l'installation
- Optimisation énergétique des programmes de production du site
- Simulation en ligne des capacités de flexibilité du site

Raccordement au réseau

- Suivi de l'état du réseau
- Optimisation des outils de pilotage de l'installation permettant la circulation d'informations nécessaires à la gestion du réseau

EXEMPLES

Un défaut de connectique peut empêcher la détection d'une anomalie de l'onduleur.

→ **Impact sur le coût d'exploitation – Renouvellement du parc d'onduleurs**

Un défaut de dimensionnement du système d'information peut entraîner une remontée d'informations trop tardive ne permettant pas une gestion optimisée de l'installation.

→ **Impact sur le coût d'installation – Remise à niveau du système d'informations**



Maintenance



« *Maintenir votre installation en conditions opérationnelles* »

Bonnes pratiques

Génie Civil

- Conception de zones de circulation afin de faciliter les accès au site pour la maintenance
- Entretien de la végétation environnante pouvant générer des ombrages
- Détection et analyse de tout signe de fragilisation ou vieillissement anormal des composants constituant les fondations

Structure et montage

- Détection et analyse de tout signe de déformation ou vieillissement anormal des composants pouvant compromettre la pérennité et entraîner une dégradation des performances
- Nettoyage et entretien des panneaux

Installation électrique

- Collecte et traitement des informations représentatives du fonctionnement de l'installation
- Contrôle de la fiabilité du système de mesure et de supervision
- Définition et suivi d'indicateurs de disponibilité et de performance pour contrôler le fonctionnement de l'installation et détecter les causes d'éventuelles anomalies

EXEMPLES

Des zones de circulation adaptées non prévues pendant la phase de conception/réalisation peuvent entraîner une impossibilité d'accès sur le site afin d'y effectuer correctement la maintenance.

→ **Impact sur le coût de construction – Modification des implantations**

Un défaut de gestion des stocks et une fréquence non adaptée du Gros Entretien et Renouvellement peut entraîner une longue indisponibilité due au délai d'approvisionnement d'un nouvel appareil compatible, en cas de remplacement d'équipements stratégiques tombés en panne.

→ **Impact sur le coût d'exploitation – Pertes d'exploitation dues à l'indisponibilité et coût éventuellement plus élevé du matériel de remplacement**

Faisabilité
Etudes et
conception

Fourniture
de matériel

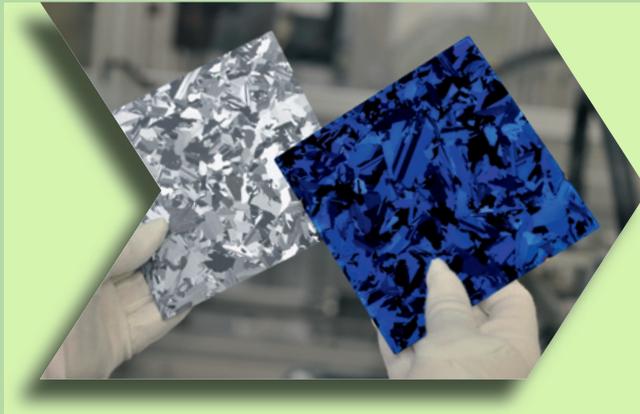
Installation
Mise en
service

Exploitation

Maintenance

Recyclage

Recyclage



« Pour une démarche
développement durable
responsable »

Bonnes pratiques

Génie Civil

- Maîtrise des méthodes de construction et de démantèlement des fondations ou des bâtiments
- Maîtrise des moyens de traitement des déchets et de recyclage
- Utilisation de composants dont les informations environnementales sont connues

Structure et montage

- Maîtrise des méthodes de construction et de démantèlement des structures
- Maîtrise des moyens de traitement des déchets et de recyclage
- Utilisation de composants dont les informations environnementales sont connues

Installation électrique

- Maîtrise des méthodes de démantèlement de l'installation électrique
- Utilisation de composants dont les informations environnementales sont connues :
 - impact environnemental pendant le cycle de vie
 - taux de recyclabilité

EXEMPLES

Lors du démantèlement d'une centrale solaire, ne pas ouvrir les tranchées pour retirer les câbles peut entraîner une contamination du sol due à la forte quantité de cuivre contenu dans ces câbles.
→ **Impacts sur le coût de démantèlement – Traitement des sols**

4

Compétences

L'expertise à votre service

Devenir producteur d'électricité n'est pas anodin. Car le marché de l'électricité comporte de multiples acteurs qui interagissent entre eux pour tisser une toile complexe faite de contrats de fourniture/achat d'électricité, de flux physiques et de flux d'information.

Les entreprises du Gimélec tiennent depuis de nombreuses années un rôle crucial dans le raccordement des installations au réseau. Elles sont agréées pour la réalisation des raccordements et qualifiées du fait de leur parfaite connaissance de tous les acteurs. En confiant leur ouvrage aux entreprises du Gimélec, les investisseurs et les exploitants bénéficient automatiquement de cette expérience.

Dans les pages suivantes, vous découvrirez comment mettre en œuvre les indices de performance nécessaires à une bonne gestion de votre centrale. Et pour clore ce guide, nous vous donnerons un aperçu des profondes mutations que va connaître le réseau électrique dans les prochaines années.

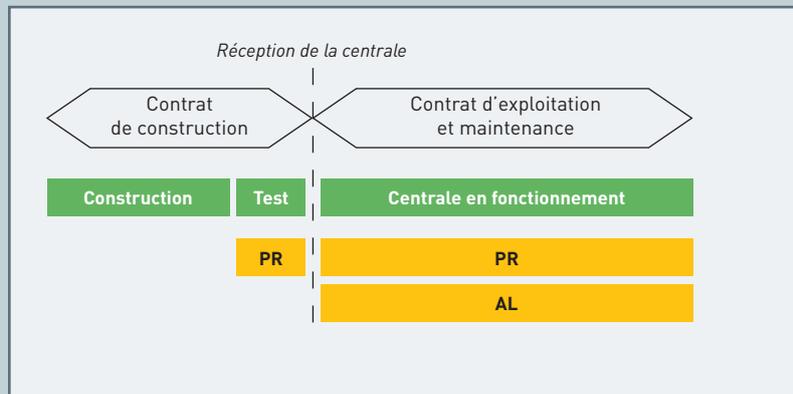


4.1 Mettre en œuvre les indicateurs de performance d'une centrale photovoltaïque

Le Performance Ratio (PR), rendement qui reflète l'efficacité de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique, est utilisé à la réception de la centrale et pendant l'exploitation (voir schéma ci-contre).

La Disponibilité (AL) mesure quant à elle la capacité de la centrale à fonctionner sans défaut tout au long de la phase d'exploitation.

La mise en œuvre de ces deux indicateurs nécessite d'une part de bien savoir de quoi on parle, d'autre part d'être certain de mesurer efficacement.



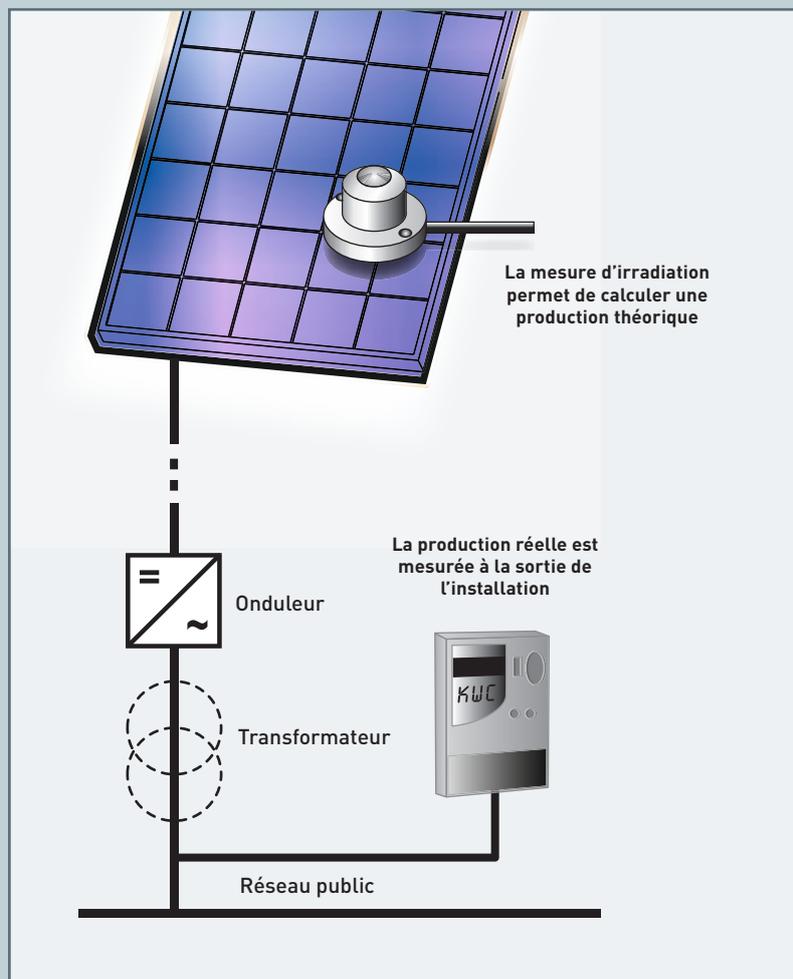
Le Performance Ratio (PR)

Le Performance Ratio s'obtient en effectuant le rapport entre la production réelle et la production théorique, pendant une période de référence. La différence entre les productions théorique et réelle provient des pertes engendrées par les différents équipements de l'installation.

$$PR = \frac{\text{production réelle (kWh)}}{\text{production théorique (kWh)}}$$

Les pertes constatées sont causées par :

- Les effets optiques (angle et amplitude)
- Les ombrages
- Les salissures
- L'effet de la température sur le rendement des modules photovoltaïques
- L'effet du mismatch (dispersion des caractéristiques de modules)
- La qualité des modules (écart entre la puissance nominale et la puissance réelle)
- Les pertes ohmiques dans les câbles
- Le rendement des onduleurs
- Le rendement des transformateurs
- La consommation des auxiliaires (y compris le contrôle des trackers)



Comment mesurer et utiliser le PR ?

- **Définir la période de référence**
- **Corriger l'effet de l'imprécision des capteurs**
Le PR mesuré est affecté par l'imprécision des capteurs. Il est recommandé de calculer la plage d'incertitude de la mesure.
- **Tenir compte de l'indisponibilité**
Lorsque la centrale est indisponible, partiellement ou en totalité (indisponibilité du réseau public, maintenance des équipements, événements climatiques...), les mesures faites durant ces plages sont exclues ou la puissance crête est ajustée à la part pleinement disponible de la centrale.
Une autre méthode consiste à corriger le PR mesuré en le divisant par la disponibilité mesurée.
- **Utiliser un ou plusieurs capteurs d'irradiation**
En général, on en utilise 3 afin de vérifier et valider les mesures.
- **Choisir une fréquence de mesure suffisante pour tenir compte de la variabilité de l'insolation**
Il est recommandé de faire les mesures toutes les 15 secondes au moins (i).
- **Utiliser la formule de calcul de production théorique suivante :**

$$P_{th} = \frac{\sum_i l_i \times dt \times W_p}{I_o}$$

- l_i = irradiation mesurée (W/m²)
- dt = intervalle de mesure en heures
- W_p = puissance crête de la centrale
- I_o = irradiation de référence
(pour le test des modules : 1000 W/m²)

- **Le PR varie au cours du cycle de vie de la centrale**

Un PR théorique est calculé lors de la conception de la centrale.

Il peut servir de base à la définition du niveau de PR contractuel à la livraison

S'il est nécessaire de définir des niveaux PR garantis pendant l'exploitation, ils seront décroissants en fonction du temps pour tenir compte notamment du vieillissement des panneaux.

- **N.B. : impact du choix du capteur**

Le choix du capteur d'irradiation influe sur la valeur des PR mesurés.

Les PR mesurés à l'aide d'un pyranomètre tiennent compte de toutes les pertes.

Les PR mesurés par une cellule de référence ne tiennent pas compte de certaines pertes comme les effets optiques et l'effet de la température.



La Disponibilité (AL)

La Disponibilité (AL) est le ratio entre la production réelle et la production attendue. La production attendue est la production réelle augmentée de la production perdue. Ces productions sont mesurées à l'aide du compteur de la centrale.

$$AL = \frac{\text{production réelle (kWh)}}{\text{production attendue (kWh)}}$$

$$AL = \frac{\text{production réelle (kWh)}}{\text{prod. réelle + prod. perdue (kWh)}}$$

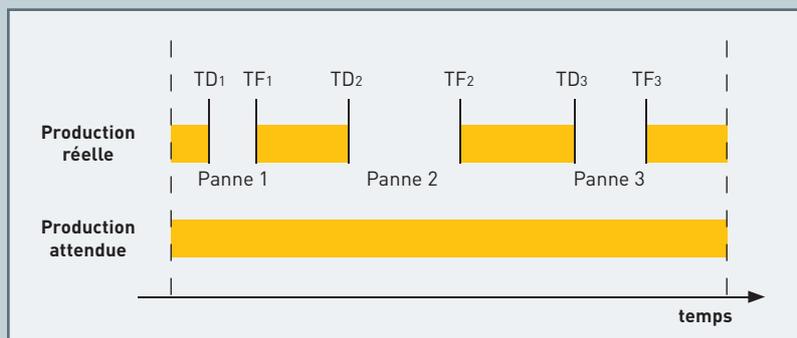
La production perdue est la somme des productions perdues à chaque interruption. Une panne a une date de début (TD_k), une date de fin (TF_k) et une puissance crête perdue (W_k).

La production perdue durant un intervalle k pour cause de panne est calculée avec la formule suivante :

$$\text{production perdue} = \frac{\text{production réelle}}{\frac{W_p}{W_k} - 1}$$

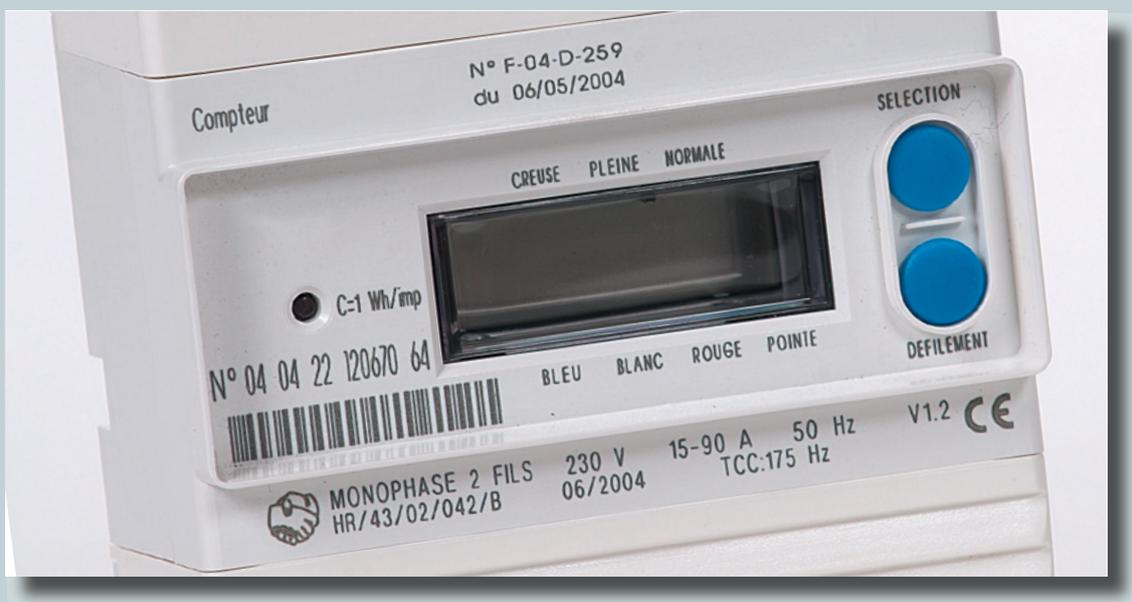
W_p = puissance crête de la centrale

W_k = puissance crête perdue



Exemple : l'arrêt d'un onduleur de 1 MW (W_k) sur une installation de 4 MWc (W_p) génère une perte de production sur l'intervalle k de :

$$\text{production perdue} = \frac{\text{production réelle}}{3}$$



Comment mesurer et utiliser la Disponibilité ?

- Définir la période de référence
- Corriger l'effet de l'imprécision des capteurs
L'AL mesuré est affecté par l'imprécision des capteurs. Il est recommandé de calculer la plage d'incertitude de la mesure.
- Lorsqu'il est nécessaire de garantir un niveau de disponibilité certaines causes de panne ou d'arrêt de la centrale sont exclues, telles que :
 - Force majeure (accident, vandalisme, tempête, ...)
 - Restriction du transport empêchant le processus de maintenance
 - Indisponibilité des communications empêchant l'utilisation du système de monitoring



Autres méthodes de calcul de la Disponibilité

La Disponibilité peut aussi être calculée à l'aide du rapport entre la production théorique perdue et la production théorique.

Ces productions sont obtenues à partir des mesures d'irradiation.

$$AL = 1 - \frac{\text{production théorique perdue (kWh)}}{\text{production théorique (kWh)}}$$

La production théorique perdue est la somme des productions théoriques perdues à chaque panne. Une panne a une date de début (TD_k), une date de fin (TF_k) et une puissance crête perdue (W_k). La production perdue suite à une interruption est calculée avec la formule suivante :

Production théorique perdue =

$$\frac{\sum_{TD_k}^{TF_k} l_i \times dt \times W_k}{l_0}$$

- l_i = irradiation mesurée (W/m²)
- dt = intervalle de mesure en heures
- W_k = puissance crête perdue
- l₀ = irradiation de référence (pour le test des modules : 1000 W/m²)

On peut enfin calculer la production perdue en utilisant un PR référence de la façon suivante :

Production théorique perdue =

$$\frac{\sum_{TD_k}^{TF_k} l_i \times dt \times W_p}{l_0} \times PR_r$$

- l_i = irradiation mesurée (W/m²)
- dt = intervalle de mesure en heures
- W_p = puissance crête de la centrale
- l₀ = irradiation de référence (pour le test des modules : 1000 W/m²)
- PR_r = PR mesuré durant la semaine d'occurrence de la panne

4.2 Un raccordement réussi, un avenir maîtrisé

L'objet de cette partie est de donner un aperçu du réseau électrique auquel une centrale photovoltaïque vient se raccorder. Outre une description des acteurs et de l'architecture d'un réseau moderne de transport et de distribution de l'énergie, le lecteur découvrira les futurs acteurs majeurs

du réseau électrique intelligent (Smart Grid) : les Centrales Virtuelles Techniques et les Centrales Virtuelles Commerciales. Maîtrisant parfaitement ce réseau et son évolution à long terme, les entreprises du Gimélec feront en sorte que votre intégration soit totalement réussie.

Les acteurs et leurs interactions

1 Les producteurs d'énergie renouvelable

Centrales Solaires

Traitées dans ce document à travers les centrales photovoltaïques et thermiques raccordées sur le réseau HTA et HTB (solaire résidentiel exclu)

Fermes éoliennes

Non traitées dans ce document

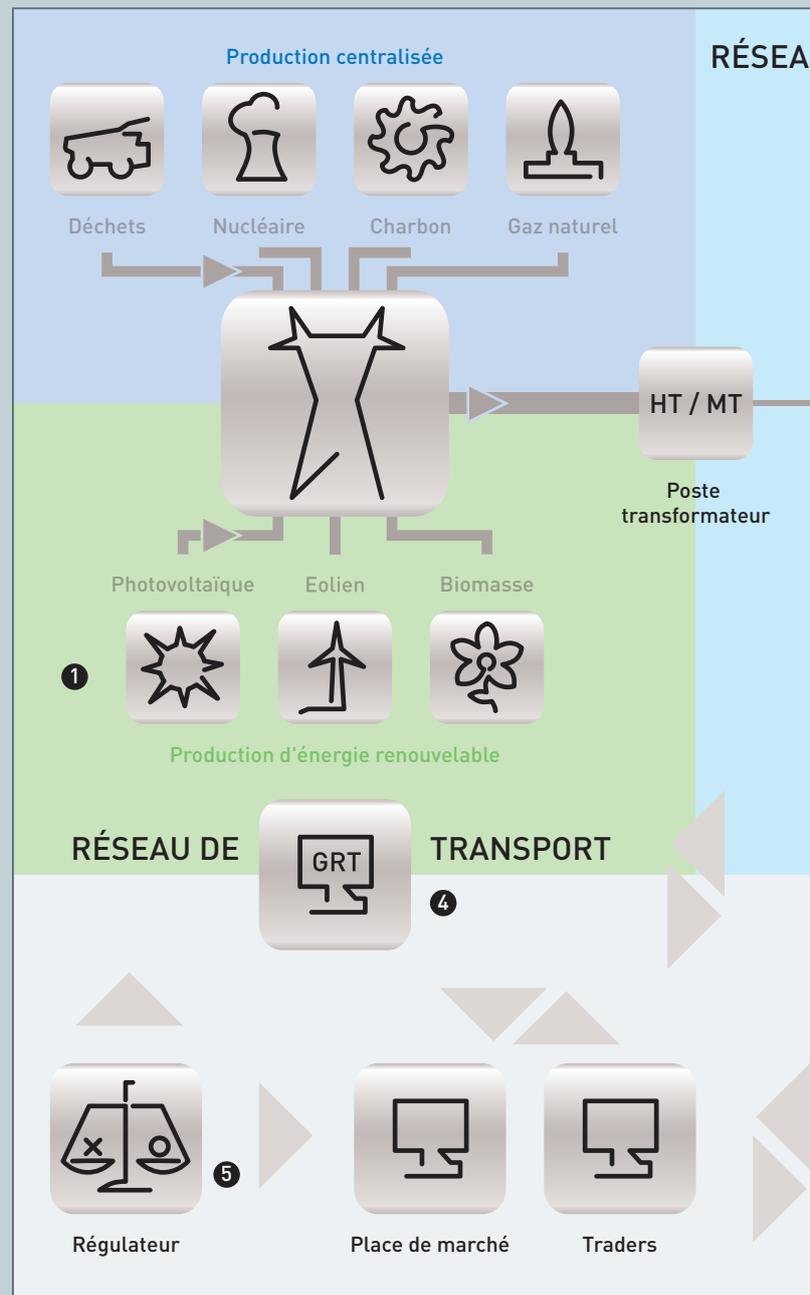
2 Les fournisseurs d'électricité

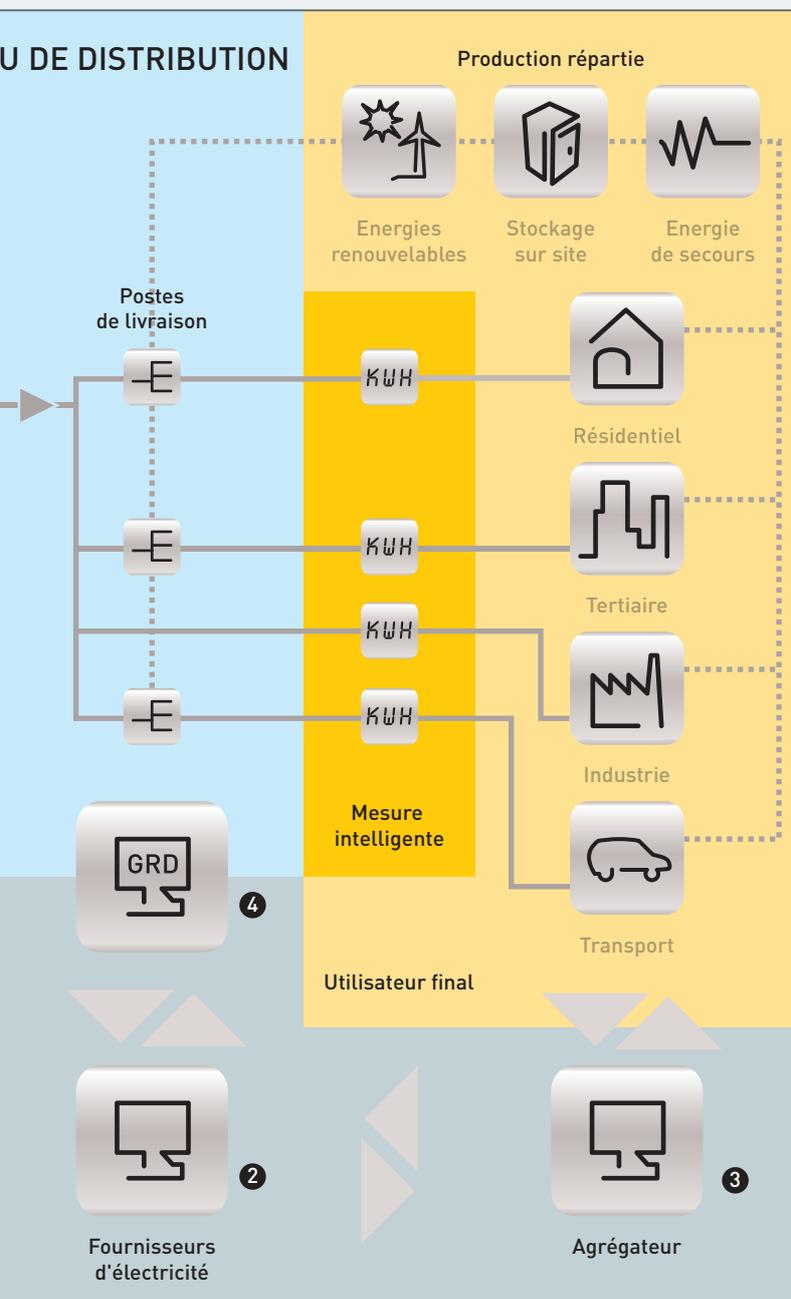
Entités qui vendent l'électricité au client final.

3 Les agrégateurs

Entités qui récoltent et dispatchent les sources d'énergie distribuées.

- En charge de planifier, prévoir, justifier, facturer
- Cherchent à rassembler clients et producteurs afin qu'ils puissent acheter ou vendre de l'énergie en gros en se rémunérant sur les transactions





4 Les gestionnaires de réseau...

... de transport

- Entretiennent le réseau, renforcent sa robustesse et le développent en fonction de la demande
- Assurent à tout instant l'équilibre des flux d'électricité sur le réseau, ainsi que la sécurité, la sûreté et l'efficacité de ce réseau

... de distribution

- Responsables de la gestion, du développement et de l'exploitation du réseau public de distribution de l'électricité en toute sécurité
- En charge du raccordement de l'accès réseau
- Garants de la qualité de la fourniture

5 La Commission de Régulation de l'Énergie

C'est le régulateur du marché français de l'énergie.

- Créée en 2000, la CRE concourt au bénéfice des consommateurs finaux et au bon fonctionnement des marchés de l'électricité et du gaz naturel
- Elle est garante du droit d'accès aux réseaux publics d'électricité et aux réseaux d'installation de gaz naturel
- Elle veille au bon fonctionnement et au développement des réseaux et infrastructures d'électricité et de gaz naturel liquéfié
- Elle est garante de l'indépendance des gestionnaires de réseau

Un réseau en pleine évolution

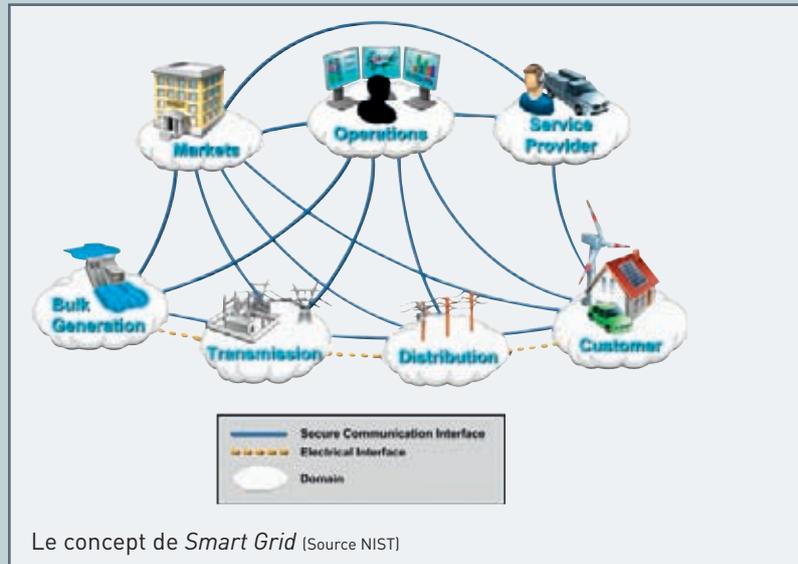
Confronté au développement de nouvelles façons de produire de l'énergie, le réseau électrique vit actuellement le début d'une profonde mutation.

Dans les trente prochaines années, le nombre de centrales de production de grande dimension va diminuer pour faire place à un véritable maillage de centrales de plus petite taille disséminées sur le territoire.

La production solaire s'inscrit naturellement dans cette production décentralisée de demain, ce qui va encore contribuer à augmenter la part d'énergie solaire dans le mix énergétique.

L'architecture physique et les modes de gestion du réseau électrique vont devoir prendre en compte cette multiplication de nouvelles sources décentralisées telles que les centrales photovoltaïques. Le schéma ci-contre illustre parfaitement cette tendance.

Parallèlement à l'architecture physique de transmission, un réseau de communication assure d'ores et déjà la circulation des informations nécessaires à la gestion du réseau. Cependant,



Le concept de *Smart Grid* (Source NIST)

ce réseau de communication doit être considérablement renforcé pour permettre l'intégration de la production décentralisée.

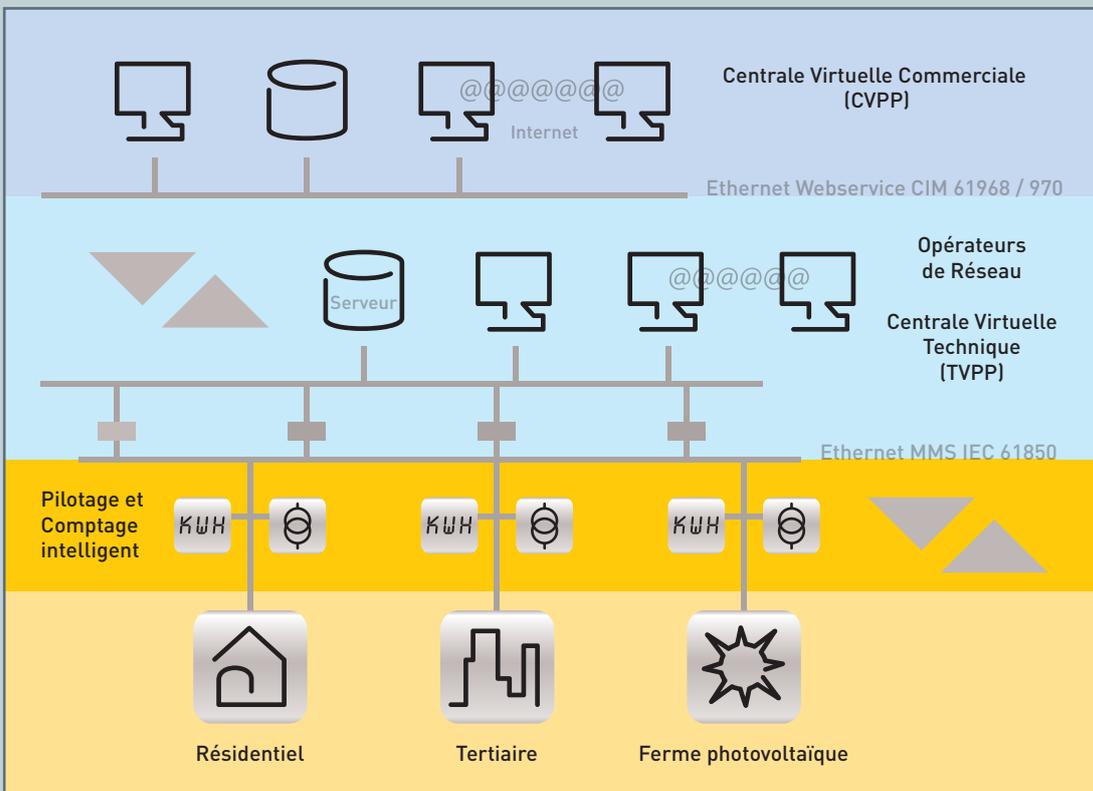


Schéma 1 : L'architecture de contrôle

Deux nouveaux types d'acteurs vont prendre une place prépondérante dans l'architecture de contrôle :

- **Les Centrales Virtuelles Commerciales (CVPP)**, qui assurent l'accès au marché d'une agrégation de centrales de production décentralisée ;
- **Les Centrales Virtuelles Techniques (TVPP)**, qui assurent la stabilité du réseau en prenant en compte le comportement technique de l'ensemble des ressources de la centrale virtuelle et les informations fournies par les Centrales Virtuelles Commerciales (planning de production).

En capitalisant sur le déploiement et la pénétration des réseaux IP aux plus bas niveaux des procédés et des infrastructures, la communication va s'établir comme illustré sur le schéma 1.

Elle s'appuiera sur les standards de l'IEC :

- IEC61850 pour l'échange d'informations techniques en temps réel,
- CIMxml Service Web pour l'échange d'informations techniques pour la gestion de services auxiliaires.

Cette communication permettra le pilotage des différentes sources de production, ainsi que des moyens de transmission. Différents outils de gestion, de supervision ou encore de contrôle vont alors apparaître sur le réseau.

Le schéma 2 préfigure les différents outils de supervision pour l'opérateur de réseau. D'autres outils, répondant aux besoins des centrales virtuelles commerciales, sont présentés sur le schéma 3.

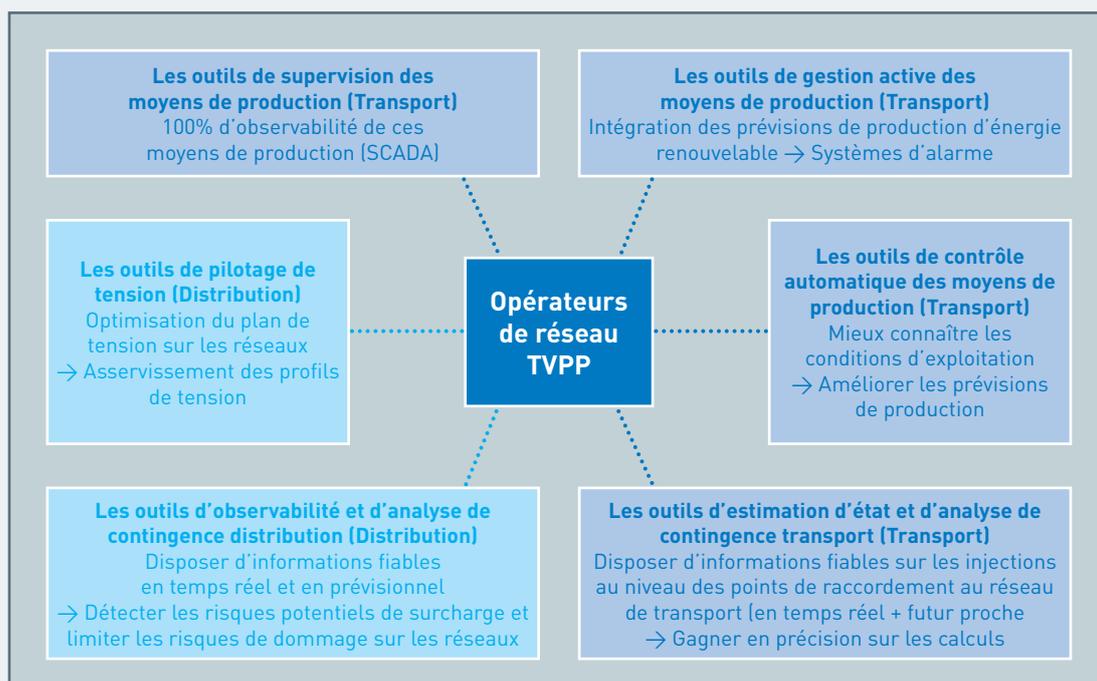


Schéma 2 : Les outils des opérateurs de réseau

Conformément aux recommandations technologiques des gestionnaires d'énergie, ces systèmes de pilotage doivent être basés sur des plates-formes logicielles ouvertes, pouvant s'interfacer tant avec des applications d'automatisme et de contrôle qu'avec des applications transactionnelles liées

aux contrats. Ces architectures doivent permettre une intégration à moindre coût d'applications issues d'acteurs complémentaires au fur et à mesure que de nouvelles fonctionnalités et services apparaîtront dans le cadre du développement des réseaux intelligents.

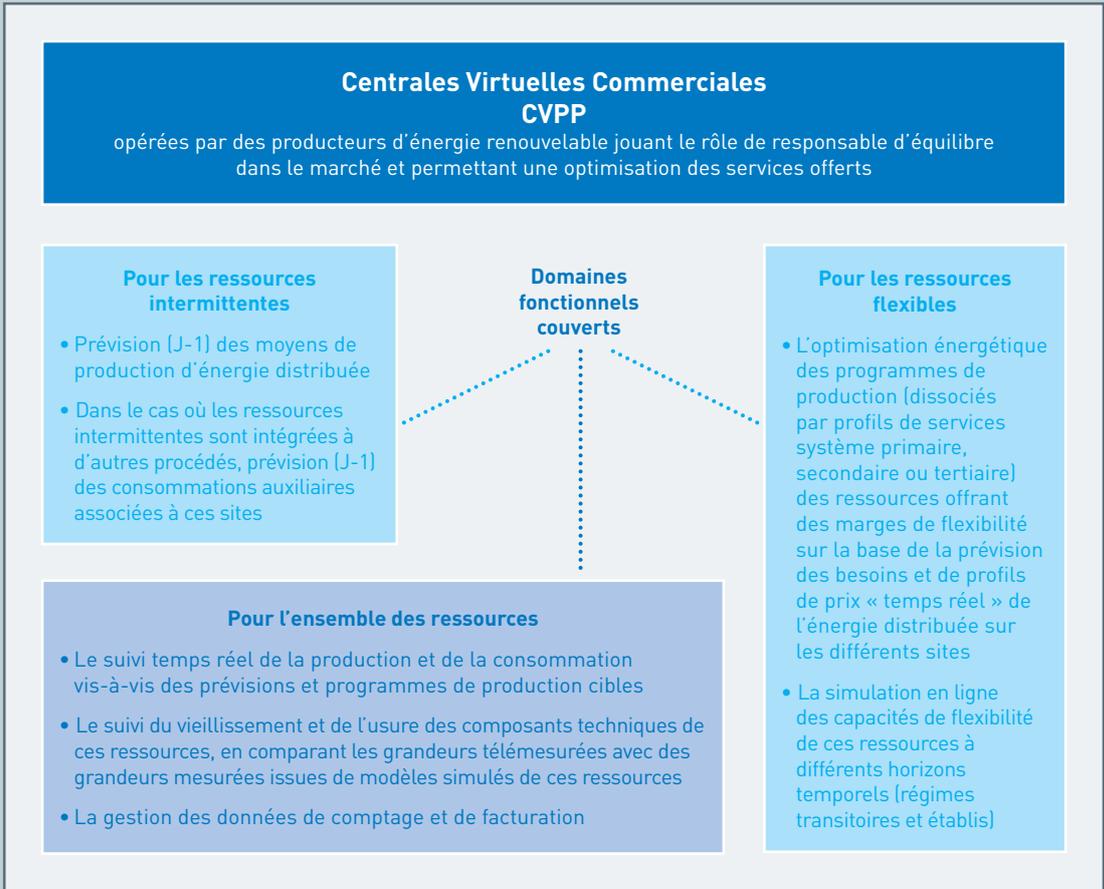


Schéma 3 : Les outils des centrales virtuelles

-oOo-

GLOSSAIRE

AC : Courant alternatif

AL : Disponibilité, indicateur permettant de mesurer la capacité de la centrale à fonctionner sans défaut

CENTRALE PV : Installation photovoltaïque à partir de 250 kWc

CRE : Commission de Régulation de l'Energie

CVPP : Commercial Virtual Power Plant
– Centrale virtuelle commerciale

DC : Courant continu

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DSO : Distribution System Operator
– Opérateur de réseau de distribution

DTU : Document Technique Unifié

GER : Gros Entretien et Renouvellement

GRD : gestionnaire de réseau de distribution

GRT : gestionnaire de réseau de transport

HTB : Haute tension au dessus de 50 kV (réseau 400 kV, 225 kV, 90 kV, 63 kV)

HTA : Haute tension entre 1 kV et 50 kV (réseau 20 kV)

IEC / CEI : International Electrotechnical Commission - Commission Internationale Electrotechnique

MTBF : Mean Time Between Failure, c'est le temps moyen entre deux pannes et qui inclut le temps passé à réparer

MEEDDM : Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer

POS : plan d'occupation des sols

PLU : plan local d'urbanisme

PPR : Plan de prévention des risques

PR : Performance Ratio, Ratio de Performance, c'est le rapport entre la production réelle et la production théorique

PV : Photovoltaïque

SMART GRID : Réseau électrique intelligent

TSO : Transmission System Operator
– Opérateur de réseau de transport

TVPP : Technical Virtual Power Plant
– Centrale virtuelle technique

UTE : Union Technique de l'Electricité

Wc : Watt crête, c'est la puissance nominale d'un dispositif photovoltaïque dans les conditions standards de fonctionnement, appelées STC pour « Standard Test Condition » (irradiance de 1000 W/m² et température de 25°)

CREDITS PHOTOS

Couverture : © SPIE

P. 3 : © Weidmuller

P. 4 : © Digital Vision, Fotolia, Phovoir, AREVA

P. 5 : © Phovoir

P. 7 : © SPIE, Schneider Electric

P. 8 : © Digital Vision, Elektra Vision

P. 10 : © Fotolia, Photowatt

P. 10 : © SPIE, Fotolia

P. 12 : © SPIE – photo X. Boymond, Photowatt

P. 13 : © Phovoir

P. 14 : © Phovoir, Fotolia

P. 17 : © SPIE, SMA, Schneider Electric

P. 18 : © Solaire direct, AREVA, SPIE, Phovoir

P. 19 : © Fotolia

P. 20 : © Photowatt

P. 21 : © SPIE

P. 22 : © Fotolia

P. 23 : © SPIE – photo X. Boymond

P. 24 : © Photowatt

P. 25 : © Fotolia, AREVA

P. 27 : © SPIE

P. 28 : © Landis+Gyr

P. 29 : © SPIE

P. 31 : © Solaire direct

**Les acteurs du Gimélec déclinent leur savoir-faire
au cœur des centrales photovoltaïques pour fournir un ensemble
complet de solutions et de services responsables.**

**Leurs engagements : Sécurité, Pérennité,
Environnement, Rentabilité.**

Ce document a été élaboré par le Gimélec,
avec le concours de la Plateforme Energies Renouvelables du Gimélec
et la collaboration du SER, Syndicat des Energies Renouvelables.

Ont contribué à sa réalisation :

ABB
ALSTOM POWER
AREVA T&D
FERRAZ SHAWMUT
GROUPE CAHORS
I.C.E.
INEO S.A.
MOTEURS LEROY-SOMER
SCHNEIDER ELECTRIC
SEIFEL
SIEMENS
SOCOMEK
SPIE
VINCI ENERGIES
WEIDMÜLLER FRANCE

Ce document est disponible également sur www.gimelec.fr