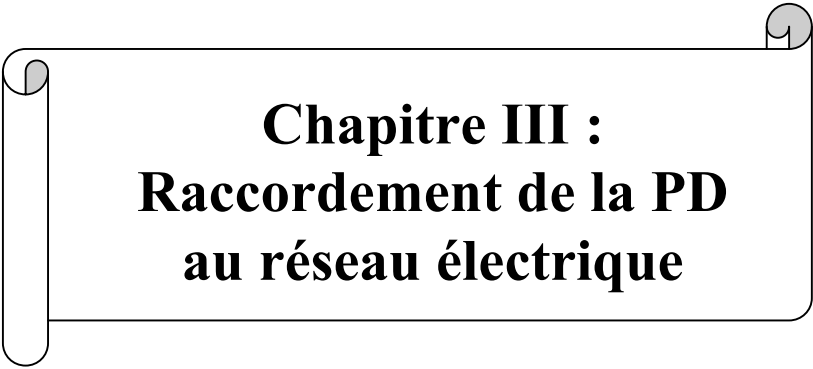


A decorative scroll graphic with a light gray background and a dark gray border. The scroll is unrolled in the center, with the title text inside. The left and right ends of the scroll are rolled up, showing a dark gray inner layer.

Chapitre III : Raccordement de la PD au réseau électrique

III.1. Introduction

L'évolution des technologies de production d'énergie a entraîné un changement significatif dans le paysage énergétique mondial, favorisant l'émergence de la production électrique décentralisée. Cette approche décentralisée vise à intégrer diverses sources d'énergie renouvelable et de cogénération dans le réseau électrique existant.

L'électricité aujourd'hui c'est la forme d'énergie la plus aisée à exploiter, mais avant de la consommer il faut la produire, en général dans des unités de production de grande puissance, la transporter, puis la distribuer au consommateur.

L'augmentation massive de la production et de la consommation d'énergie dans le monde au cours de ces dernières années a entraîné des déséquilibres économiques, des conflits et des atteintes à l'environnement, ces préoccupations imposent le développement et la maîtrise de système énergétique moins polluants, plus économiques et disponible tels que les systèmes de production de l'énergie électrique utilisant les énergies renouvelables, qui s'adaptent bien à une production décentralisée mais leur raccordement au réseau de distribution introduit des impacts notables.

Ce chapitre explore les différentes facettes du raccordement de la production électrique décentralisée au réseau électrique, mettant en lumière les conditions, les aspects réglementaires, organisationnels, techniques, les interactions avec le réseau et les normes en vigueur.

III.2. Qu'est-ce que la production décentralisée (PD) ?

La production décentralisée est la production d'énergie électrique à l'aide d'installations de petite capacité raccordées au réseau électrique à des niveaux de tension peu élevées : basse ou moyenne tension.

III.3. Le raccordement de la PD sur les réseaux de distribution

Le raccordement de la production électrique décentralisée dépend de divers facteurs tels que la capacité du réseau électrique, la stabilité du système, les contraintes de tension et de fréquence, et les politiques énergétiques en vigueur. Les conditions incluent également des considérations financières telles que les tarifs de raccordement et les incitations à l'intégration d'énergies renouvelables.

Le raccordement aux réseaux HTA d'unités de production décentralisées doit respecter certaines contraintes techniques et impose généralement des aménagements dans le réseau pour assurer un fonctionnement correct de ce dernier, en particulier dans les réseaux de

distribution qui n'ont pas été à l'origine conçus et développés pour accueillir des unités de production. Des précautions quant à l'insertion de PD sur les départs de réseaux de distribution sont ainsi à prévoir par des règles de raccordement afin de conserver le bon déroulement du fonctionnement du réseau. Ces règles sont des prescriptions techniques de conception et de fonctionnement : la protection, la puissance d'installation, la perturbation et la fréquence, tension...etc.

Ces règles, actuellement en vigueur, sont prévues pour garantir le bon fonctionnement du réseau de distribution tel qu'il est actuellement. Si les réseaux de distribution évoluent vers d'autres architectures et d'autres modes d'exploitation, ces règles sont susceptibles d'être modifiées.

Le concept actuel des réseaux de distribution n'étant pas adapté à la production décentralisée, l'augmentation, dans l'avenir, de ce type de production laisse penser que des modifications de l'architecture de la distribution pourraient être avantageuses dans la mesure où une structure plus adaptée pourrait permettre une meilleure exploitation de ces unités de production pour le fonctionnement du réseau :

- ✚ Une topologie comportant des boucles fermées.
- ✚ L'utilisation des PD en tant que secours ou soutien du poste source.

Ces mesures pourraient améliorer la fiabilité du réseau de distribution, mais il faut considérer les coûts de ces innovations et la rentabilité d'un tel système.

Le raccordement d'un utilisateur doit être étudié de façon à identifier une solution répondant strictement au besoin de raccordement du demandeur tout en garantissant que ce raccordement n'aura pas de conséquence sur le fonctionnement du réseau et sur la qualité de l'énergie fournie aux autres utilisateurs déjà raccordés.

L'instruction des demandes de raccordement suppose la collecte de différentes caractéristiques de l'installation permettant de conduire les études techniques de raccordement, ces fiches de collecte, et la procédure d'instruction des demandes de raccordement sont publiées.

La solution de raccordement s'inscrit dans la structure de réseau existante ou décidée pour la zone concernée et utilise les ouvrages de distribution existants ou à créer présentant la capacité d'accueil suffisante.

III.3.1. Étude de raccordement d'une installation

Les différentes étapes de l'étude de raccordement ont pour objet de concourir à la détermination des ouvrages à établir ou à modifier pour assurer une desserte dans des conditions techniques et économiques optimales, chacun des domaines d'interaction du site

avec le réseau ou les autres utilisateurs est exploré et le dimensionnement du raccordement projeté doit assurer le maintien du réseau existant et futur dans un domaine de fonctionnement acceptable.

Les vérifications à mener pour vérifier l'impact du raccordement et déterminer les solutions de raccordement de tous les utilisateurs producteur ou consommateur sont les suivantes:

- + Tenue thermique des éléments du réseau,
- + Vérification des conséquences sur les plans de tension des réseaux HTA et BT,

Pour les utilisateurs producteurs, les vérifications complémentaires suivantes sont à effectuer :

- + Vérification de la tenue de la tension au poste source,
- + Modification des comptages au poste source,
- + Vérification de la tenue des matériels aux courants de court-circuit,
- + Vérification du fonctionnement du plan de protection contre les défauts entre phases du réseau HTA et du poste de livraison,
- + Choix de la protection de découplage,
- + Évaluation de la nécessité d'installation d'un dispositif d'échange d'informations d'exploitation.

Certaines installations de consommation ou de production particulières peuvent nécessiter des études complémentaires compte tenu de leur impact possible sur la qualité, ces études ne sont pas systématiques et sont engagées selon la nature et les caractéristiques de l'installation (en soutirage ou en injection) envisagée et les caractéristiques du réseau d'accueil :

- + Évaluation des niveaux de courants harmoniques injectés,
- + Évaluation du niveau de variations rapides de tension,
- + Évaluation du déséquilibre des charges.

III.3.2. Aspects réglementaires et organisationnels du développement de la production électrique décentralisée

Le développement de la production électrique décentralisée est encadré par des réglementations spécifiques visant à garantir la sécurité, la fiabilité et la durabilité du système électrique. Cela implique des processus d'autorisation, de certification et de surveillance. Les aspects organisationnels comprennent la coordination entre les acteurs du secteur énergétique, la gestion des flux d'énergie et la planification du réseau.

Le raccordement de la production électrique décentralisée aux réseaux Haute Tension (HTA) implique l'intégration physique des installations de production au réseau existant. Cela nécessite une conception soignée des équipements de connexion, des dispositifs de protection et de contrôle, ainsi qu'une évaluation approfondie de l'impact sur la stabilité et la qualité de l'énergie du réseau.

III.4. Impact de la production décentralisée sur le réseau de distribution

Les interactions entre la production électrique décentralisée et le réseau électrique sont de plus en plus importantes à mesure que les technologies de production d'énergie renouvelable, telles que l'énergie solaire et éolienne, se développent.

Les études montrent qu'un taux de pénétration croissant de production décentralisée n'est pas sans impacts prévisibles sur l'exploitation future des réseaux de distribution, en particulier, le plan de tension peut être grandement modifié par la présence de PD, au point que la tension risque de dépasser la limite supérieure en certains nœuds du réseau alors qu'elle est maintenue à une valeur normale au poste source, le plan de protection risque également d'être affecté par un fort taux de pénétration des PD du fait de la puissance de court-circuit qu'elles apportent en aval des protections, et de l'inversion possible des flux de puissance active sur certaines lignes, ainsi que de la diminution du temps d'élimination critique de défauts.

Des PD peuvent donc pas garantir une puissance de sortie et proposer toute la puissance disponible sur le marché, d'autre part, ces nombreuses sources sont trop petites pour être observables et dispatchables par les gestionnaires de réseaux de distribution et ne participent donc pas, aujourd'hui, aux services système, cela peut poser des problèmes en cas de fort taux de pénétration si les moyens de réglage classiques de la distribution deviennent inaptes à assurer la tenue en tension. Cela peut contraindre par exemple les gestionnaires de réseaux à engager des investissements non prévus initialement.

Une partie de ces PD produisant par construction du courant continu (pile à combustible, panneau solaire) doit être raccordée au réseau par l'intermédiaire d'interfaces d'électronique de puissance, injectant ainsi des harmoniques nuisibles à la qualité de la tension délivrée.

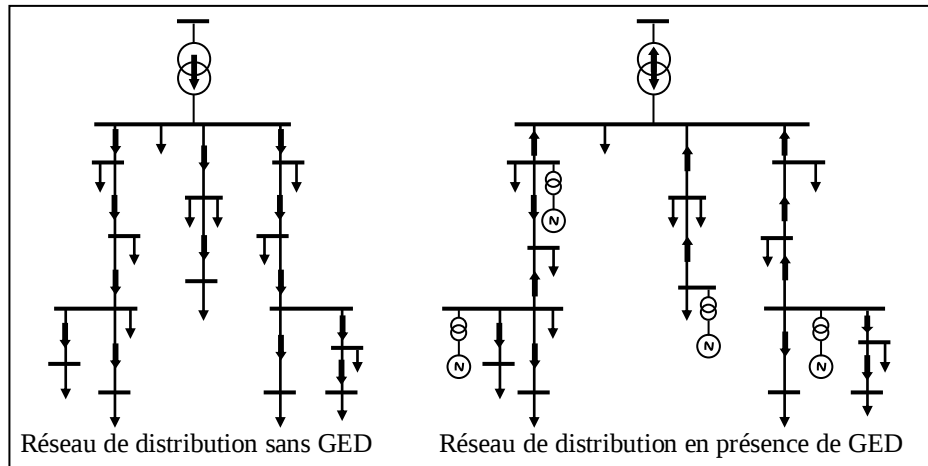


Figure III.1. Réseau de distribution sans et avec une présence de GED.

III.4.1. Impacts sur le sens de transit de puissance

Les réseaux sont dimensionnés pour recevoir les flux d'énergie du réseau de transport vers la distribution, l'insertion des PD dans les niveaux de tension autres que le réseau de transport peut créer une injection de puissance dans le sens contraire, c'est-à dire de la distribution vers le transport, les équipements, notamment les protections doivent alors être bidirectionnelles, ainsi, sachant que les réseaux aux niveaux de tension inférieure sont normalement surdimensionnés afin de faire face à l'accroissement de consommation, on n'aura peut-être pas, à court terme, de problèmes liés à des limites de la capacité de transfert d'énergie ; mais à plus long terme, lorsque le taux de pénétration de PD augmentera, la modification du sens de transit de puissance pourra éventuellement provoquer des congestions locales.

III.4.2. Impacts sur la stabilité du système

Les génératrices de productions décentralisées peuvent être de type synchrone ou asynchrone l'insertion de générateurs synchrones dans le réseau va changer le temps critique d'élimination de défaut (correspondant à la durée maximale d'une perturbation à laquelle le système peut résister sans perte de stabilité), ceci influencera directement la limite de la stabilité dynamique du système.

III.4.3. Impacts sur la qualité de service

Les PD de type asynchrone consomment de la puissance réactive afin de magnétiser leur circuit magnétique lors de la connexion au réseau elles appellent un courant fort, ce qui contribue au creux de tension. D'ailleurs, la présence d'interfaces d'électronique de puissance peut faire augmenter le taux des harmoniques qui nuisent gravement à la qualité de service fournie.

III.4.4. Impacts sur l'observabilité et de contrôlabilité du système

Les PD notamment celles à type énergie nouvelle et renouvelable sont caractérisées par l'intermittence des sources primaires, cela sera difficile pour l'opérateur d'estimer la puissance de sortie de ces producteurs donc la puissance fournie du système par conséquent.

III.4.5. Impacts sur la continuité de service

Pour la même raison concernant la caractéristique d'intermittence, l'indisponibilité des PD lors que le système les sollicite peut occasionner la rupture d'électricité par manque de puissance.

III.4.6. Impacts sur le plan de protection

Lorsqu'un défaut apparaît sur un départ HTA , le distributeur doit pour des raisons de sécurité éliminer ce défaut en ouvrant le disjoncteur du départ, assurant ainsi la mise hors tension du défaut, dans le cas de défauts fugitifs sur un réseau aérien une mise hors tension très courte (0.3s) est suffisante pour éliminer le défaut et permettre le succès d'un cycle de réenclenchement rapide, la présence d'une installation de production ne doit pas perturber le fonctionnement du plan de protection du distributeur en sensibilité et en sélectivité lors d'un défaut sur le départ auquel elle est raccordée, l'installation de production doit se découpler pour ne pas maintenir sous tension le défaut : c'est le rôle de la protection de découplage Cette protection "de découplage" devant supprimer la parallèle entre générateurs et réseau de distribution, lors d'un défaut ou d'une autre anomalie sur celui-ci. Le découplage doit répondre à des conditions strictes lorsqu'il est effectué des ré enclenchements automatiques rapides, ce qui est le cas le plus général des réseaux HTA aériens.

En résumé, les interactions entre la production électrique décentralisée et le réseau électrique présentent à la fois des défis et des opportunités pour la transition vers un système énergétique plus durable et résilient. Une gestion efficace de ces interactions est essentielle pour maximiser les avantages de l'énergie renouvelable décentralisée tout en assurant la stabilité et la fiabilité du réseau électrique.

III.5. Normes et textes réglementaires

Les installations et les matériels fournis seront conformes aux normes nationales et internationales, décrets, DTU, codes règlements, prescriptions administratives et règles département a les en vigueur à la date de passation des commandes, les installations seront

exécutées selon les règles de l'art, les prescriptions des documents ci-dessous sont appliquées et n'ont en aucun cas un caractère limitatif.

Principaux normes et règlements :

- + Norme NFC 13-100 : « Poste de livraison alimenté par un réseau de distribution publique HTA ».
- + Norme NFC 14-100 : « Installation de branchement à basse tension ».
- + Norme NFC 15-100 : « Règles d'installations électriques à basse tension ».
- + Guide UTEC 15-400 : « Raccordement des générateurs d'énergie électriques dans les installations alimentées par un réseau public de distribution ».

Les normes techniques et de sécurité jouent un rôle crucial pour garantir l'interopérabilité des équipements et la cohérence du système électrique dans son ensemble.

III.5.1. Récapitulatifs des normes ont respecté pour une installation solaire photovoltaïque

L'ensemble des matériels installés sera conforme aux normes et textes suivants :

- + CEI 62116 Procédure d'essai des mesures de prévention contre l'îlotage pour onduleurs photovoltaïques interconnectés au réseau public.
- + La norme NFC 15-100 réglementant les installations électriques à basse tension
- + La norme UTE C 57-300 sur les paramètres descriptifs d'un système photovoltaïque
- + La norme UTE C 57-310 sur la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique.
- + CEI 61727 concernant l'interface de raccordement réseau des systèmes photovoltaïques.
- + NFEN 61173 sur la protection contre les surtensions des systèmes photovoltaïques.
- + NFC 17- 100 protection contre la foudre.
- + NFC 17-102 protection contre la foudre- protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par para tonnerre a dispositif d'amorçage tension.
- + DIN VDE 0126 spécifications de fonctionnement de l'onduleur (ilottage, intervalles de tension et de fréquence, injection de courant continu) condition de coupure de l'onduleur.
- + CEI 61000-3-2 sur la compatibilité électromagnétique CEM et la limitation des courants harmonique.
- + Ces installations peuvent être aussi soumises à d'autres décrets et législation du pays ou du réseau publique.

III.5.2. Exemple sur La norme : UTEC 15-712

Cette norme a été amendée en août 2008 pour que les installations photovoltaïques fassent partie des installations électriques rentrant dans son champ d'application et précise que "Les installations photovoltaïques sont traitées dans le guide UTE C 15-712". Ce guide, dont la version initiale date de février 2008, a été rédigé par la Commission de l'Union Technique de l'Electricité (UTE) constituée d'experts en génie électrique. Depuis le 1^{er} janvier 2011, une nouvelle version de ce guide est entrée en vigueur : le guide UTE C15-712-1 datant de juillet 2010. Une nouvelle version de ce guide vient d'être publiée au 1^{er} juillet 2013.

Que traite cette norme?

Ce guide traite tous les composants des installations photovoltaïques : soit en courant continu, soit en courant alternatif et le raccordement au réseau. Il fournit les prescriptions suivantes :

- + La classe d'isolation du circuit à courant continu,
- + La mise à la terre des masses métalliques de modules photovoltaïques,
- + La mise à la terre fonctionnelle d'une des polarités du circuit à courant continu,
- + La présence de dispositif anti-foudre sur le circuit à courant continu et le circuit à courant Alternatif,
- + La nature et le dimensionnement des dispositifs de protection du circuit à courant continu,
- + Les caractéristiques des câbles à utiliser,
- + Les coefficients à prendre en compte pour les calculs réglementaires de la tenue en courant des câbles,
- + Les chutes de tension maximales admissibles et recommandées des circuits à courant continu et à courant alternatif,
- + La mise en place du dispositif de coupure d'urgence du circuit à courant continu situé à proximité des onduleurs,
- + La mise en place d'un dispositif différentiel.

III.5.3. Exemple d'installation normalisée

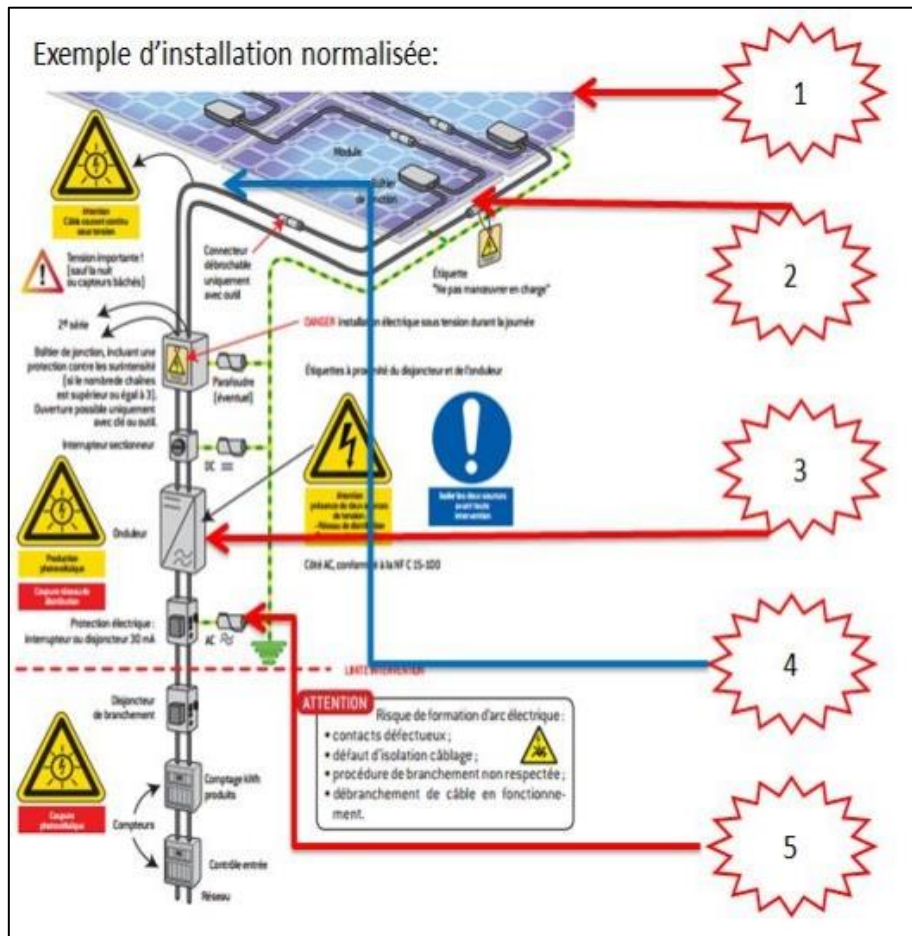


Figure III.2. Exemple d'installation normalisée

1. Module:

Les modules doivent être conformes aux normes de la série NFEN 61730,61215 (cristallin), 61646 (couches minces).

2. Câble et connecteur:

Choisir des câbles unipolaires double isolation, résistant aux UV et non propagateurs de flamme.

3. *L'onduleur:*

L'onduleur doit être conçu spécifiquement pour le raccordement au réseau, ils doivent être conformes aux normes:

- + CEI61727 pour l'interface réseau,
- + DIN VDE 012-1-1 pour la protection de découplage,
- + EN 55014 (comptabilité électromagnétique),
- + CEI 61000-3-2 (harmonique),
- + EN 60950 (sécurité).

4. Chemin des câble:

Le cheminement des câbles doit être conçu de manière a:

- ✚ Pouvoir séparer les câble AC et DC,
- ✚ Ne pas créer une boucle électromagnétique,
- ✚ Rendre accessible les boîte de jonction et les connecteurs.

5. Protection contre les chocs électriques par contact direct:**❖ Cotés DC:**

utiliser les composants de classe II ou équivalent sur tout le matériel utilisé (module PV, câbles, boîte de jonction..)

❖ Cotés AC:

Prévoir des disjoncteurs différentiels.

III.6. Conclusion

Le raccordement de la production électrique décentralisée au réseau électrique représente un défi multidimensionnel nécessitant une approche intégrée prenant en compte des considérations techniques, réglementaires, organisationnelles et normatives. Bien géré, ce processus peut contribuer à promouvoir la transition énergétique vers un système plus durable, résilient et diversifié.

Nous avons vu au cours de ce chapitre les différents impacts de la production décentralisée sur les réseaux électriques, les PD tant qu'elles restent des sources marginales, n'ont pas de grandes influences, ni sur le fonctionnement, ni sur la qualité de service du réseau. Si on prévoit une introduction massive des PD dans le réseau dans les années à venir, un des grands enjeux sera celui de la gestion des situations critiques.

La production décentralisée s'insère bien dans le système électrique mais il convient de respecter quelques précautions :

- ✚ De bons échanges d'information avec le réseau de transport pour permettre l'ajustement de la production et de la consommation d'électricité,
- ✚ Coordonner le plus en amont possible le développement de la production d'électricité avec celui du réseau.

