



Note Technique

Aspects de sécurité électrique relatifs aux kits photovoltaïques en autoconsommation

CONTEXTE

Les kits photovoltaïques à installer soi-même permettent à ceux qui le souhaitent de devenir autoconsommateurs de manière abordable et démocratise ainsi l'accès à l'énergie photovoltaïque. Leur objectif n'est donc pas de maximiser la puissance installée mais plutôt de couvrir une partie de la base de la consommation d'un foyer avec une énergie renouvelable et locale.

Ces kits photovoltaïques, par leurs puissances modestes, ont vocation à compléter la gamme des installations solaires et peuvent constituer un premier pas vers des installations solaires en toitures de puissances plus importantes typiquement de 3 à 9 kWc.

La commercialisation de kits photovoltaïques d'autoconsommation se développe rapidement en France et encore davantage à l'étranger. La plupart de ces kits est constitué de quelques panneaux solaires connectés sur micro-onduleur avec raccordement sur une prise de courant standard.

En France, en 2023, en l'absence de normes sur les kits PV plug&play, les syndicats professionnels SER et Enerplan, ont publié, avec l'aide de l'Ademe, un guide relatif à la conception et à la mise en œuvre de ces kits pour garantir la sécurité des personnes et des biens.

<https://librairie.ademe.fr/energies/6258-guide-kit-photovoltaïque-autoconsommation-plug-play.html>

En août 2024, la sortie de la nouvelle norme C15 100 sur les installations électriques, applicables au 1^{er} septembre 2025, indique au § 551.7.2 que « un générateur d'énergie électrique ne doit pas être connecté à un circuit terminal par le moyen d'un socle de prise ou d'une fiche ».

Cette disposition est discutée au sein de la profession qui considère qu'elle n'est pas applicable aux kits photovoltaïques plug&play car ceux-ci ne sont pas des installations fixes.

En attendant une réponse claire sur ce point, Solarcoop a rédigé cette note qui a pour objet d'identifier les caractéristiques et les conditions de mise en œuvre de ces kits pour assurer la protection des personnes et des biens.

DEFINITION D'UN KIT PHOTOVOLTAÏQUE EN AUTOCONSOMMATION

Un kit photovoltaïque en autoconsommation est un ensemble de composants électriques composé d'un ou plusieurs panneaux solaires, un ou plusieurs micro-onduleurs et éventuellement un boîtier de mesure électrique, pouvant se brancher directement dans un socle de prise domestique 230V afin d'injecter l'électricité solaire produite dans le circuit électrique interne du bâtiment.

Un kit bien conçu est caractérisé par les points techniques suivants :

- Les composants du kit (modules, micro-onduleur et dispositifs de protection) répondent aux exigences des normes :

Pour les modules : NF EN 61215 et NF EN 61730-1et 2

Pour le micro-onduleur : EN50549 – 1 et 10, NF EN 62109 et EN61000-6

Pour le coffret AC: NF EN 61439 ; NF EN 60947-1et 2

- Le raccordement sur le réseau électrique du bâtiment se fait sans modification de l'installation électrique existante
- La partie DC située en amont du ou des micro-onduleur(s) est en **TBTS** (en général à des tensions inférieures à 60 V)
- Le micro-onduleur est conçu pour fonctionner uniquement en **générateur de courant** et dispose d'une protection de découplage intégrée (type EN 50549) reconnue par le gestionnaire de réseau. Dans ce cas, il ne peut pas fonctionner en mode ilotage.
- Le kit est dimensionné à une puissance d'injection limitée, afin de satisfaire une **autoconsommation maximale** de la production.
- Le kit photovoltaïque est fourni avec un ensemble de composants répondant chacun à une norme produit

Détermination de la puissance maximale produite par le kit photovoltaïque :

- Le courant issu d'une production photovoltaïque n'est pas constant et est fonction de l'ensoleillement. Au niveau des modules photovoltaïques, par convention, la puissance crête est une puissance théorique définie par un test en laboratoire sous des conditions idéales (1000W/m²; AM1,5; Tj=25°C).

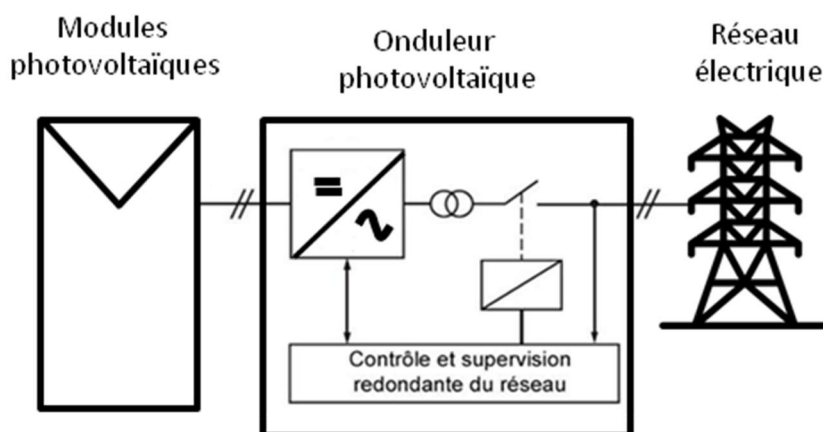
- En pratique, l'orientation et l'inclinaison du/des modules par rapport à la course du soleil lors de la journée, la température des panneaux, et l'irradiation solaire sont autant de facteurs qui impactent le courant injecté à la baisse par rapport à la définition de la puissance crête nominale. En pratique, la puissance maximale injectée en sortie d'onduleur est de l'ordre de 80% à 90% de la puissance crête des panneaux.
- Ainsi la puissance maximale des onduleurs choisie est généralement inférieure ou égale à la puissance-crête des panneaux solaires.
- En pratique, la puissance maximale d'injection à prendre en compte est la plus faible valeur de la somme des puissances crêtes des panneaux solaires et de la somme des puissances des micro-onduleurs.

ANALYSE DES RISQUES ELECTRIQUES

Protection de découplage :

Comme indiqué dans la norme NFC 15-400, le raccordement d'un générateur d'énergie électrique ou d'un appareil pouvant se comporter comme tel, dans une installation électrique alimentée par un réseau public de distribution nécessite la mise en œuvre d'une protection de découplage.

La protection de découplage est un dispositif de déconnexion automatique installé comme interface entre un générateur et le réseau public de distribution.



Pour un générateur photovoltaïque, ce dispositif est généralement intégré dans l'onduleur photovoltaïque et déconnecte automatiquement le générateur photovoltaïque du circuit AC :

- Si la tension du réseau est hors tolérance
- Si la fréquence du réseau est hors tolérance
- En cas de risque d'ilotage (alimentation inopinée du générateur PV dans un sous réseau séparé)

Par conception, un onduleur photovoltaïque est un convertisseur qui convertit une tension continue en tension alternative avec une protection de découplage intégrée. Cela signifie qu'une coupure électromécanique est présente entre le convertisseur et la sortie alternative.

A la différence des onduleurs autonomes qui délivrent une tension alternative à partir d'une batterie d'accumulateurs, l'onduleur photovoltaïque fonctionne uniquement en générateur de courant. Il est topologiquement nécessaire de fournir une tension AC de référence externe à l'onduleur pour que celui-ci puisse injecter un courant. Dès que la tension AC disparaît ou se trouve hors tolérance en tension ou fréquence, le relais de découplage s'ouvre et aucune tension n'apparaît en sortie d'onduleur.

Enedis, en tant que gestionnaire du réseau public de distribution, accepte les dispositifs de protection de découplage qui satisfont à la norme EN 50549. Un certificat de conformité est exigé lors de la déclaration de votre kit photovoltaïque d'autoconsommation auprès d'Enedis.

Protection contre les contacts directs

En courant continu (DC) :

Les kits photovoltaïques sont équipés de micro-onduleurs alimentés par les panneaux photovoltaïques dont la tension maximale DC est **inférieure à 60V**.

De plus, côté DC les modules photovoltaïques et câbles sont de classe II et équipés de connecteurs IP2X ne permettant pas de contacts directs.

En conséquence, il n'y a pas de risque d'électrisation par contact direct sur la partie DC.

En courant alternatif :

En fonctionnement, les kits photovoltaïques peuvent être raccordés au réseau en sortie de micro-onduleur via un câble type H07RNF de 3 conducteurs, équipé d'une fiche standard elle-même connectée à une prise de courant.

Aucun contact direct n'est possible sur le circuit alternatif, lorsque le kit est branché sur une prise de courant standard.

Dans le cas de micro-onduleur ayant une protection de découplage intégrée répondant à la norme EN 50549, comme vu précédemment, une fiche mâle avec conducteurs non protégés en sortie du micro-onduleur ne présente pas de risque électrique pour les personnes en cas de contact direct, y compris lorsque les modules sont ensoleillés.

De même, le fait de couper l'alimentation électrique de l'habitation, entraînera un arrêt de fonctionnement du micro-onduleur et qui redémarrera automatiquement au retour de la tension du réseau

Protection contre les contacts indirects

En courant continu (DC) :

La tension maximale courant continu en amont du micro-onduleur étant inférieure à 120 V, le circuit courant continu relève du domaine de la **TBTS** dans la mesure où le micro-onduleur dispose d'une séparation galvanique entre l'entrée DC et la sortie AC.

En conséquence, la protection contre les contacts indirects est assurée.

En courant alternatif :

Lorsque le kit photovoltaïque est raccordé au réseau électrique interne de l'habitation via une prise de courant, il se comporte, sur le plan de la protection contre les contacts indirects, comme un récepteur électrique.

Dans le cas où le micro-onduleur est de classe I, la protection contre les contacts indirects est assurée par le dispositif différentiel au niveau du tableau électrique.

Le branchement du kit photovoltaïque, de puissance limitée, peut donc s'effectuer sur une prise domestique standard dans la mesure où **le circuit correspondant est protégé par un dispositif différentiel 30mA** tel que défini par la norme NFC 15-100.

Risque de surcharge

Cas de surcharge des conducteurs :

L'injection de courant par une prise de courant, en aval des protections thermiques du tableau électrique n'engendre pas de risque de surcharge des conducteurs tant que la somme du courant solaire injecté (I_g) et de la valeur du courant assigné du dispositif de protection (I_n) est inférieure au courant maximal admissible des conducteurs électriques (I_z) alimentant le circuit des prises de courant.

Il est donc nécessaire de pouvoir garantir que l'équation suivante est toujours respectée :

$$I_z \geq I_n + I_g \quad (1)$$

La norme NFC-15100 définit le courant I_z pour les différents types de circuits possibles selon les conditions de pose.

Dans les installations résidentielles, on retiendra :

- $I_z = 17,5$ A pour un circuit de prises câblées en $1,5 \text{ mm}^2$
- $I_z = 24$ A pour un circuit de prises câblées en $2,5 \text{ mm}^2$

Par ailleurs, la NFC 15-100, précise la valeur du calibre des disjoncteurs de protection selon la section des conducteurs des circuits à protéger.

Section des conducteurs	Courant assigné maximal du disjoncteur
-------------------------	--

1,5 mm ²	16 A
2,5 mm ²	20 A

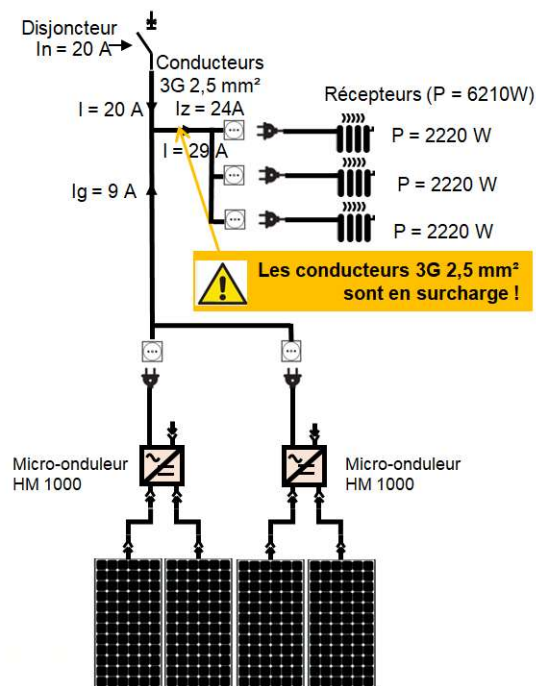
Ainsi d'après l'inégalité (1) : $I_g \leq I_z - I_n$, on en déduit les valeurs de puissance maximales des générateurs qu'il est possible de raccorder selon la section des conducteurs et du calibre des disjoncteurs de protection situés à l'origine du circuit.

Section des conducteurs	Courant max admissible (I_z)	Calibre du disjoncteur (I_n)	Courant max générateur ($I_g \leq I_z - I_n$)	S max générateur ($I_g \times U_n$)
1,5 mm ²	17,5 A	16 A	1,5 A	345 VA
1,5 mm ²	17,5 A	10 A	7,5 A	1725 VA
2,5 mm ²	24 A	20 A	4 A	920 VA
2,5 mm ²	24 A	16 A	8 A	1840 VA

Justification :

Prenons le cas d'un circuit de prises de courant alimentés par des conducteurs 2,5 mm² et protégé par un disjoncteur modulaire de 20A. Si un ou plusieurs récepteurs de très forte consommation (> 5520 VA) étaient branchés sur le même circuit de prises qu'un kit photovoltaïque fournissant une puissance maximale de 920VA, une partie du circuit pourrait être en surcharge et serait non protégée par le disjoncteur de 20A.

En pratique, il est peu probable que sur un circuit de prises de courant, plusieurs récepteurs d'une puissance aussi élevée soient branchés dans la mesure où la plupart des récepteurs de forte puissance (> 2 kW) ont généralement un circuit dédié (exemples : chauffage électrique, chauffe-eau, four électrique,...)



Protection contre la foudre

La protection foudre n'est pas obligatoire dans les installations photovoltaïques.

En effet, le guide C15-712-1 précise qu'on peut se passer de parafoudres sur la liaison des panneaux solaires si la longueur des câbles est inférieure à $L < L_c = 115/N_g$ pour les locaux d'habitation).

N_g étant le niveau de foudroiement de la région.

Pour la région Sud-Est qui est statistiquement la plus foudroyée, $L_c = 26m$

Par retour d'expérience, sur plusieurs milliers de kits Solarcoop installés, très peu de défaillances ont été signalées en raison des surtensions dues à la foudre.

Ceci dit, aucune garantie ne peut être donnée !

Dispositions normatives

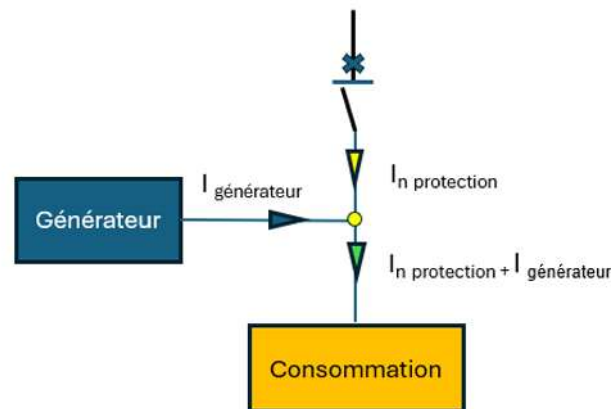
A l'heure actuelle, sur le plan normatif au niveau français, le cas des kits photovoltaïques plug & play n'est pas traité dans le guide UTE C15-712-1 de juillet 2013 mais la nouvelle norme NFC 15-100 applicable au 1^{er} septembre 2025 précise les règles à respecter pour le raccordement de tout générateur photovoltaïque en autoconsommation :

- 551.7.1 Lorsqu'un générateur d'énergie électrique est utilisé comme une source supplémentaire d'alimentation en parallèle avec une autre source, **la protection contre les effets thermiques** selon la Partie 4-42 et **la protection contre les SURINTENSITÉS** selon la Partie 4-43 **doivent être effectives quelle que soit la situation.**
- 551.7.2 Un générateur d'énergie électrique utilisé comme une source supplémentaire d'alimentation en parallèle avec une autre source doit être installé :
 - en amont de tous les dispositifs de protection d'un circuit terminal de l'installation
 - ou
 - en aval de tous les dispositifs de protection d'un circuit terminal de l'installation, mais dans ce cas, les exigences supplémentaires suivantes doivent être satisfaites :
 - i) les conducteurs du circuit terminal doivent satisfaire aux exigences suivantes :
 $I_z \geq I_n + I_g$ où I_z est le courant admissible des conducteurs du circuit terminal
 I_n est le courant assigné du dispositif de protection du circuit terminal ;
 I_g est le courant assigné de sortie du générateur d'énergie électrique ;
 - ii) un générateur d'énergie électrique ne doit pas être connecté à un circuit terminal par le moyen d'un socle de prise ou d'une fiche ; et
 - iii) un DDR doit protéger le circuit terminal à son origine, conformément au
 - et
 - iv) les conducteurs de phase et le neutre du circuit terminal et du générateur d'énergie électrique ne doivent pas être connectés à la terre en aval du dispositif de protection du circuit terminal.

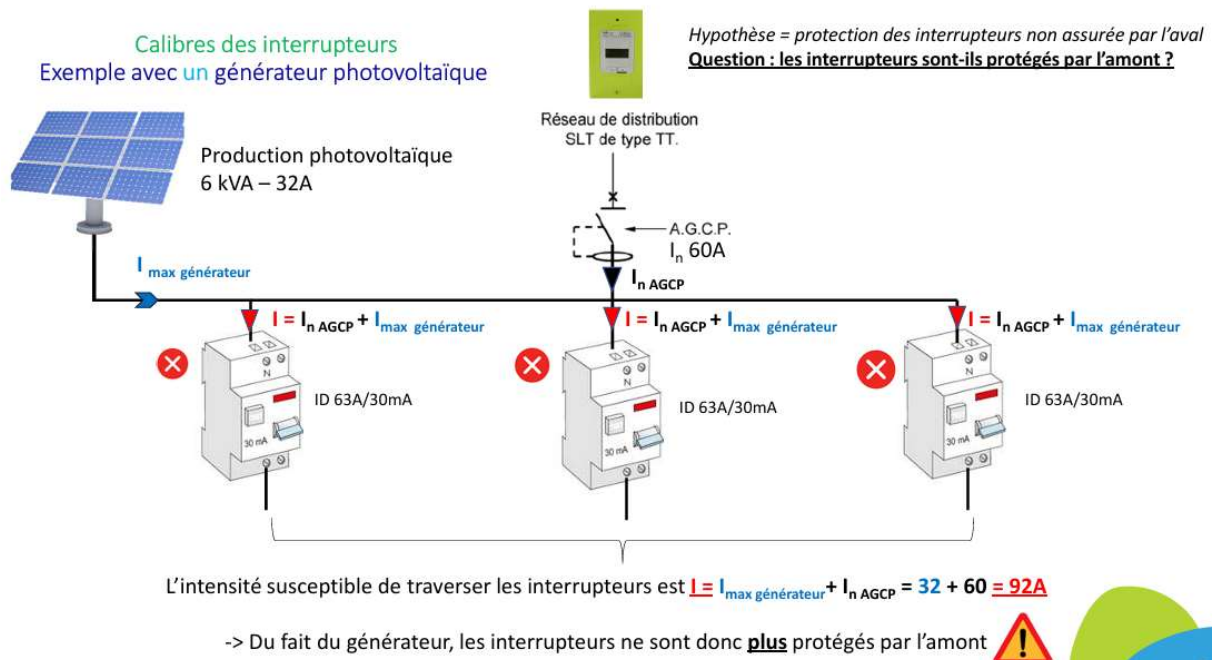
Impact des dispositions normatives sur la mise en œuvre des installations photovoltaïques en autoconsommation

Le respect des règles indiquées dans le paragraphe 551.7.1 nécessite de vérifier l'impact de la production PV en autoconsommation sur les circuits de distribution.

L'ajout d'un kit photovoltaïque peut engendrer des risques d'échauffement au niveau du circuit de distribution. En effet, des conducteurs ou des interrupteurs différentiels peuvent être surchargés en fonction de la puissance injectée.



A titre d'exemple, le schéma ci-dessous indique un risque de surcharge au niveau des interrupteurs différentiels :



Pour éviter ce risque, plusieurs solutions sont envisageables pour ne pas dégrader le niveau de sécurité de l'installation de consommation.

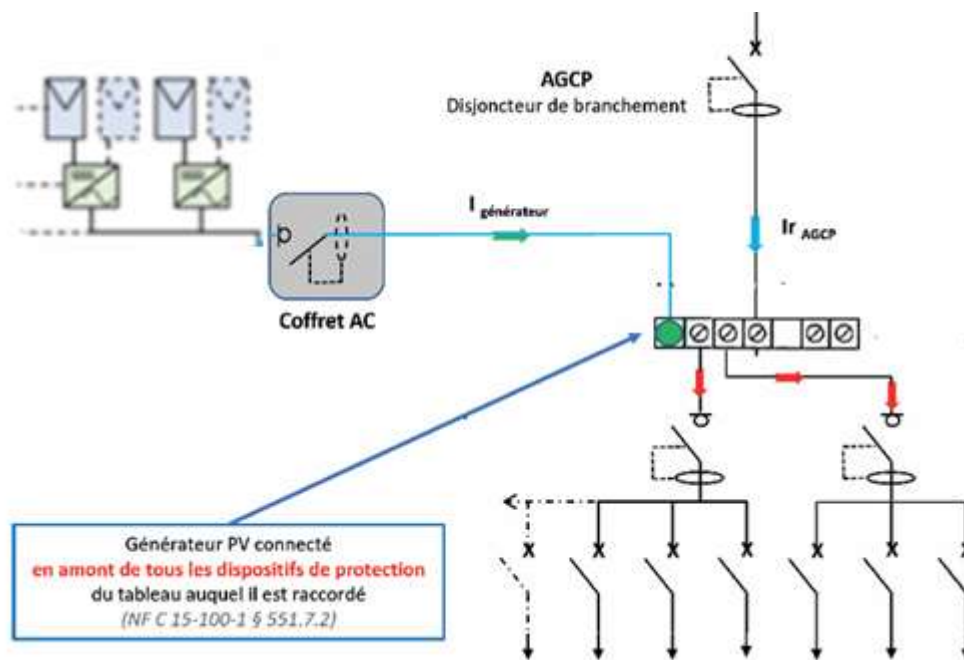
On se reportera aux préconisations du Consuel (<https://actualites.consuel.com/installations-autoconsommation/>)

Raccordement des générateurs photovoltaïques sur l'installation électrique existante :

Le respect des règles indiquées dans le paragraphe 551.7.2 donne 2 possibilités pour le raccordement des générateurs photovoltaïques :

1. Raccordement du kit en amont d'un tableau électrique existant

Dans ce cas, le générateur PV est raccordé en amont des dispositifs de protection du tableau électrique principal ou d'un tableau électrique secondaire tel qu'indiqué sur le schéma suivant :



Ce mode de raccordement est à privilégier par rapport à un raccordement en aval car il impose moins de vérifications sur le calibre des protections des circuits existants.

2. Raccordement en aval sur un circuit existant alimentant un réseau de prises :

Il est toujours possible de raccorder un kit photovoltaïque directement au niveau d'une prise existante tel qu'indiqué dans le schéma suivant sous réserve de respecter la puissance maximale acceptable par le circuit de prises en fonction de sa section et de son calibre de protection (voir ci-dessus § risque de surcharge des conducteurs).

Toutefois, il est précisé que le branchement d'un générateur photovoltaïque sur un socle de prise de courant par une fiche n'est pas autorisé quelle que soit sa puissance.

Cette position peut se justifier pour les raisons suivantes :

- **Risque de surcharge de la prise de courant :**

Les prises de courant standard domestiques peuvent accepter un courant maximum de 16 A. Toutefois, elles ne sont pas prévues pour supporter ce courant pendant plusieurs heures au risque d'un échauffement qui peut être dangereux. En pratique, on doit se limiter à une valeur maximum de courant de 8A pour un usage permanent soit une puissance maximale de 2000W pour un raccordement sur une prise standard domestique même si le circuit d'alimentation le permet.

N.B. : A titre de comparaison, la puissance de charge des véhicules électriques est limitée à 8A soit de l'ordre de 2kW pour une prise de courant standard. Il convient d'utiliser une prise dite « renforcée » spécifique pour une charge à une puissance de 3,7 kW (16A sous 230V).

- **Risque de surcharge du circuit de prises :**

Le particulier, sans connaissance en électricité, ne connaît pas forcément la section des conducteurs et le calibre de la protection associée à la prise de courant sur laquelle il souhaite raccorder son kit photovoltaïque

De plus, il y a un risque que le particulier branche plusieurs kits sur le même circuit de prises, soit en ajoutant une multiprise, soit en se raccordant sur des prises différentes mais appartenant au même circuit.

Pour respecter cette disposition, le branchement devra s'effectuer selon le schéma ci-dessous :

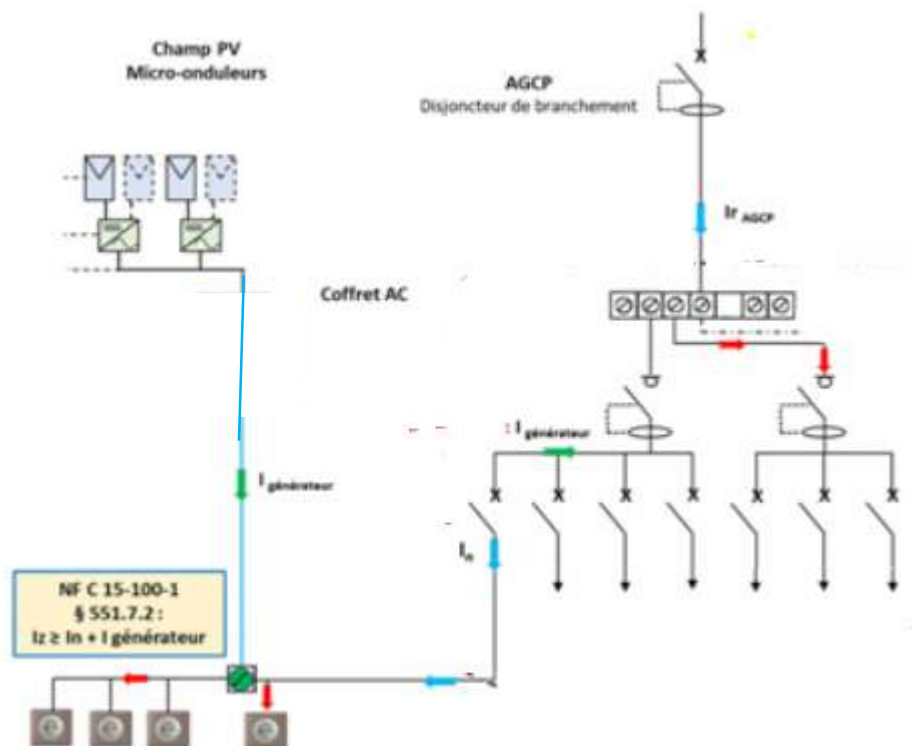


Schéma unifilaire de raccordement de kits en aval des protections

CONCLUSION :

En conclusion, le branchement d'un kit photovoltaïque d'une puissance inférieure à 2 kWc sur un circuit de prises de courant ne présente pas de danger pour les personnes et les biens aux conditions suivantes :

- le kit est livré avec l'ensemble des composants tels que définis et testés par le fabricant et répondant aux exigences des normes en vigueur
- Une notice de montage et de sécurité est fournie précisant les conditions de mise en œuvre notamment la conformité de la norme NFC 15-100 pour l'installation électrique interne de l'habitation (pas spécifique au photovoltaïque !).
- La puissance du kit photovoltaïque ne dépasse pas :
 - 350 W sur un circuit de prises de section 1,5 mm² protégé par un disjoncteur 16A
 - 1000 W sur un circuit de prises de section 2,5 mm² protégé par un disjoncteur 20A
 - 2000 W sur un circuit de prises de section 2,5 mm² protégé par un disjoncteur 16ACes préconisations découlent du tableau indiqué page 6

Position de Solarcoop vis-à-vis de la nouvelle norme NFC 15-100

Solarcoop a toujours privilégié la sécurité électrique dans la conception et la mise en œuvre des kits photovoltaïques en respectant notamment les normes en vigueur. Même si les conditions de raccordement indiquées ci-dessus sont respectées, Solarcoop préconise de ne plus brancher les kits photovoltaïques sur une prise de courant à l'aide d'une fiche standard (2P+T).

N.B. Pour information, la nouvelle norme NFC 15-100 applicable au 1^{er} septembre 2025, n'est pas rétroactive.

Solarcoop a fait le choix de limiter son offre de kits à des puissances maximales de 2 kWc car au-delà, la mise en œuvre d'installations photovoltaïques par des non professionnels est plus risquée :

- Sur le plan électrique, nécessité d'intervenir au niveau du tableau électrique et vérifier l'impact du générateur photovoltaïque sur la sécurité électrique, ce qui nécessite une attestation de conformité du Consuel
- Sur le plan de la pose de panneaux, nécessité de disposer d'une plus grande surface que l'on retrouve plus souvent sur des toitures situées à des hauteurs supérieures à 3m (risque de chutes)
- Sur le plan économique, le surplus très probable est injecté gratuitement dans le réseau et réduit le temps de retour sur investissement, d'où l'intérêt de ne pas surdimensionner le kit photovoltaïque.

En conséquence, pour des installations photovoltaïques de puissance supérieures à 2 kWc, Solarcoop accompagne les particuliers soit par un contact direct pour une autoinstallation,

soit en les mettant en contact avec des professionnels partenaires ce qui présente les avantages suivants :

- Recours à un professionnel qualifié RGE (Reconnu Garanti de l'Environnement) et habilité pour les travaux en toiture
- Autoconsommation avec possibilité de vente de surplus dans le cadre de l'obligation d'achat (4c€/kWh)
- Prime d'autoconsommation dans le cadre de l'obligation d'achat (80 €/kWc)
- Du matériel de qualité posé par des professionnels référencés à des prix raisonnables