

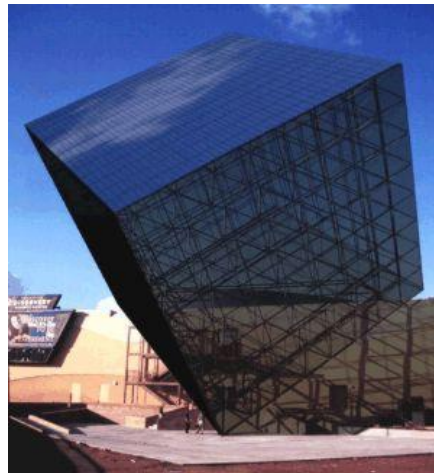
Implantation du PV sur bâtiments



Photo CLIPSOL



Implantation du PV sur bâtiments



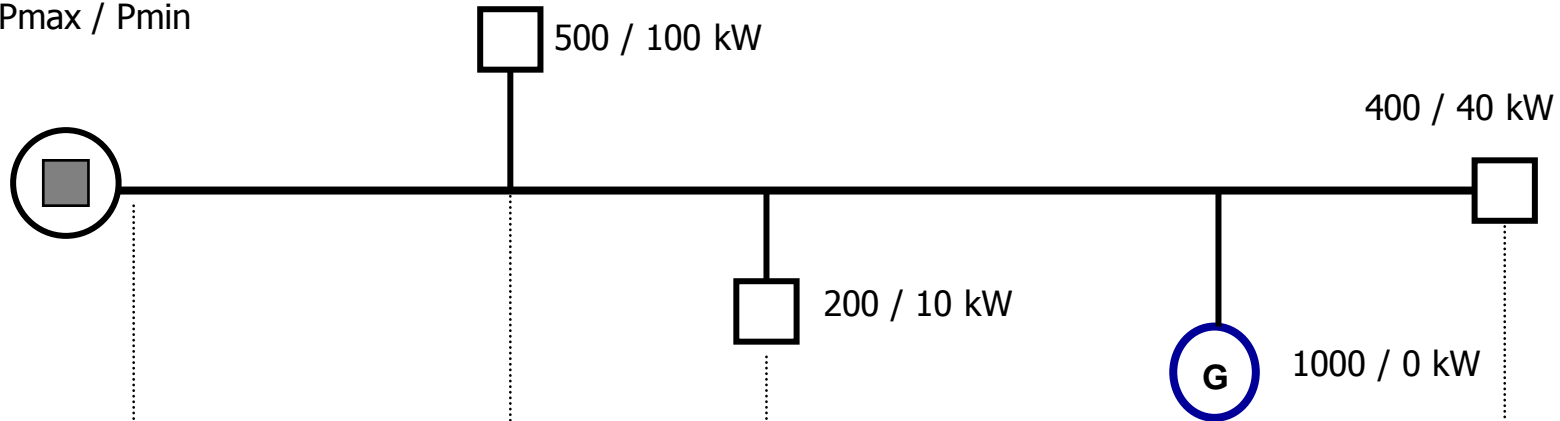
Centrales photovoltaïques au sol



Impacts de la production photovoltaïque sur le réseau de distribution

Etudes des contraintes de transit

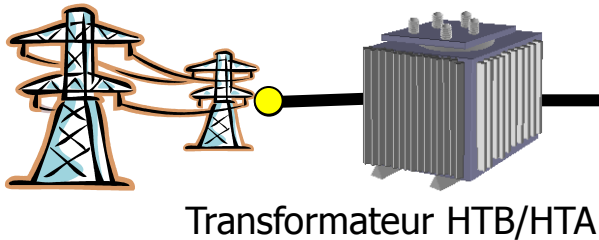
Notation : Pmax / Pmin



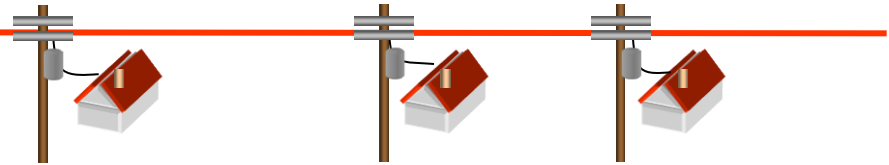
Hypothèses d'études	P tronçon 1	P tronçon 2	P tronçon 3	P tronçon 4
Pmax conso, Pnulle prod	1100	600	400	400
Pmin conso, Pnulle prod	150	50	40	40
Pmax conso, Pmax prod	100	- 400	- 600	400
Pmin conso, Pmax prod	- 850	- 950	- 960	40

Plan de tension sur les réseaux électriques

Réseau de transport



Réseau de distribution



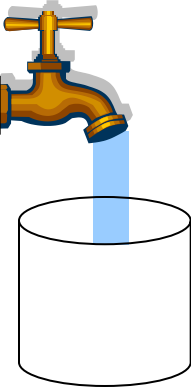
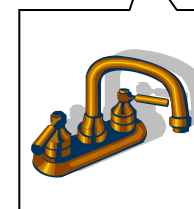
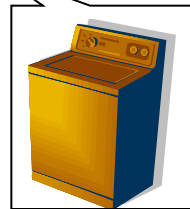
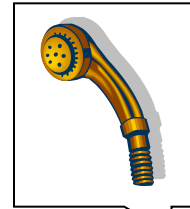
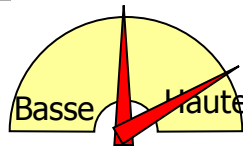
L'intensité du courant électrique passe d'un point de tension plus élevée à un point de tension plus faible.

Ce phénomène est similaire au débit de l'eau courante passant d'un point de plus haute pression à un point de plus basse pression.

Le débit d'eau en bout de canalisation dépend de la pression en tête du réseau de distribution

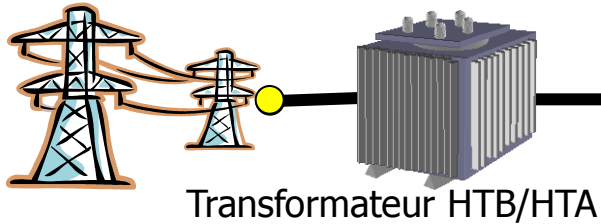
La pression diminue tout au long de la canalisation dès que l'eau est consommée

De la même façon, en présence de consommation, la tension diminue le long d'un réseau électrique

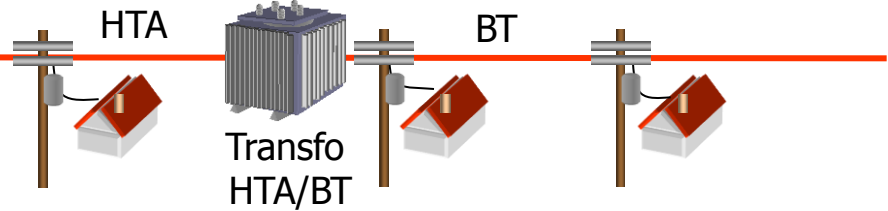


Plan de tension sur les réseaux électriques

Réseau de transport



Réseau de distribution

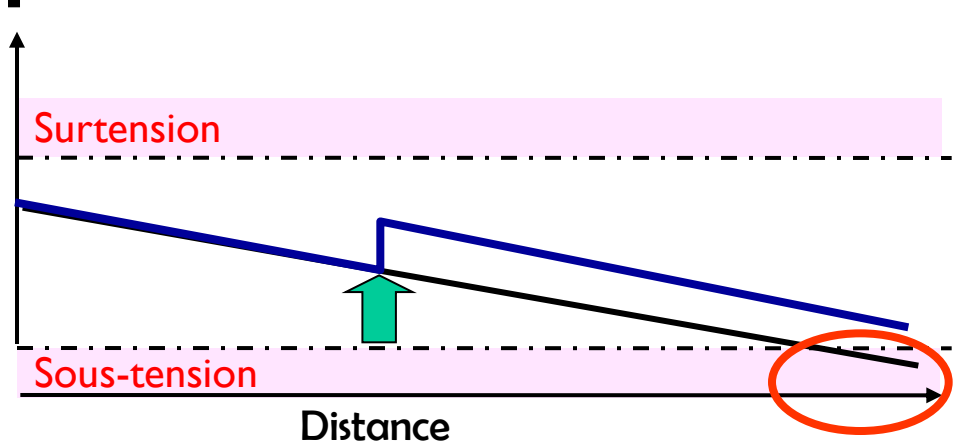


La tension diminue le long de la ligne sur laquelle sont raccordées les consommations

Toutefois, afin que les appareils puissent fonctionner correctement, la tension doit rester dans une plage définie par la réglementation, les normes ou les contrats, qui peuvent être différents d'un pays à l'autre.

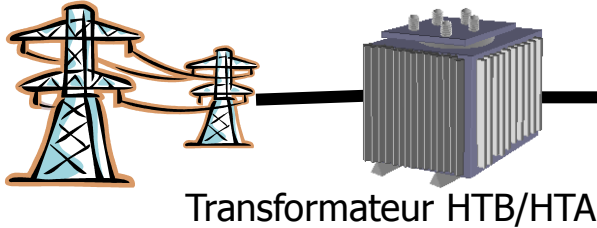
Afin de contrôler la tension dans la plage définie, les gestionnaires de réseau mettent en œuvre différents dispositifs techniques.

Le choix des prises de réglages des transformateur HTA/BT est l'une des dispositions appliquées pour compenser la baisse de tension et maintenir la tension dans la gamme définie sur toute la ligne .

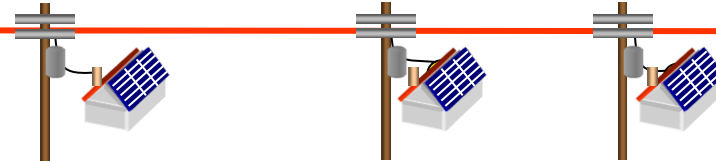


Plan de tension sur les réseaux électriques

Réseau de transport



Réseau de distribution

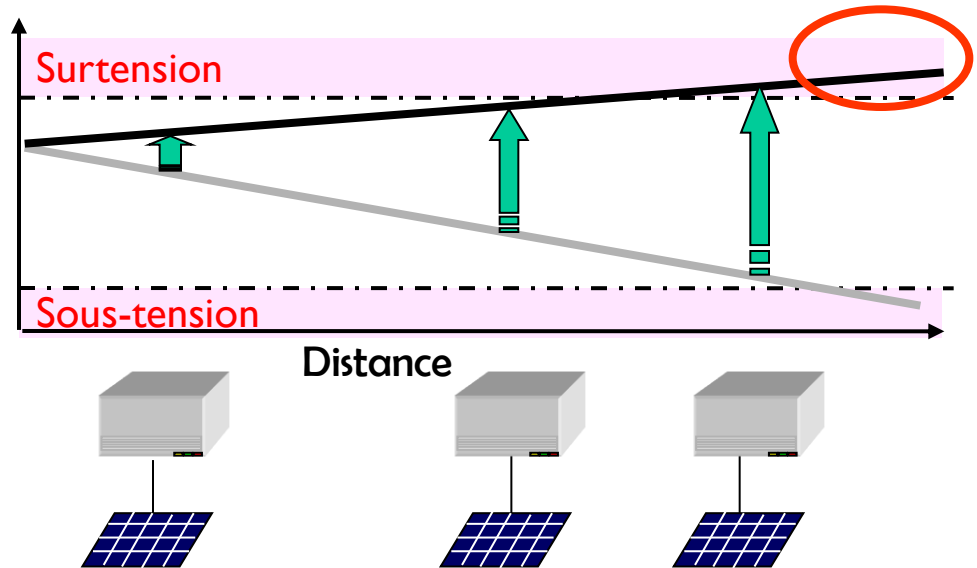


Mais que se passe-t-il si, au lieu de consommations, des installations PV sont raccordées ?

Lorsque la puissance produite est supérieure à la puissance consommée au point d'utilisation, le surplus d'électricité est ré-injecté sur le réseau.

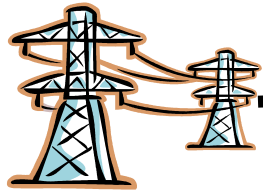
Dans ce cas, l'intensité du courant électrique change de direction et la tension augmente à mesure que l'on s'éloigne du transformateur

Ce n'est pas un problème important lorsque la puissance de production installée est faible, mais si plusieurs installations de production sont installées sur une même ligne, la tension pourrait dépasser la limite supérieure de la plage admissible

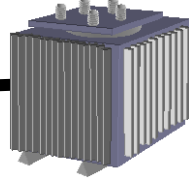


Plan de tension sur les réseaux électriques

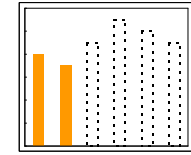
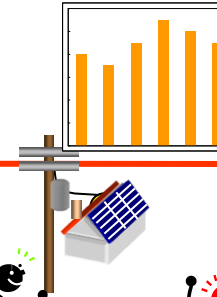
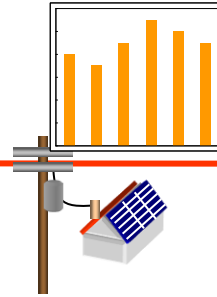
Réseau de transport



Transformateur HTB/HTA



Réseau de distribution



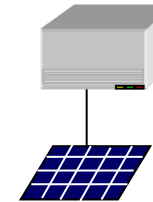
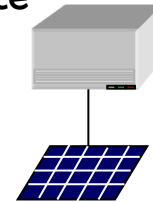
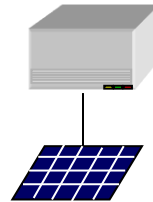
En bout de ligne, la tension aux bornes de l'onduleur risque de dépasser en journée la tension admissible, si bien que l'onduleur risque de décrocher et fonctionnera par intermittence.

La surtension est alors évitée mais il en résulte une réduction de l'efficacité du système PV. Par ailleurs, cette disposition crée des inégalités parmi les utilisateurs, puisque la production PV au bout de la ligne sera limitée.

Surtension

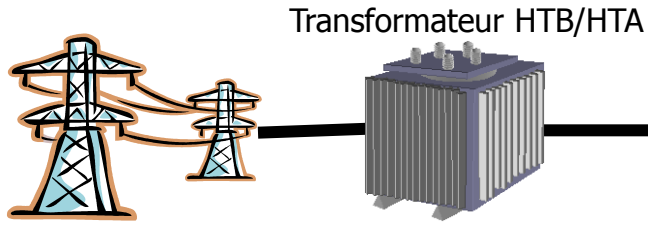
Sous-tension

Distance

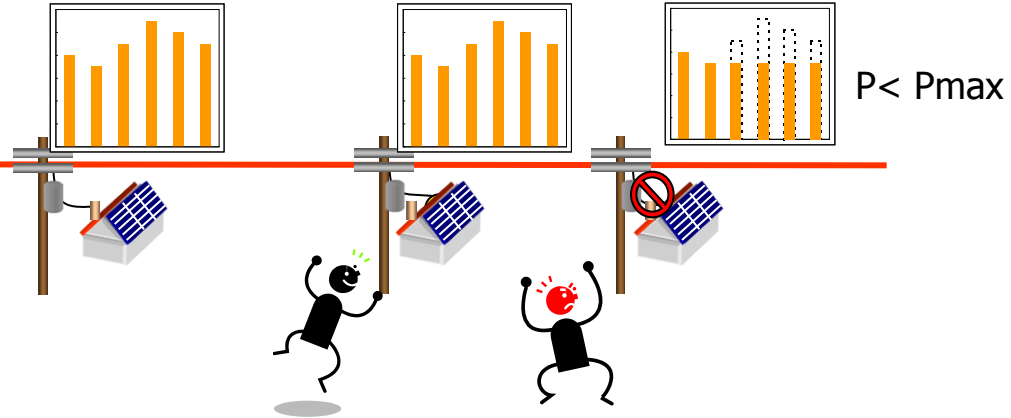


Régulation de tension par réduction de la puissance active en sortie onduleur

Réseau de transport



Réseau de distribution

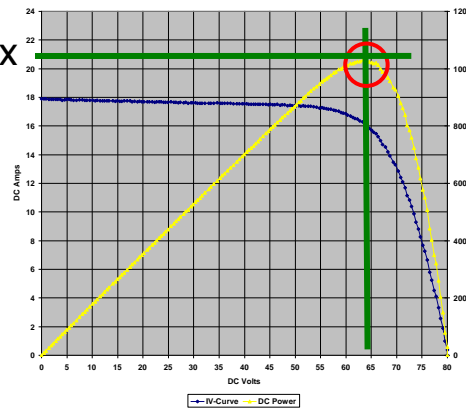


D'autres solutions peuvent être mise en œuvre sur les installations de production pour éviter les tensions hautes.

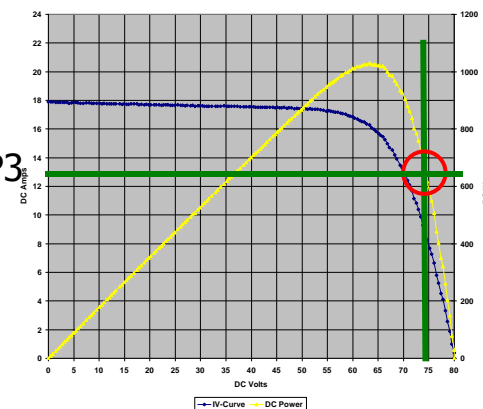
Par exemple, les onduleurs de puissance raccordés au réseau pourraient être conçus pour limiter la puissance active délivrée par le PV lorsque la tension se rapproche de la limite supérieure.

La surtension est alors évitée mais il en résulte une réduction de la puissance active du système PV. Cette disposition crée également des inégalités parmi les utilisateurs, puisque la production PV au bout de la ligne sera prioritairement limitée.

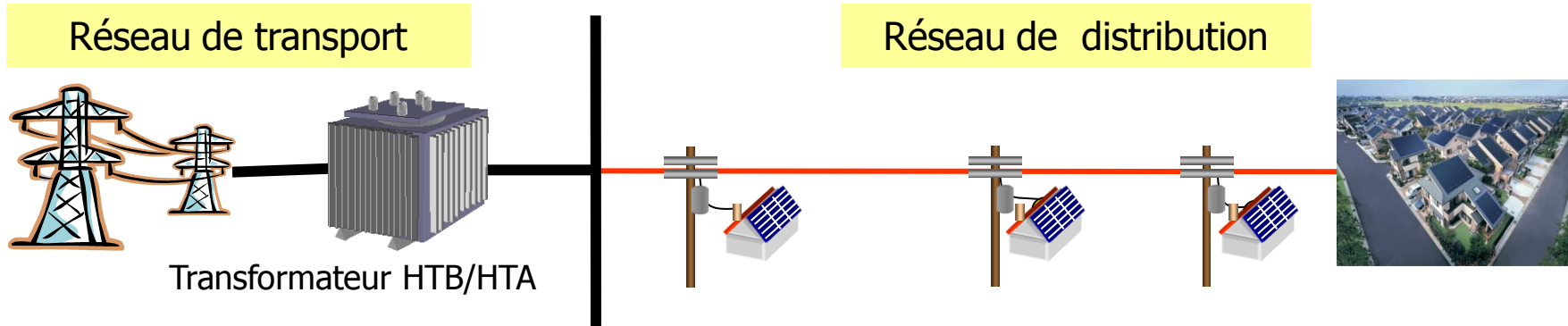
P_{max}



P_3



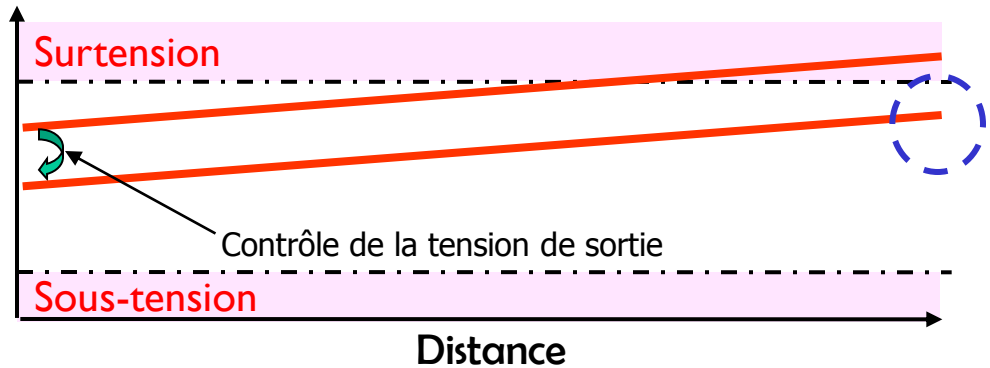
La tension sur les réseaux électriques



Y a-t-il des solutions à ce problème?

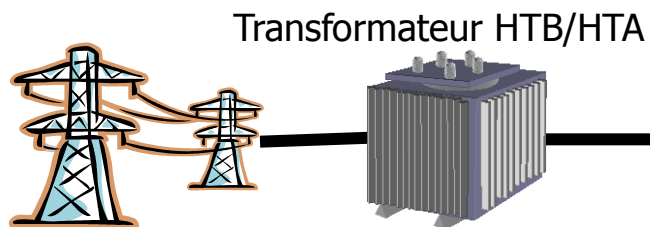
Côté réseau, une des mesures envisageable consiste à mettre en œuvre un compoundage sur la régulation de tension pas à pas du transformateur HTB/HTA. Celui-ci consiste à moduler la tension de consigne en fonction de la charge du transformateur.

En théorie cette disposition pourrait permettre de ne pas dépasser la limite supérieure en réduisant la tension de sortie du transformateur en présence de charge faible et plus encore lorsque l'énergie est refoulée vers le réseau HTB.



La tension sur les réseaux électriques

Réseau de transport



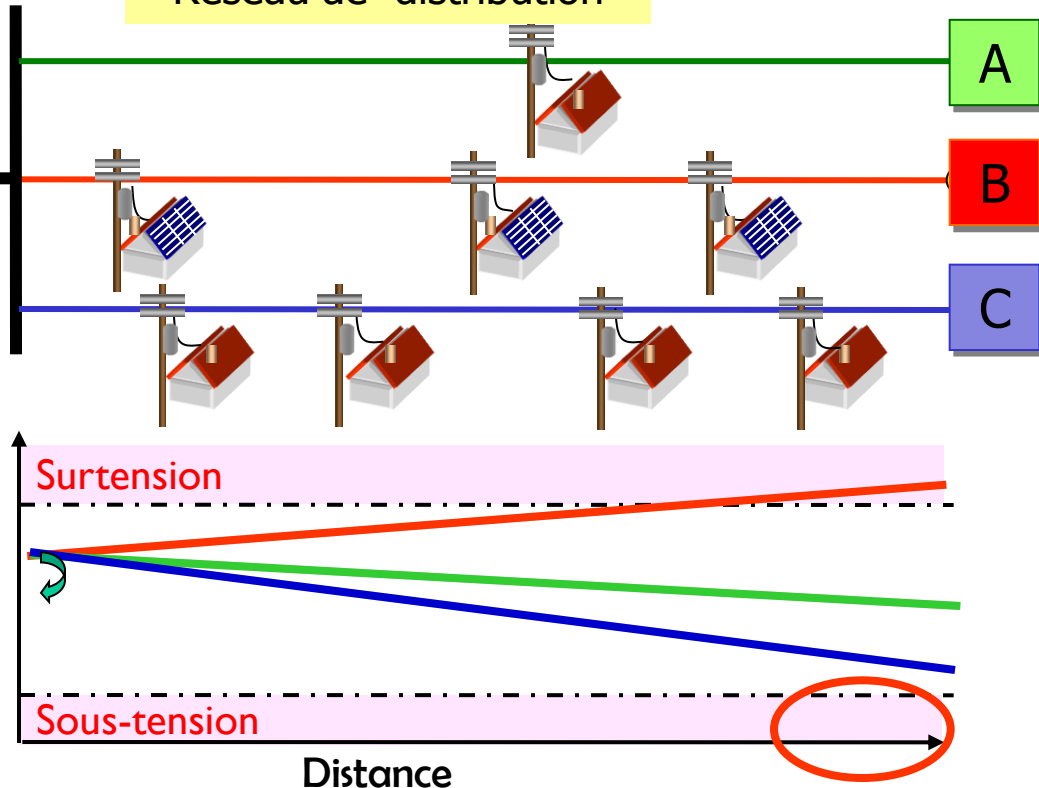
En fait le compoundage est une solution rarement utilisable.

En général, plusieurs lignes de distribution sont raccordées à un transformateur. La tension de sortie du HTA transformateur est contrôlée globalement mais ne peut pas l'être de façon indépendante sur chaque ligne.

Or chaque ligne peut avoir des utilisations particulières : uniquement de la consommation, uniquement de la production ou un mix des deux.

Diminuer la tension HTA du transformateur pour éviter des tensions élevées sur les lignes avec production revient à générer des tensions basses sur les lignes avec consommation.

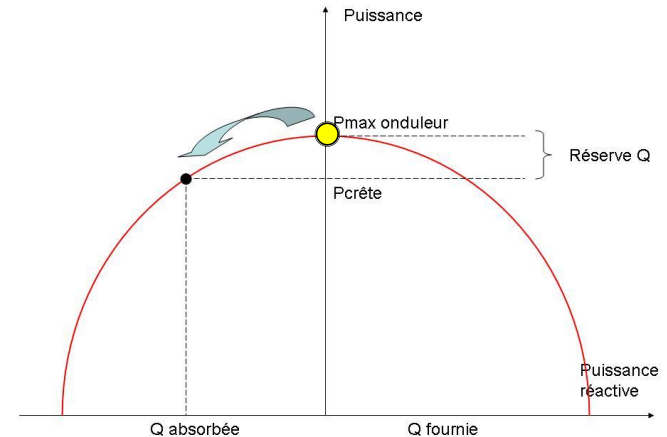
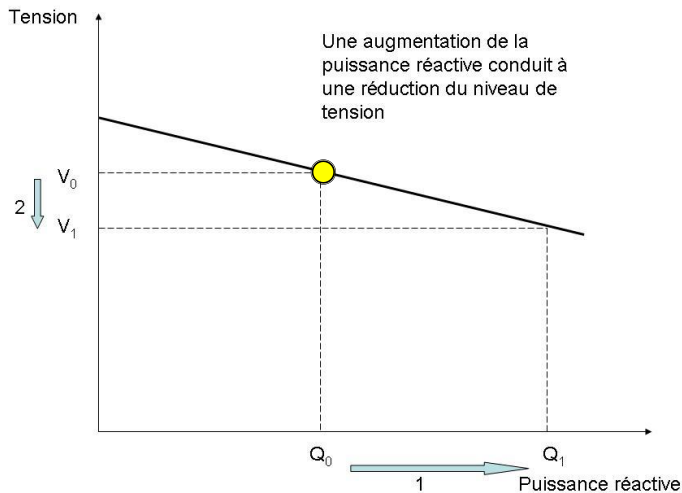
Réseau de distribution



Régulation de tension par contrôle de la puissance réactive de l'onduleur

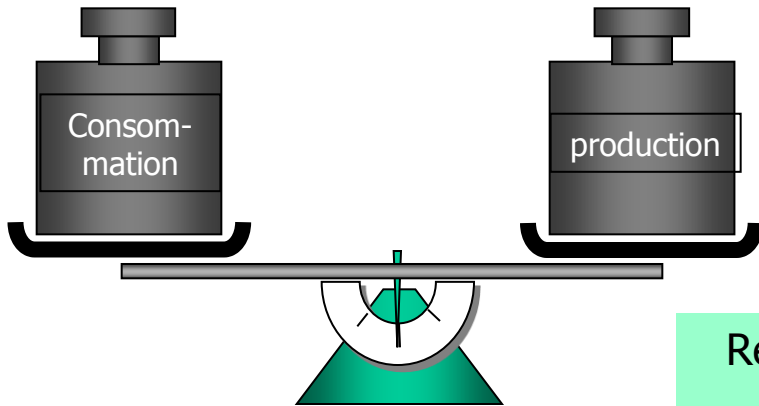
Le contrôle de la puissance réactive au niveau de l'onduleur peut contribuer à la régulation de tension au niveau local:

- L'absorption de puissance réactive fait diminuer la tension (courant injecté en retard sur la tension réseau)
- La fourniture de puissance réactive fait augmenter la tension (courant injecté en avance sur la tension réseau)



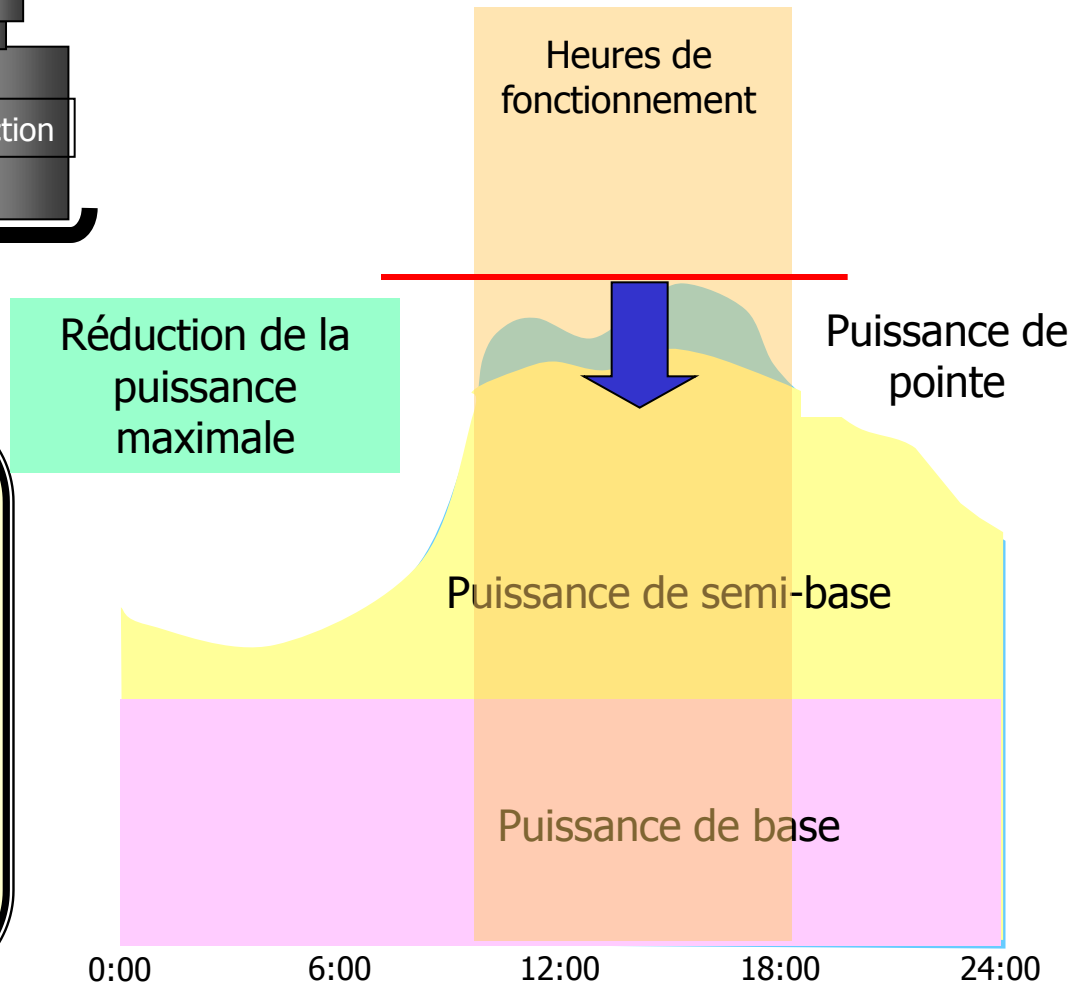
Si l'onduleur est surdimensionné de l'ordre de 8 % pour permettre une fourniture de puissance réactive ($\text{tg } \varphi = Q/P = -0,4$), la fourniture de puissance active à pleine charge ne sera pas réduite pour autant

Gestion du système électrique



En général, les générateurs de pointe ne fonctionnent pas en dehors des heures de pointe car leurs coûts de fonctionnement sont élevés.

Afin de réduire le besoin et par conséquent les coûts liés à la puissance de pointe, les producteurs s'efforcent de réduire la consommation maximale par des programmes de gestion de la demande notamment en mettant en œuvre une tarification reflétant les coûts de production

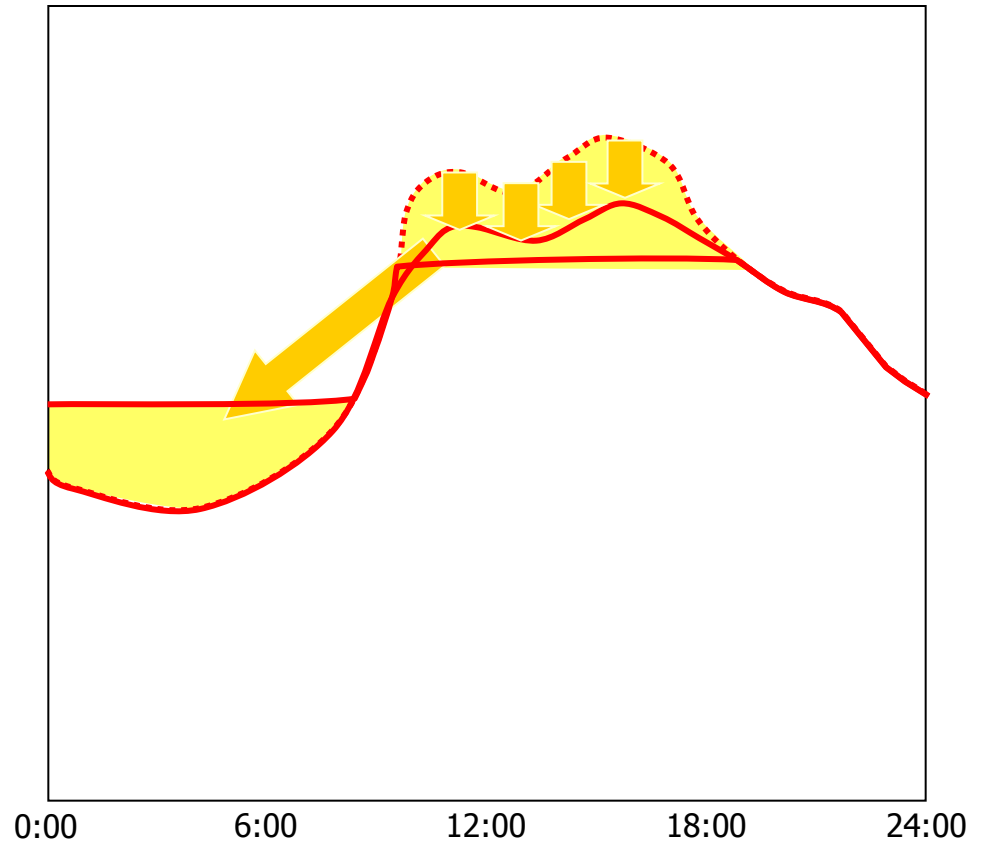


Réduction de la puissance maximale

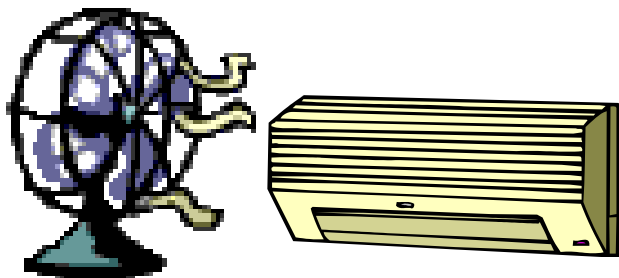
Il y a de nombreux moyens de réduire la part des générateurs de puissance maximale. Les mesures possibles comprennent :

le « déplacement de la pointe » (ex. incitation tarifaire ou stockage d'énergie)

“ l'écrêtage de la pointe » (ex. incitation à la maîtrise de l'énergie)



Impact du photovoltaïque sur l'écrêtage de pointe



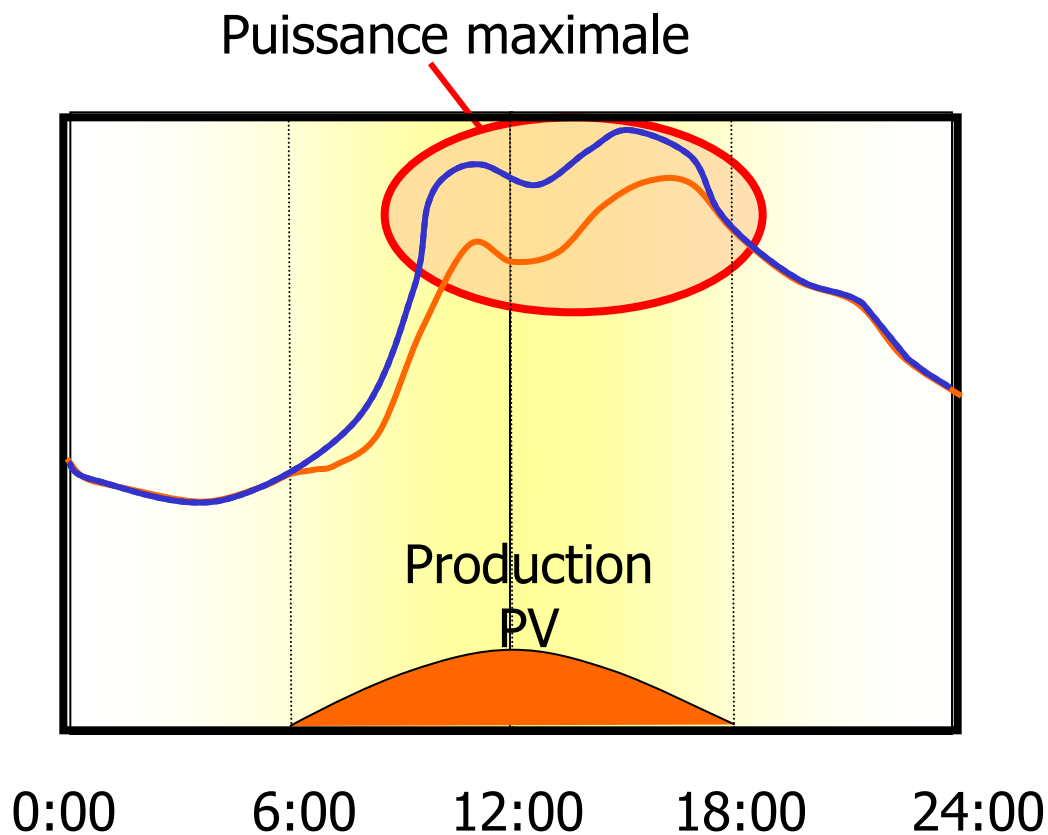
Note

Comment le PV peut-il contribuer à l'alimentation pendant les heures de pointe ?

Oui si la consommation d'électricité est plus importante le jour que la nuit.

Puisque le PV produit de l'électricité durant le jour, le PV peut contribuer à la réduction de la puissance de pointe en journée.

Particulièrement pour les pays à climat relativement chaud, le PV devrait contrebalancer l'augmentation de la consommation pour la climatisation durant l'été.



Impact du photovoltaïque sur l'écrêtage de pointe

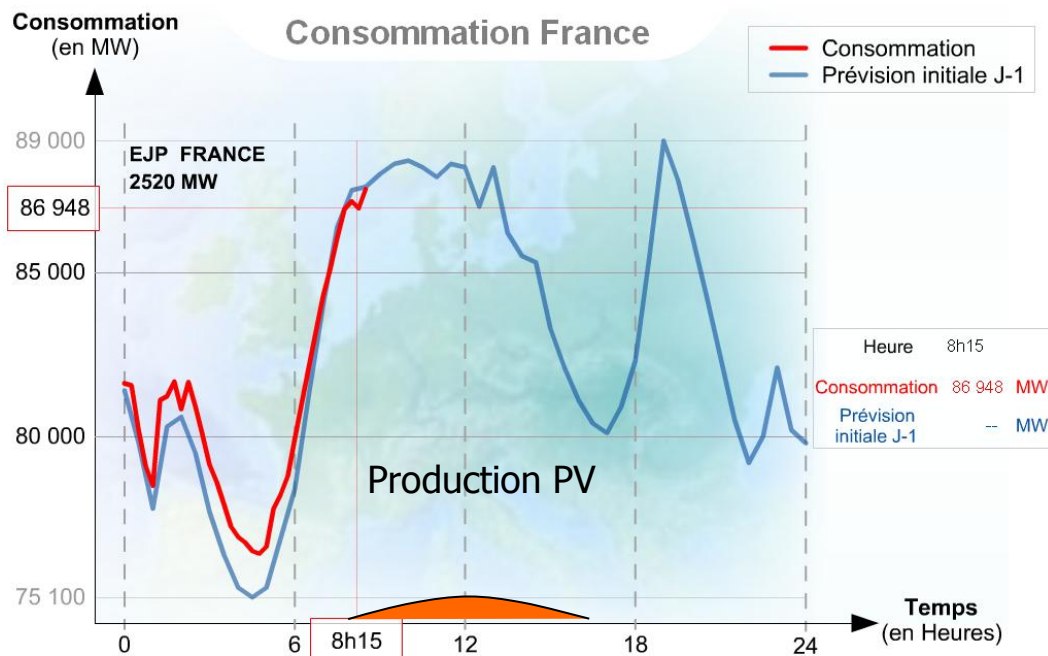
En métropole, le PV peut-il contribuer à la réduction de la puissance pendant les heures de pointe ?

La consommation d'électricité varie tout au long de la journée.

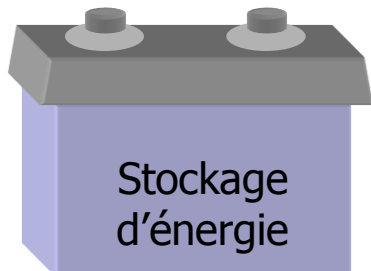
La production PV peut contribuer à la réduction de la pointe du matin mais en aucun cas de la pointe du soir l'hiver.

Au niveau national, la puissance crête totale installée est marginale par rapport à la puissance consommée (1%)

Il faut par ailleurs tenir compte du caractère intermittent de l'énergie solaire ce qui suppose de disposer de moyens de production de réserve et d'une bonne prévision pour assurer la sécurité de la production.



Impact du photovoltaïque sur l'écrêtage de pointe



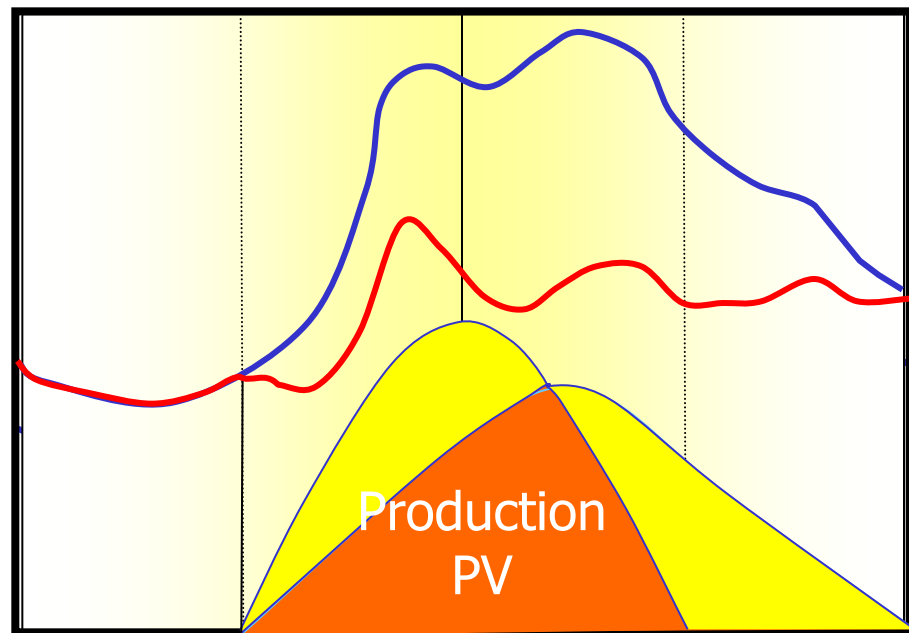
L'intérêt du photovoltaïque pour réduire la pointe peut être augmenté de manière importante en l'associant à un système de stockage d'énergie de faible puissance comme des batteries (déplacement de la pointe)

Toutefois, le développement des moyens de stockage est confronté à plusieurs difficultés :

- Rendement énergétique peu performant
- Coût élevé
- Traitement fin de vie (cas des batteries)

Actuellement ces dispositifs de stockage sont déployés dans le cadre d'expérimentation

(Japon, Ile de la Réunion,...)



0:00

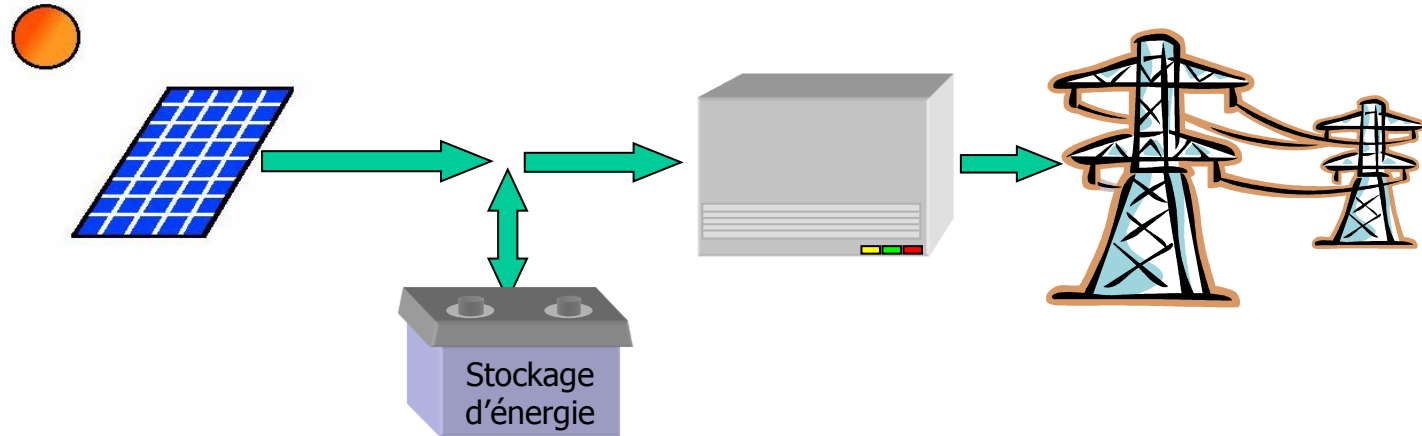
6:00

12:00

18:00

24:00

Impact du photovoltaïque sur l'écrêtage de pointe



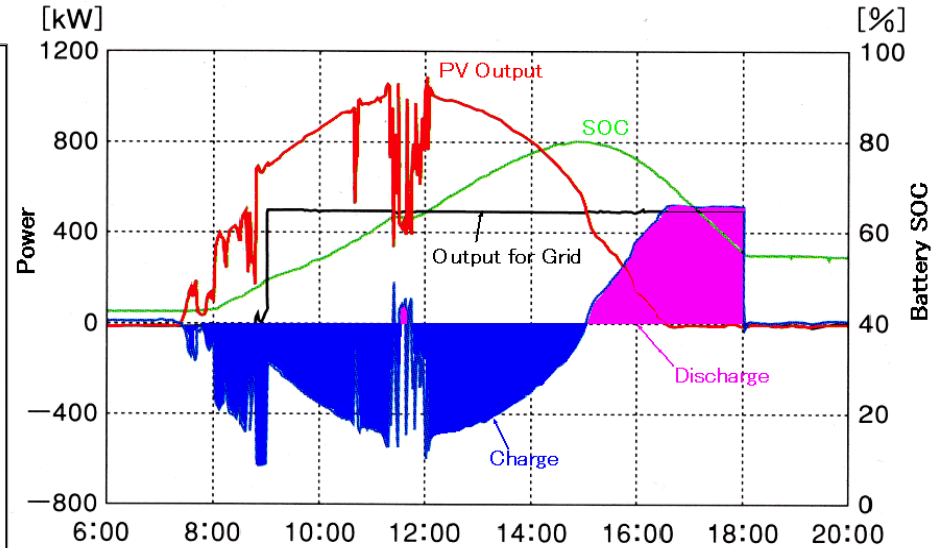
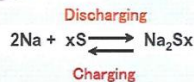
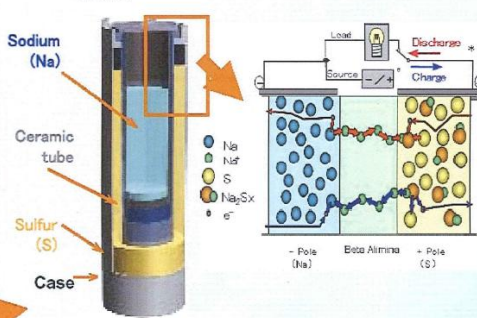
1MW system (10mX3mX5mH)



Modules (50kW)

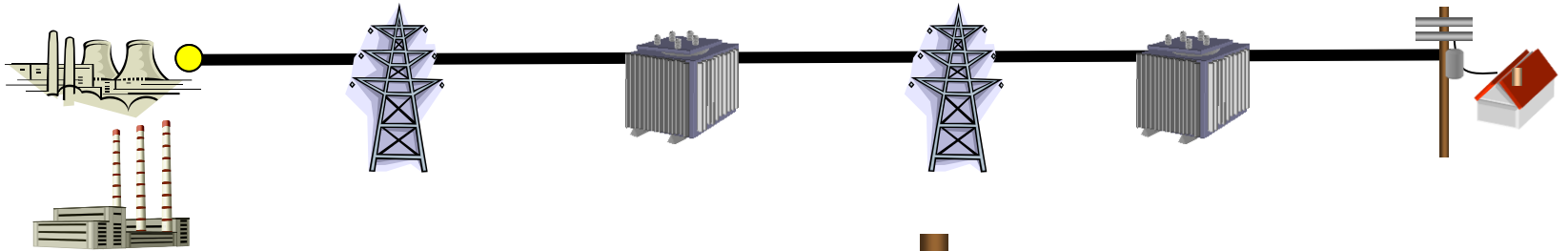


Cells



Ex : EDF SEI Réunion : Batterie : Na-S 1MW – 7,2 MWh

Impact du photovoltaïque sur les pertes énergétiques des réseaux

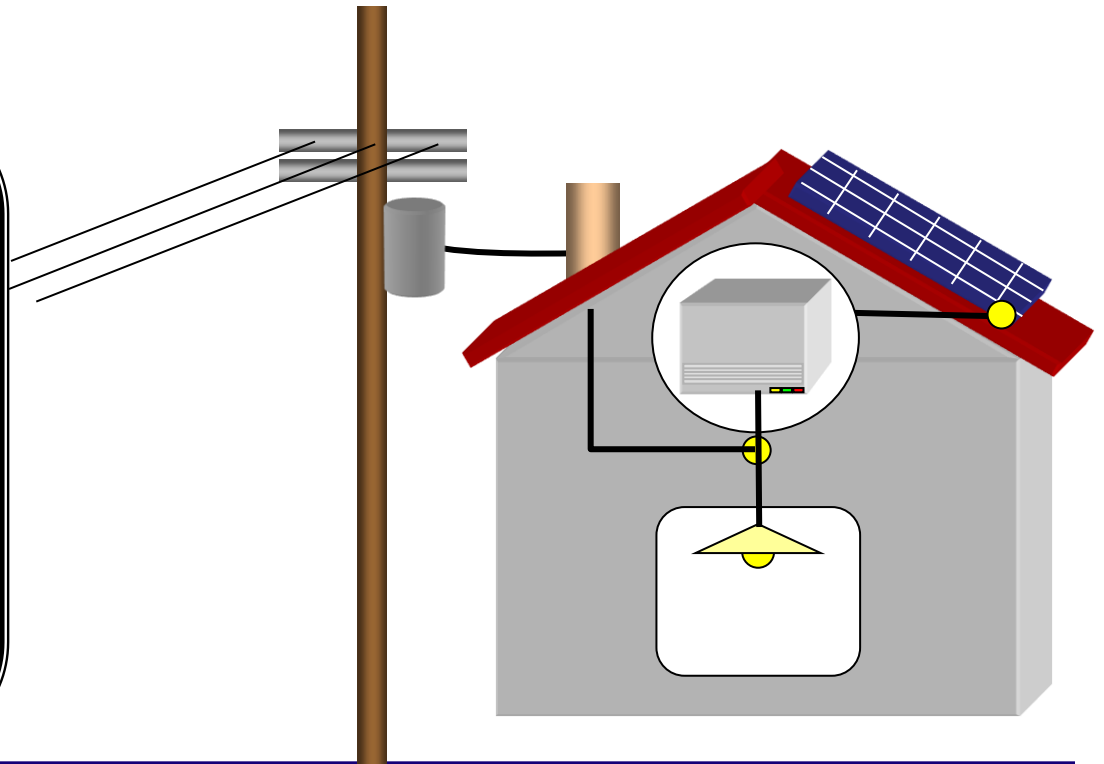


Dans de nombreux cas, les grands groupes de production sont installés très loin des lieux de consommation.

Le PV peut produire à proximité du lieu de la consommation partout où l'ensoleillement est disponible.

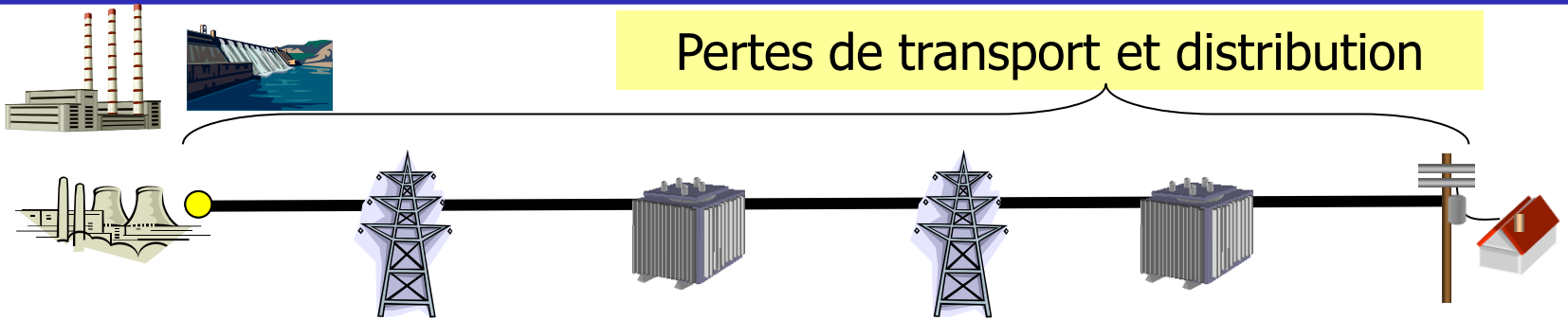
Le système PV peut être installé sur le bâtiment où l'électricité est requise.

Il n'est pas nécessaire de disposer de terrain.



Production sur site

Pertes de transport et distribution

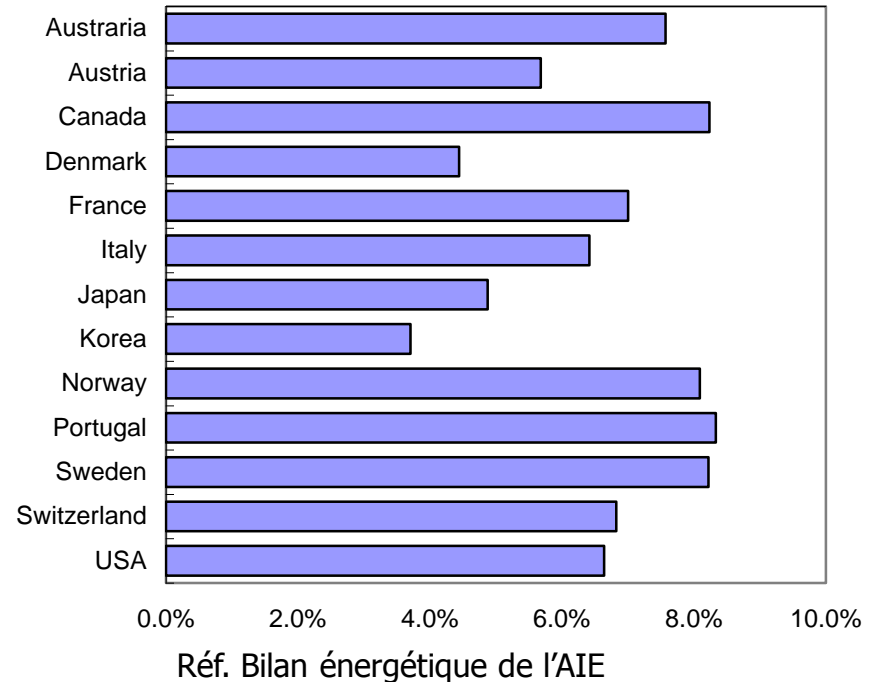


Un avantage d'une production sur le site de consommation correctement dimensionnée par rapport à la consommation est la réduction des pertes lors du transport/distribution.

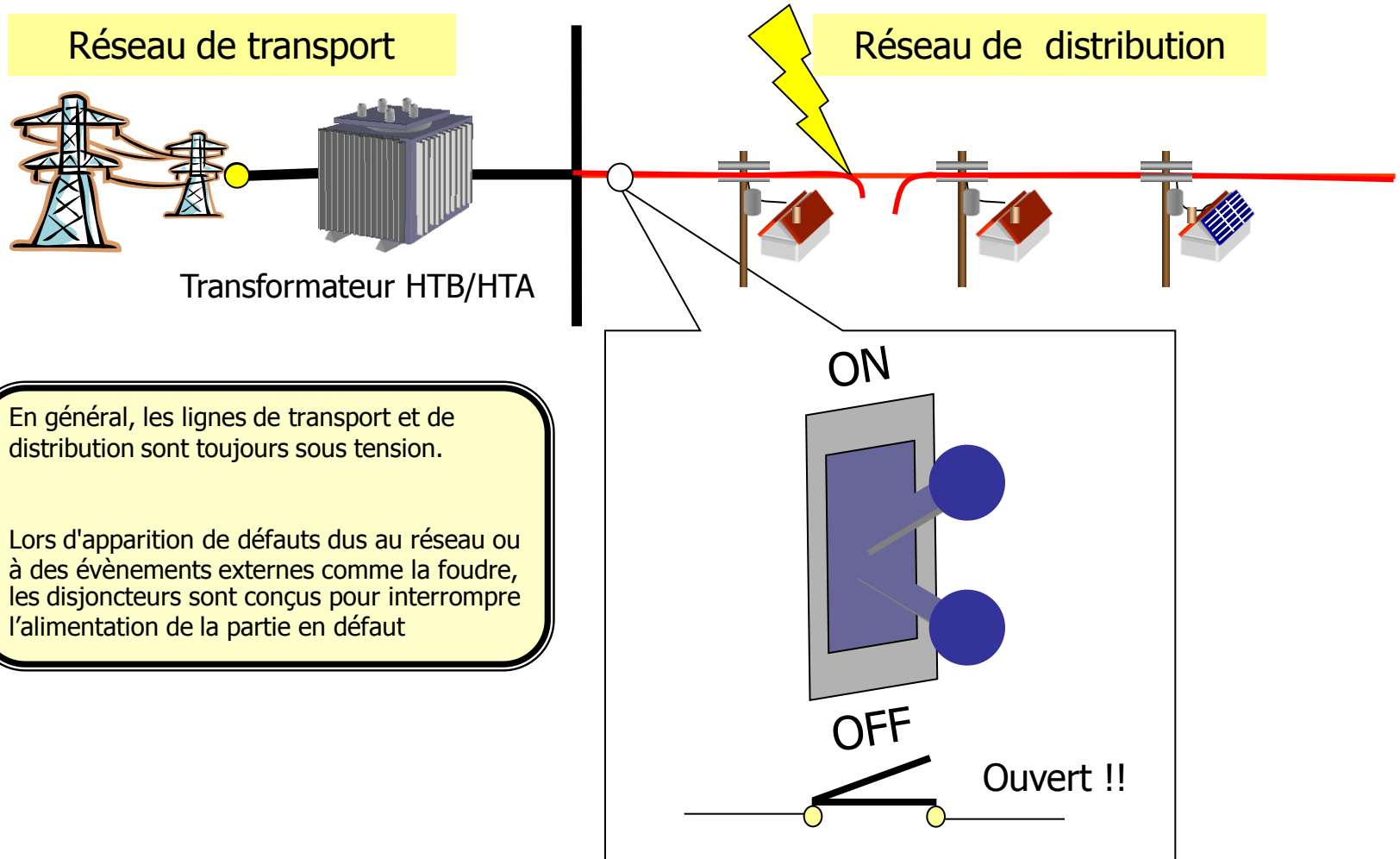
Les pertes d'acheminement sur les réseaux de transport et de distribution sont achetées sur le marché par les gestionnaires de réseau.

Les pertes se situent dans une échelle de 3 à 9 % de la production totale des pays industrialisés, bien qu'elles dépendent fortement des conditions régionales.

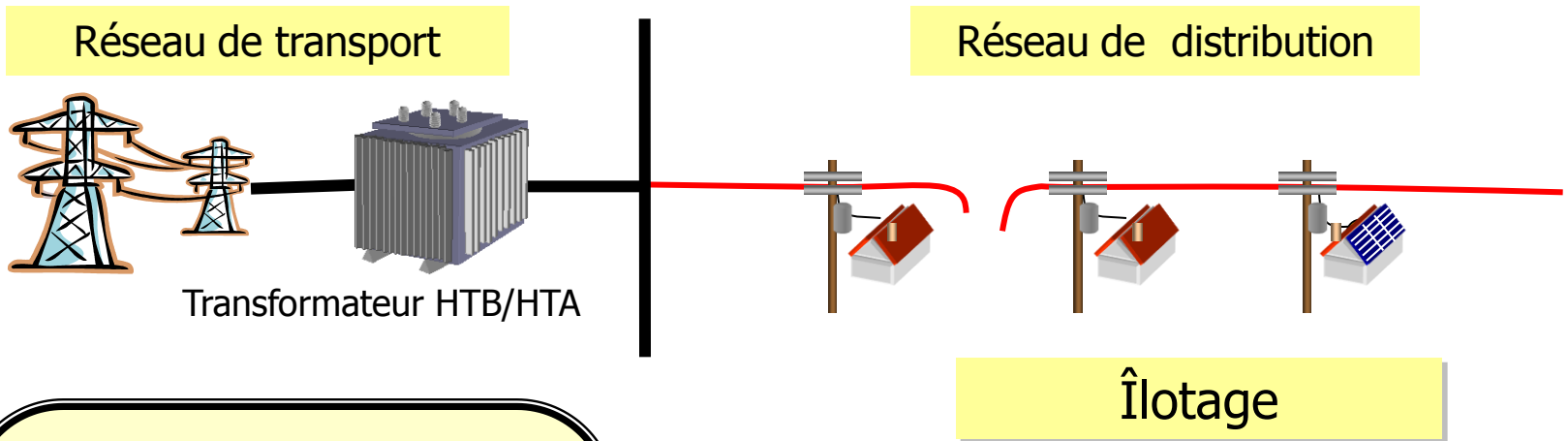
Si l'électricité est produite au point de demande, ces pertes sont minimisées.



Impact du photovoltaïque en cas de défaillance du réseau



Impact du photovoltaïque en cas de défaillance du réseau



Les installations de production ne doivent pas continuer à alimenter un réseau en défaut : défaut qui n'est plus alimenté par le réseau après ouverture du disjoncteur. Des dispositifs particuliers doivent empêcher que cette situation ne se produise.

Pendant, il y a une faible possibilité que les générateurs continuent à fournir de l'électricité aux charges de façon involontaire.

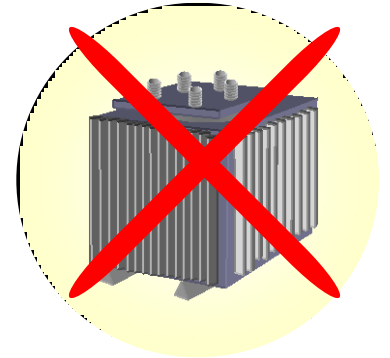
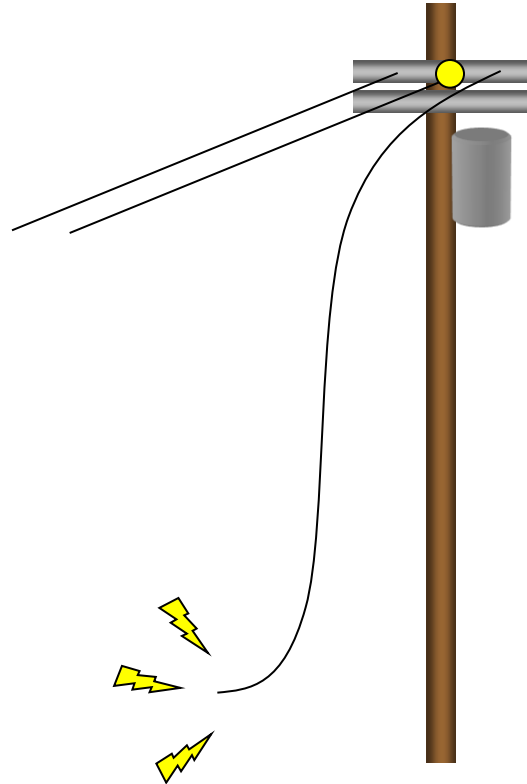
Cette condition est appelée « Îlotage non intentionnel » ou « Îlotage ».

Situation d'îlotage non intentionnel

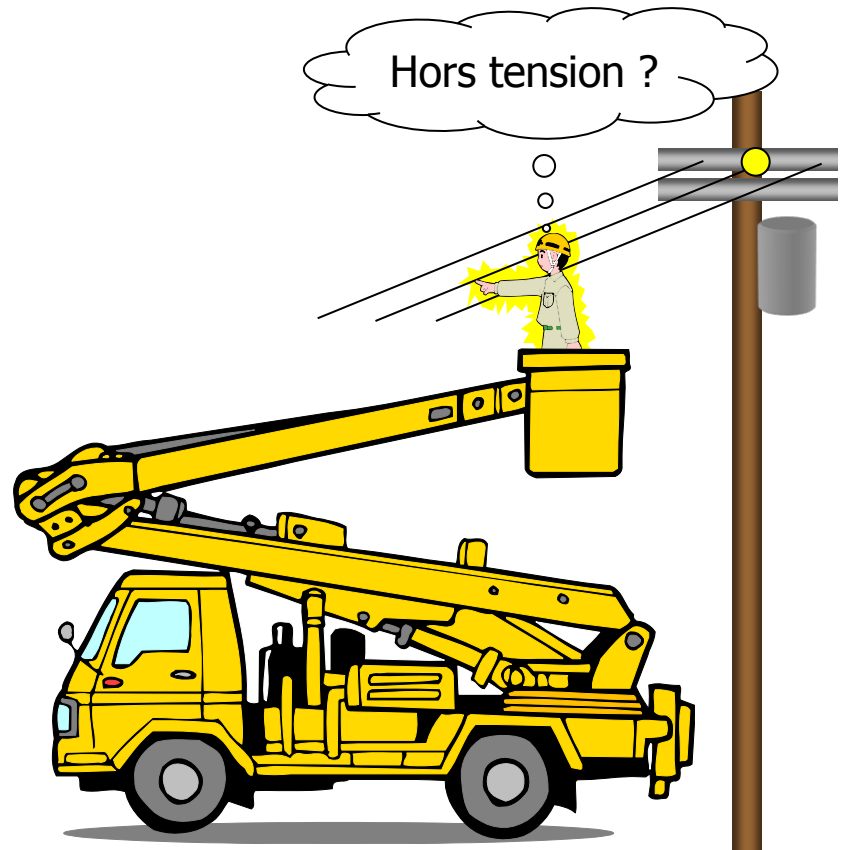


Le risque principal est le risque d'électrisation ou d'électrocution des tiers suite au maintien de l'alimentation du réseau en défaut : fil à terre par exemple. Or les risques pour le corps humain apparaissent avec des courants très faibles (qqq 10 mA).

En plus de blessures corporelles pour les employés et le public, un îlotage qui maintiendrait des tensions et fréquences anormales, pourrait endommager des appareils des utilisateurs.



Situation d'îlotage non intentionnel

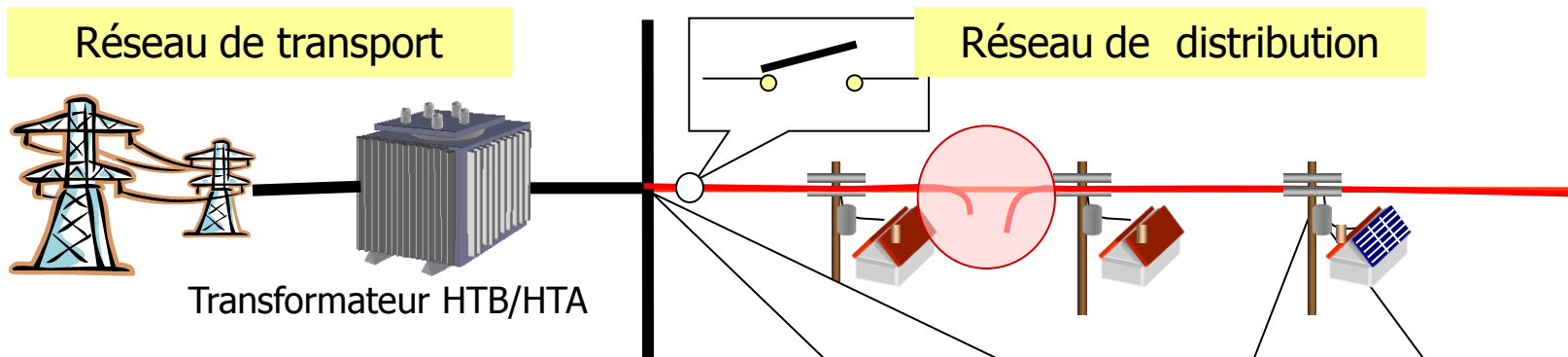


Un autre risque de l'îlotage concerne le personnel des opérateurs de réseau qui doivent réparer les lignes de distribution.

Avant de travailler sur une ligne, les procédures doivent permettre de s'assurer que les lignes sont déconnectées du réseau principal et de toute source d'alimentation et donc qu'elles ne sont plus sous tension.

Cette vérification devient compliquée en présence de nombreuses installations de production connectées au réseau

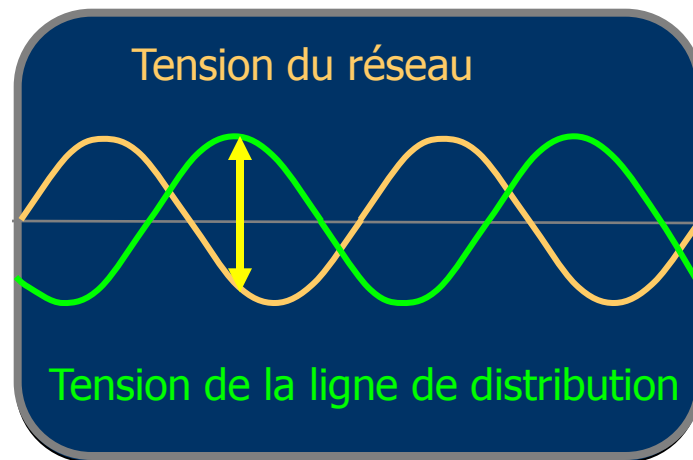
Situation d'îlotage non intentionnel



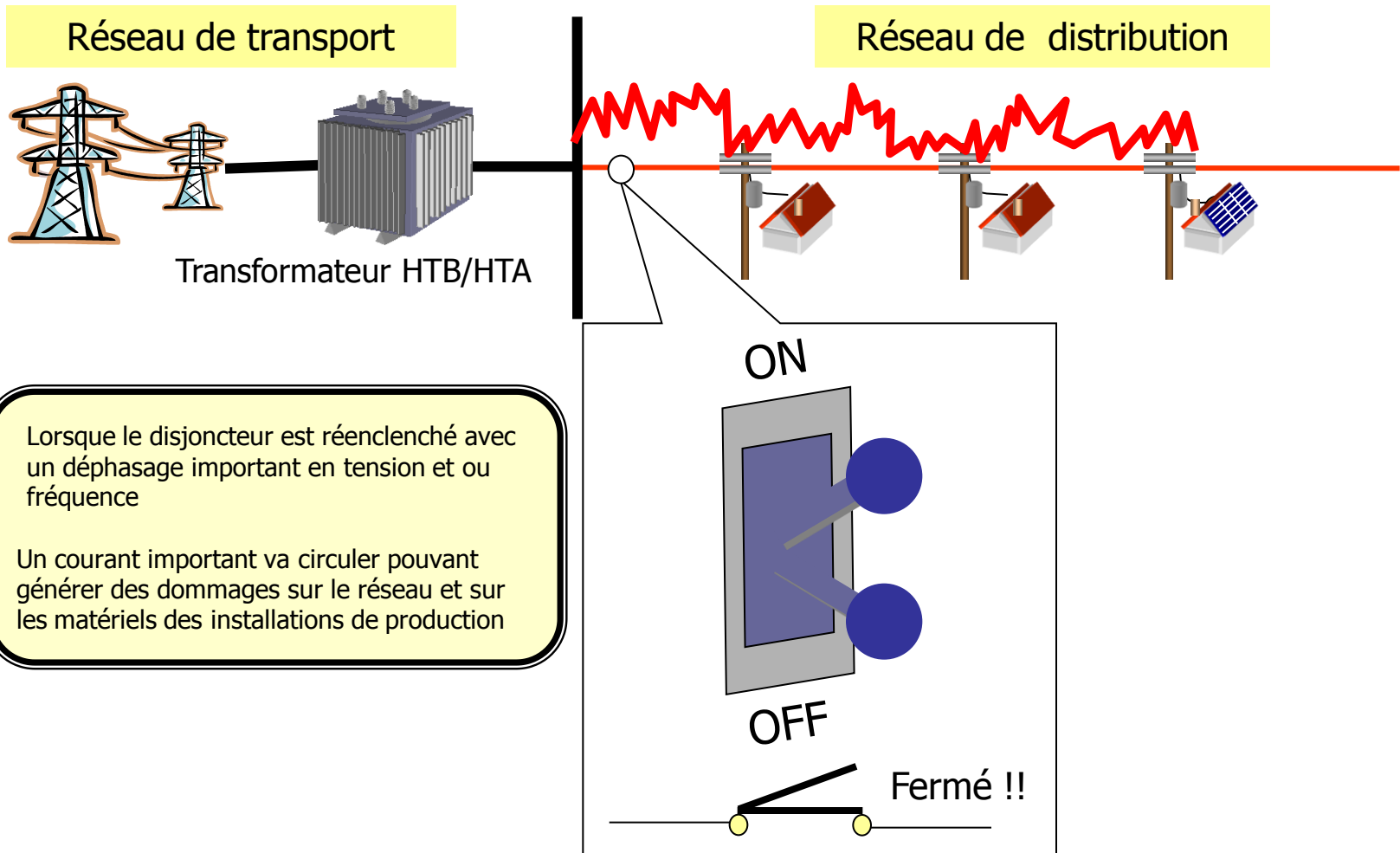
Un autre problème de l'îlotage est le « risque de surintensité » lors du processus de réenclenchement des disjoncteurs

Le réseau principal et la ligne de distribution fonctionnant de manière indépendante durant l'îlotage, les tensions ne sont pas synchronisées et pourraient être déphasées

Tension



Situation d'îlotage non intentionnel



Situation d'îlotage non intentionnel

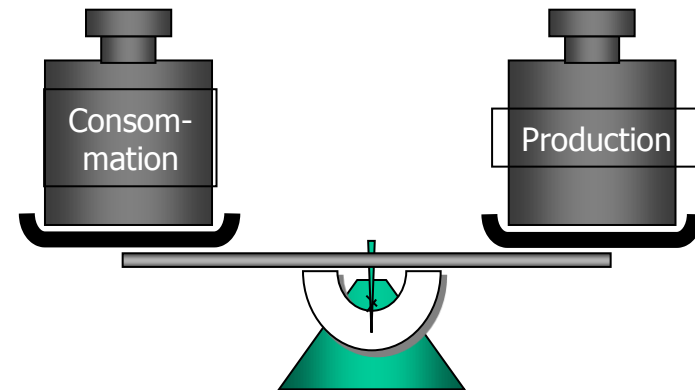
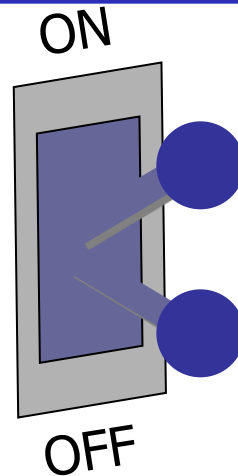
Conditions du fonctionnement de l'îlotage

Quelles conditions peuvent provoquer un îlotage non intentionnel ?

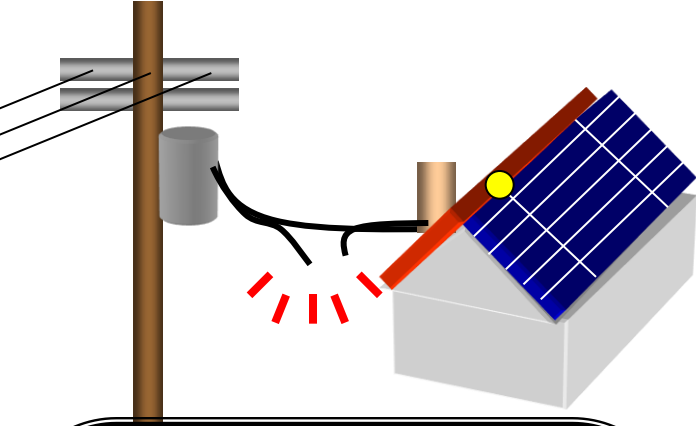
Le fonctionnement en îlotage est seulement possible lorsque les deux conditions suivantes surviennent simultanément :

1. L'alimentation électrique du réseau principal est coupée pour une raison ou une autre
2. La puissance produite par les systèmes PV s'équilibre accidentellement avec les charges

La probabilité de fonctionnement en îlotage stable est très faible



Protection de découplage



Pour se protéger du risque d'îlotage, les installations de production sont dotées de fonctions de protection de découplage du réseau

Bien qu'il existe de nombreux types de protections de découplage, les deux systèmes les plus communs sont les systèmes passifs et les systèmes actifs.

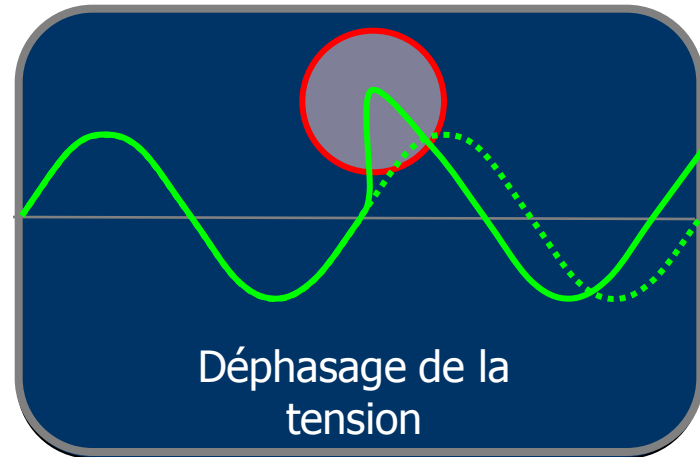
Le système passif détecte les anomalies dans les paramètres du réseau, comme la tension ou la fréquence, par du monitoring.

Le système déconnecte immédiatement la production PV lorsque les paramètres montrent une possibilité de fonctionnement en îlotage.



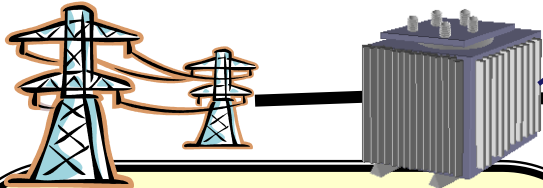
Onduleur avec protection de découplage intégrée

Tension



Protection de découplage

Réseau de transport



Dans la plupart des cas, l'îlotage peut être détecté et évité par ces dispositifs passifs ou actifs.

Toutefois plusieurs opérateurs de réseau en Europe ont été confrontés à des situations d'îlotage stable non décelées par les procédés actuels. Ces situations sont en cours d'analyse.

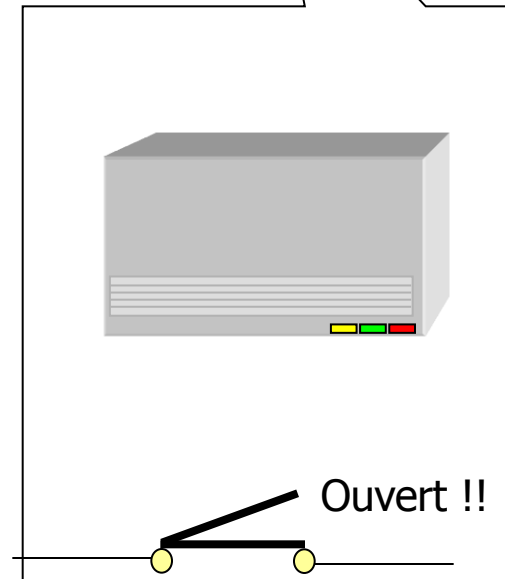
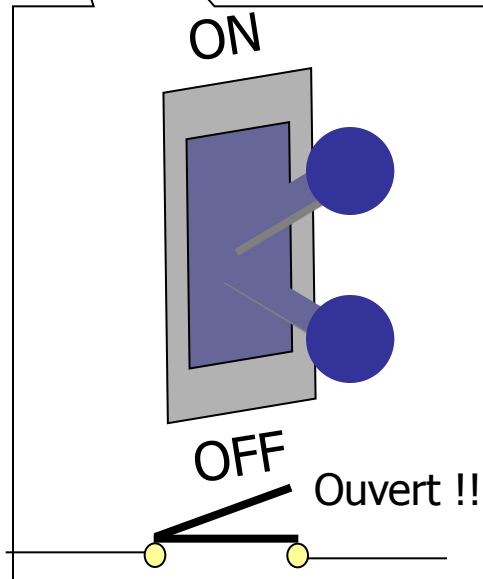
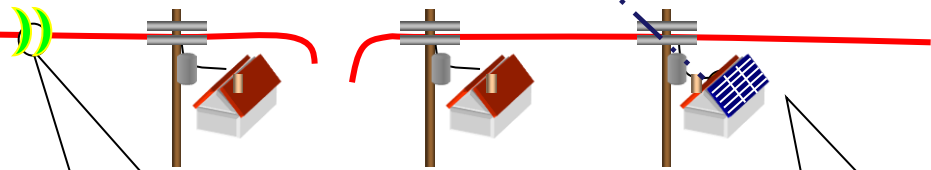
Un moyen infallible pour éviter ce risque est de rendre communicantes les protections du réseau et les protections d'îlotage des installations de production.

Lorsque la ligne de distribution est déconnectée du réseau principal,

le « télédéclenchement » transmet un signal directement aux systèmes PV via un réseau de communication et déconnecte immédiatement les systèmes PV.

Réseau de distribution

Moyen de communication



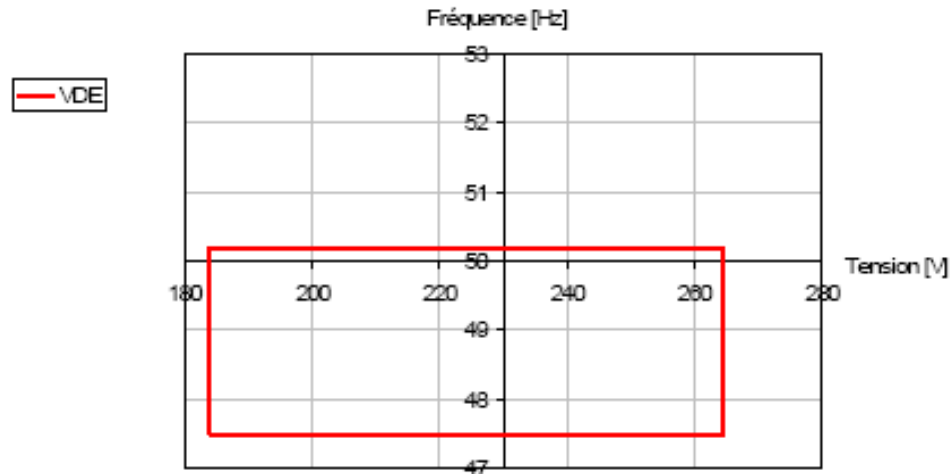
Protection de découplage

Les protections de découplage sont obligatoires pour les installations de production :

- Protection de découplage externe homologuées par ERDF type B ou H ou
- Protection de découplage intégrée aux onduleurs sous réserve de la conformité à la prénorme allemande VDE 0126-1-1

Paramètres contrôlés :

- Tension réseau : entre 80 et 115% de la tension nominale / si hors tolérance : déconnexion en moins de 0,2sec
- Fréquence : entre 47,5 à 50,2 Hz de la fréquence nominale / si hors tolérance : déconnexion en moins de 0,2sec
- Mesure d'impédance (si saut d'impédance $> 5\Omega$: déconnexion en moins de 5s)



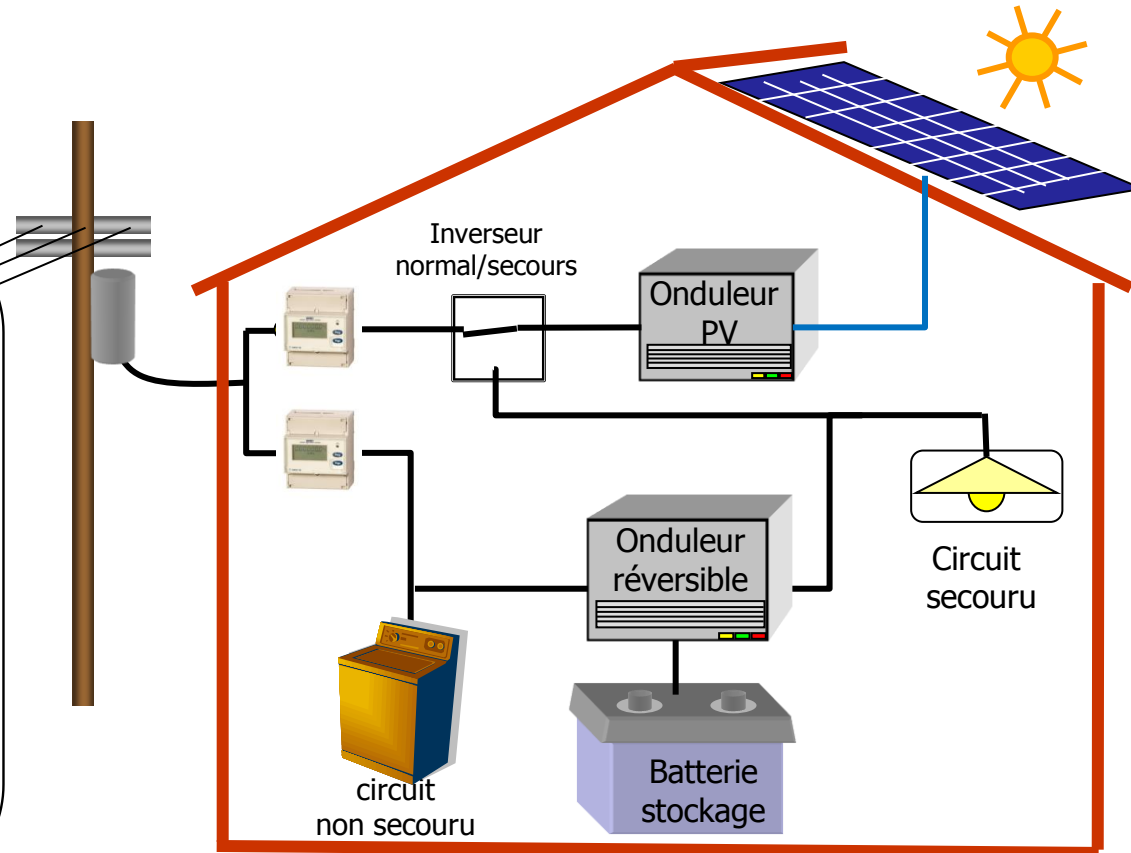
Photovoltaïque en mode secours

Sous réserve de disposer d'une installation particulière, une production sur site telle que le PV peut être utilisé comme source d'énergie de secours.

Cette possibilité est intéressante lorsque l'alimentation par le réseau est fréquemment perturbée notamment par des événements climatiques (cyclone ...). Le Japon installe des systèmes PV conçus pour produire de l'électricité même dans le cas de coupures du réseau.

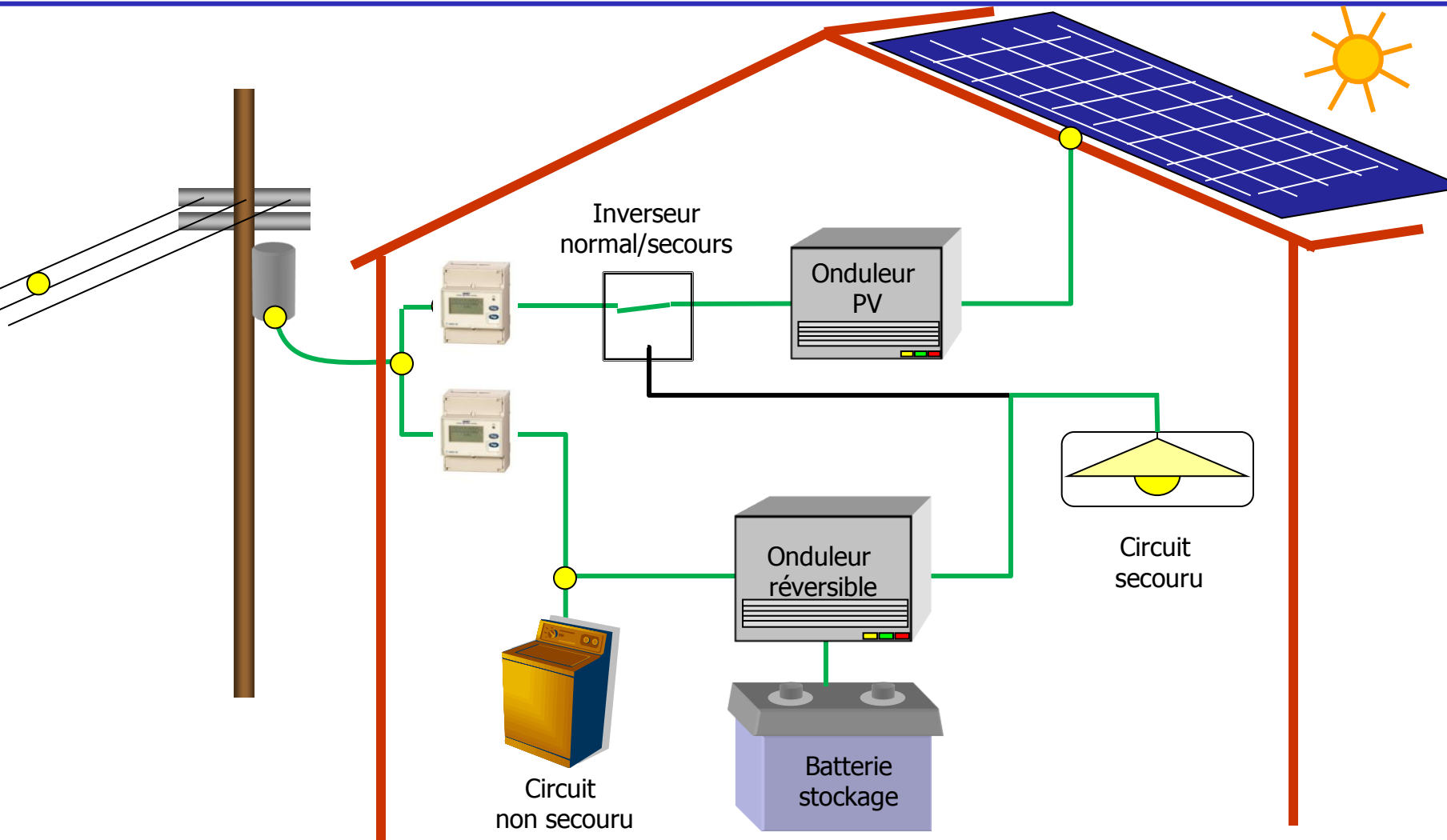
L'installation doit être homologuée afin de vérifier qu'en fonctionnement « connecté réseau », l'énergie injectée ne provient que des panneaux PV.

Ces installations plus coûteuses doivent faire l'objet d'une évaluation bénéfice /coût



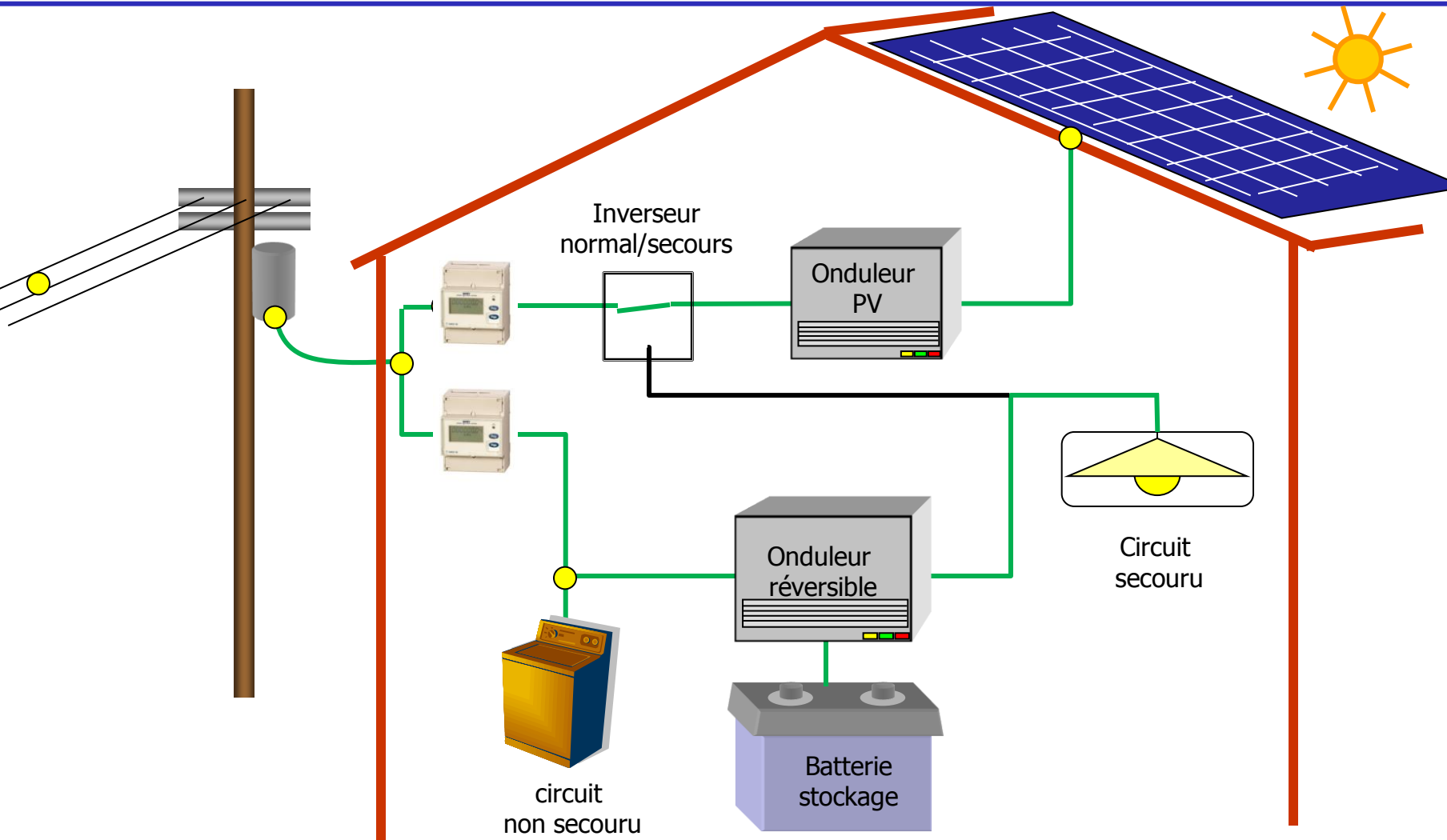
Photovoltaïque en mode secours

Fonctionnement en cas de présence tension réseau (production > consommation)



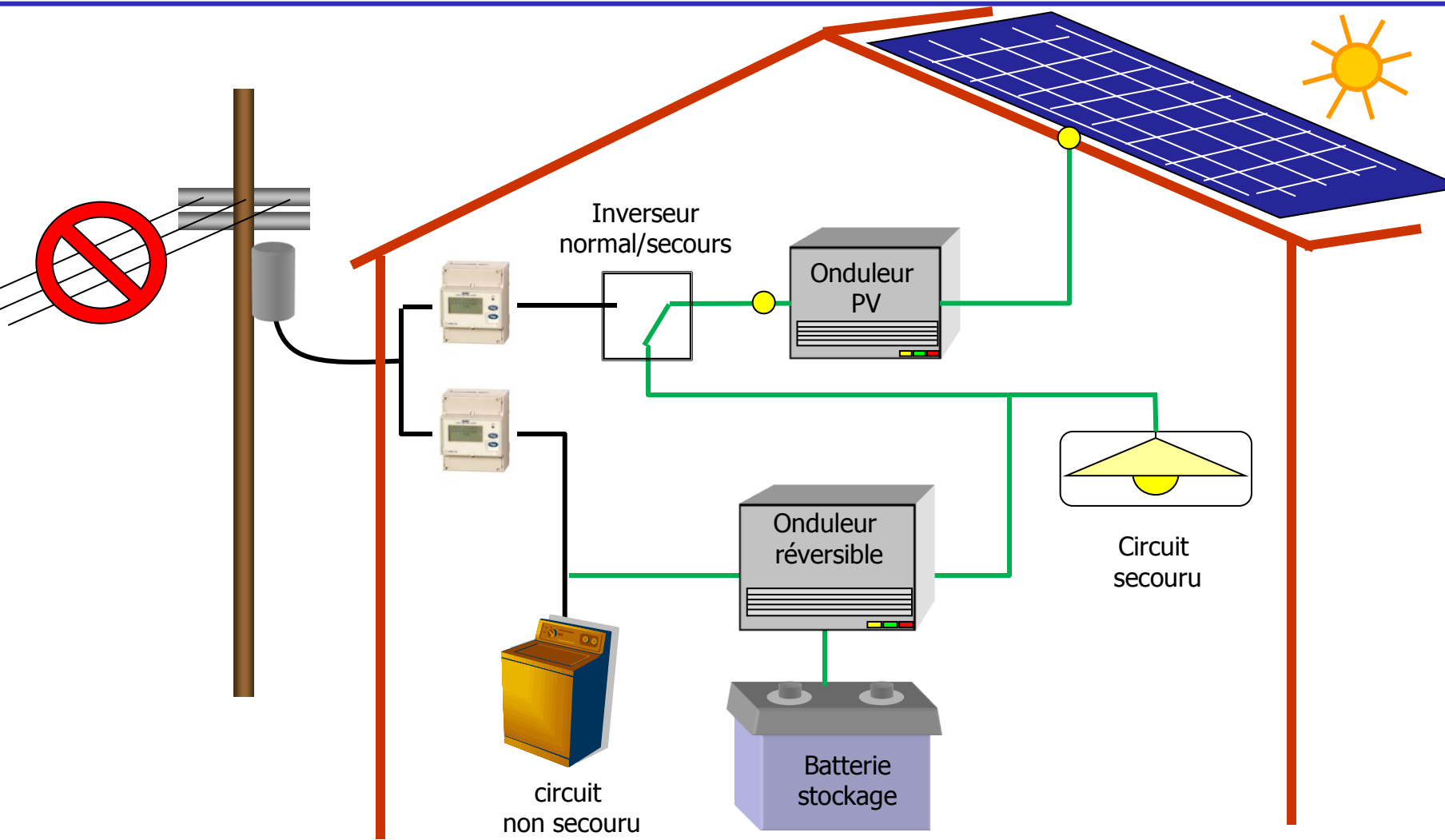
Photovoltaïque en mode secours

Fonctionnement en cas de présence tension réseau (production < consommation)



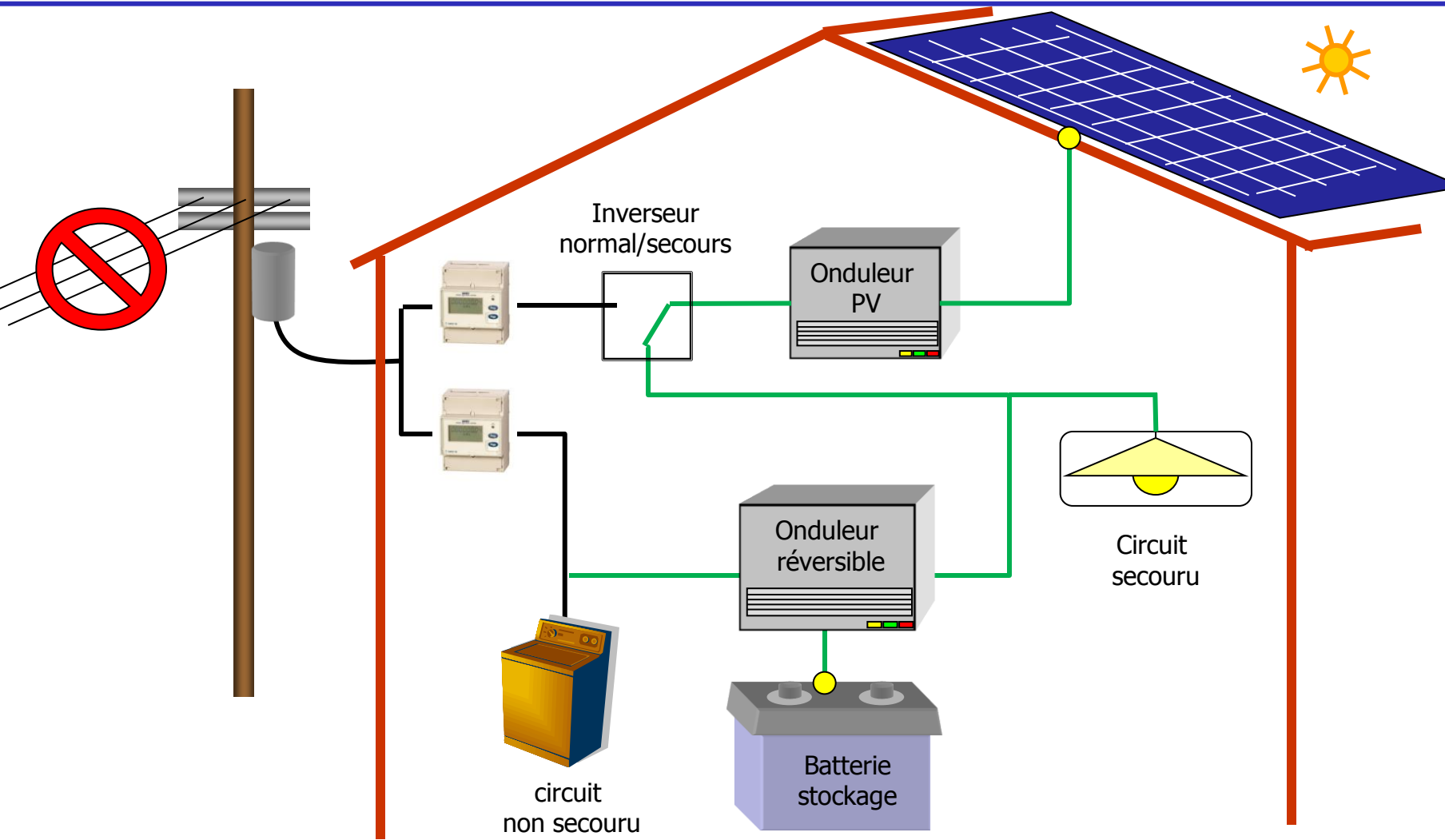
Photovoltaïque en mode secours

Fonctionnement en cas de coupure réseau (production > consommation)



Photovoltaïque en mode secours

Fonctionnement en cas de coupure réseau (production < consommation)

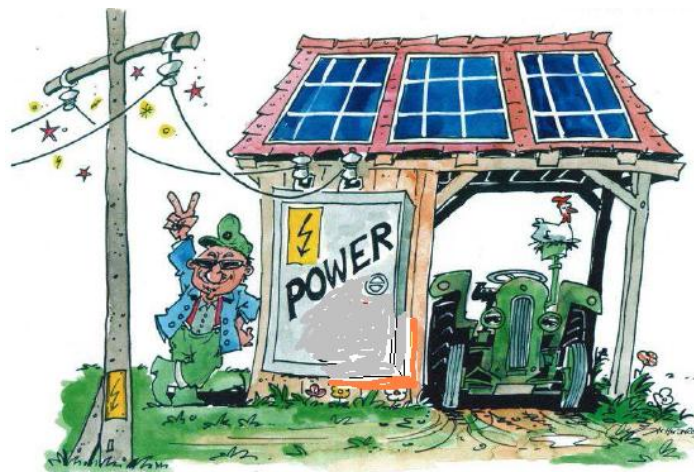


Conclusions

Les installations photovoltaïques sont amenées à se développer fortement dans les années à venir surtout avec le rapprochement du prix de l'électricité solaire et celui du prix de l'électricité en période de pointe.

Malgré l'intermittence de l'énergie solaire, les installations photovoltaïques peuvent contribuer positivement :

- au mix énergétique
- à la stabilité et au soutien du réseau électrique par :
 - absorption et fourniture de puissance réactive (régulation locale de tension)
 - gestion de la puissance fournie
 - réduction des pertes sur réseau
 - alimentation de secours en cas de défaillance du réseau



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Gérard MOINE

Directeur technique

