

Déjeuner veille « Réseaux et stockage »

Séance n °4 du 12 Octobre 2015

Pilotage : Nicole Mermilliod (CEA), Pascal Brault (CNRS), Nouredine Hadjsaid (CPU)

Réalisation : Nadège Dumarché (CEA), Cécile Diamantis (CEA)

Consortium de Valorisation Thématique ANCRE



Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

Dans le cadre du CVT Ancre, une action de veille stratégique a été lancée pour le GP10 « réseaux et stockage » dans le but de :

- comprendre et optimiser la complémentarité ou les synergies entre les différents instituts français de l'alliance Ancre effectuant de la R&D sur le sujet ;
- analyser les initiatives / dynamiques / forces en présence industrielles et académiques au niveau international pour mieux se positionner par rapport à celles-ci au niveau national ;
- donner l'occasion au GP10 d'échanger autour de ces informations.

Suite aux séances organisées en 2013 et 2014, l'initiative a été reconduite sur 3 ans.



Un sujets focus



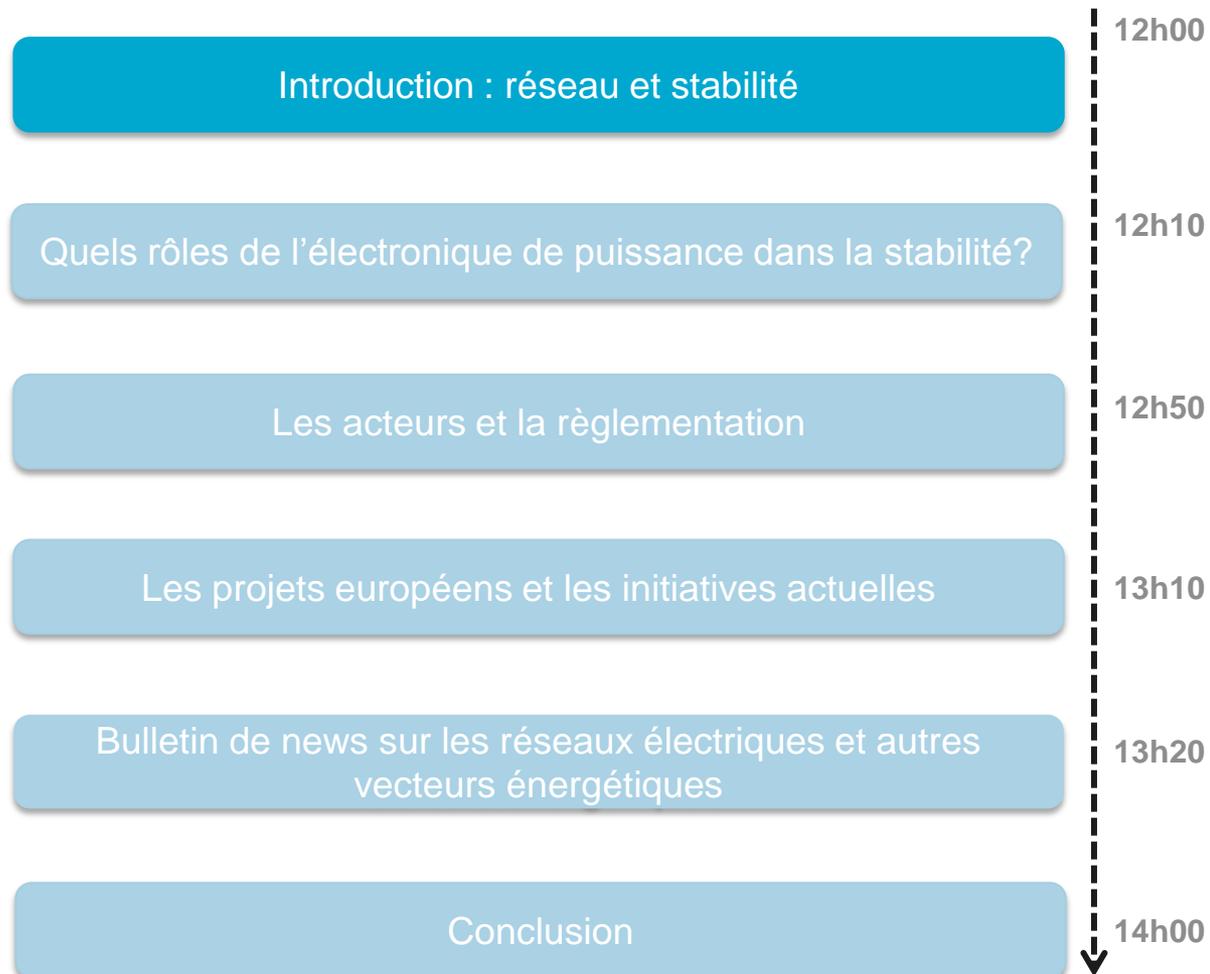
Un bulletin de news

Validé par les
leaders du GP

Comme convenu avec les leaders du GP, nous traiterons de la stabilité du réseaux et de l'électronique de puissance :

1. Quels acteurs?
2. Quelles technologies?

AGENDA



- Le gestionnaire du réseau doit en permanence assurer la stabilité du réseau:
 - L'équilibre des puissances entre la production et la demande (consommation)
 - La stabilité de la fréquence
 - La stabilité de la tension
- Les deux premiers points sont assurés grâce au contrôle de la puissance active à l'échelle globale. La stabilité de la tension est assurée par le contrôle de la puissance réactive à l'échelle locale.

A tout instant l'équilibre entre production et consommation sur le réseau électrique doit être respecté.

Production = **Consommation**

Un déséquilibre entre production et consommation entraîne des problèmes opérationnels (risque de blackout).

Equilibre des puissances actives et stabilité de la fréquence

- Différents outils permettent aux gestionnaires de réseaux (transport et distribution) d'assurer l'équilibre:
 - **Les responsables d'équilibre** : les producteurs et les gros consommateurs s'engagent à présenter chaque jour un bilan à l'équilibre à RTE par pas de temps de 30 minutes afin que production + achat = consommation + vente
 - **Les « services systèmes » (SS), constitués des réserves primaire et secondaire : maintien de la fréquence et de la tension via les unités de production** (>40MW pour les nouveaux groupes de production et >120 MW pour la réserve primaire; >120MW pour la réserve secondaire). Ces services sont fournis par les producteurs sur la base de contrats avec RTE précisant le volume de la réserve et son prix d'achat.
 - **Le « Mécanisme d'ajustement » (MA) ou réserve tertiaire** : participe au réglage après rupture.
 - **Black Start**
- La stabilité en fréquence est réalisée par le contrôle de la **puissance active à l'échelle globale** (niveau national et européen).

Stabilité de la tension

- Ce sont principalement des technologies à base d'électronique de puissance qui sont utilisées.
- La stabilité de la tension est assurée par le contrôle de la **puissance réactive à l'échelle locale, là où se trouve la contrainte.**

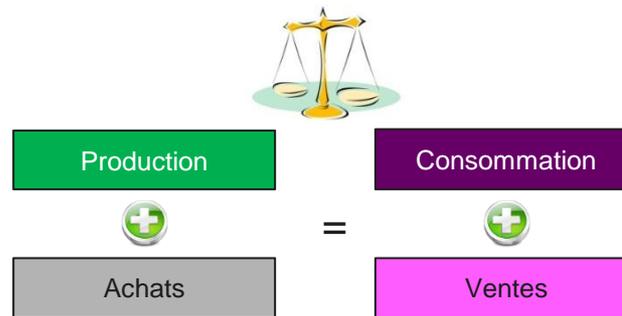
Source : http://www.elia.be/fr/produits-et-services/~/_media/files/Elia/Products-and-services/ProductSheets/S-Ondersteuning-net/S6_F_TENSION.pdf
SmartGrid-CRE

Réseau et stabilité

Rôle du responsable d'équilibre

- Les acteurs intervenant sur le marché de l'électricité (principalement les producteurs et les gros consommateurs) ont le rôle de « Responsable d'Equilibre* ».

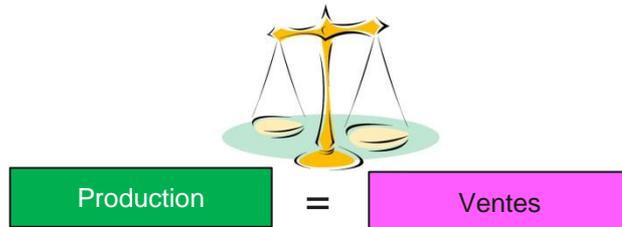
Ces acteurs s'engagent à présenter chaque jour un bilan à l'équilibre à RTE par pas de temps de 30 minutes afin que :



Exemple n°1 :

Un petit producteur d'électricité tradant son électricité sur le marché.

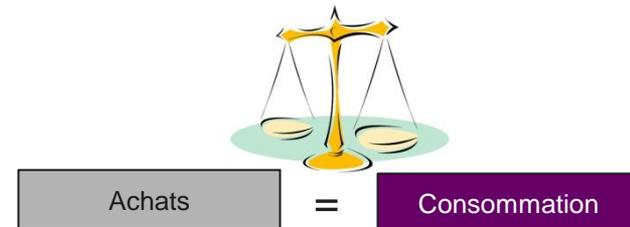
Présenter un bilan à l'équilibre revient à montrer qu'il a bien vendu toute sa production.



Exemple n°2 :

Un gros consommateur industriel achetant son électricité sur le marché.

Présenter un bilan à l'équilibre revient à montrer qu'il a acheté suffisamment pour couvrir sa consommation.



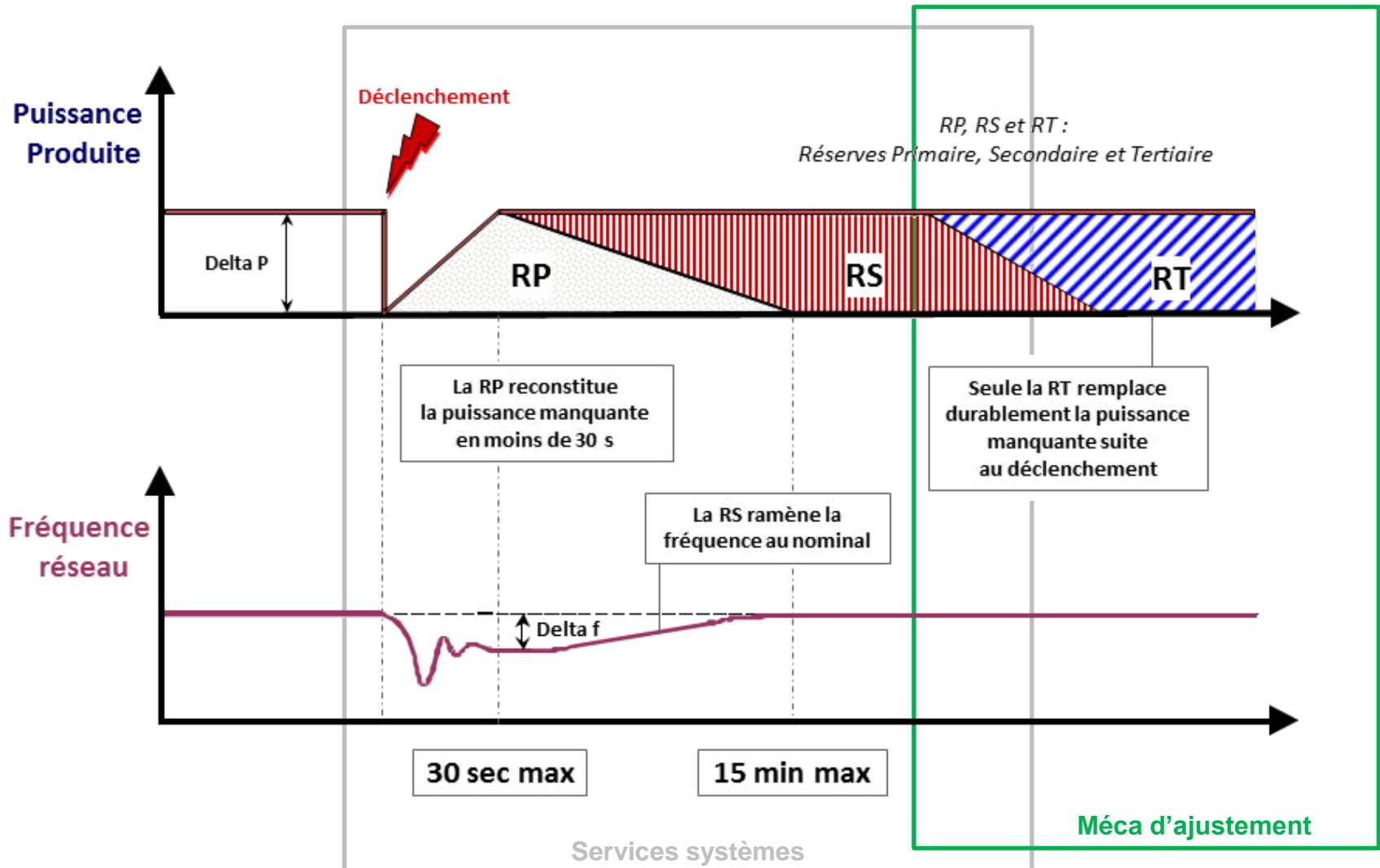
* Définition du « Responsable d'Equilibre » d'après RTE :

Personne morale ayant signé avec RTE un contrat de responsable d'équilibre, en application duquel les signataires s'obligent l'un envers l'autre à compenser financièrement les Ecarts constatés a posteriori dans le Périmètre d'Equilibre. Les Ecarts négatifs doivent être compensés financièrement par le responsable d'équilibre à RTE et les Ecarts positifs doivent être compensés financièrement par RTE au responsable d'équilibre.

Réseau et stabilité

Services systèmes et mécanisme d'ajustement (1/2)

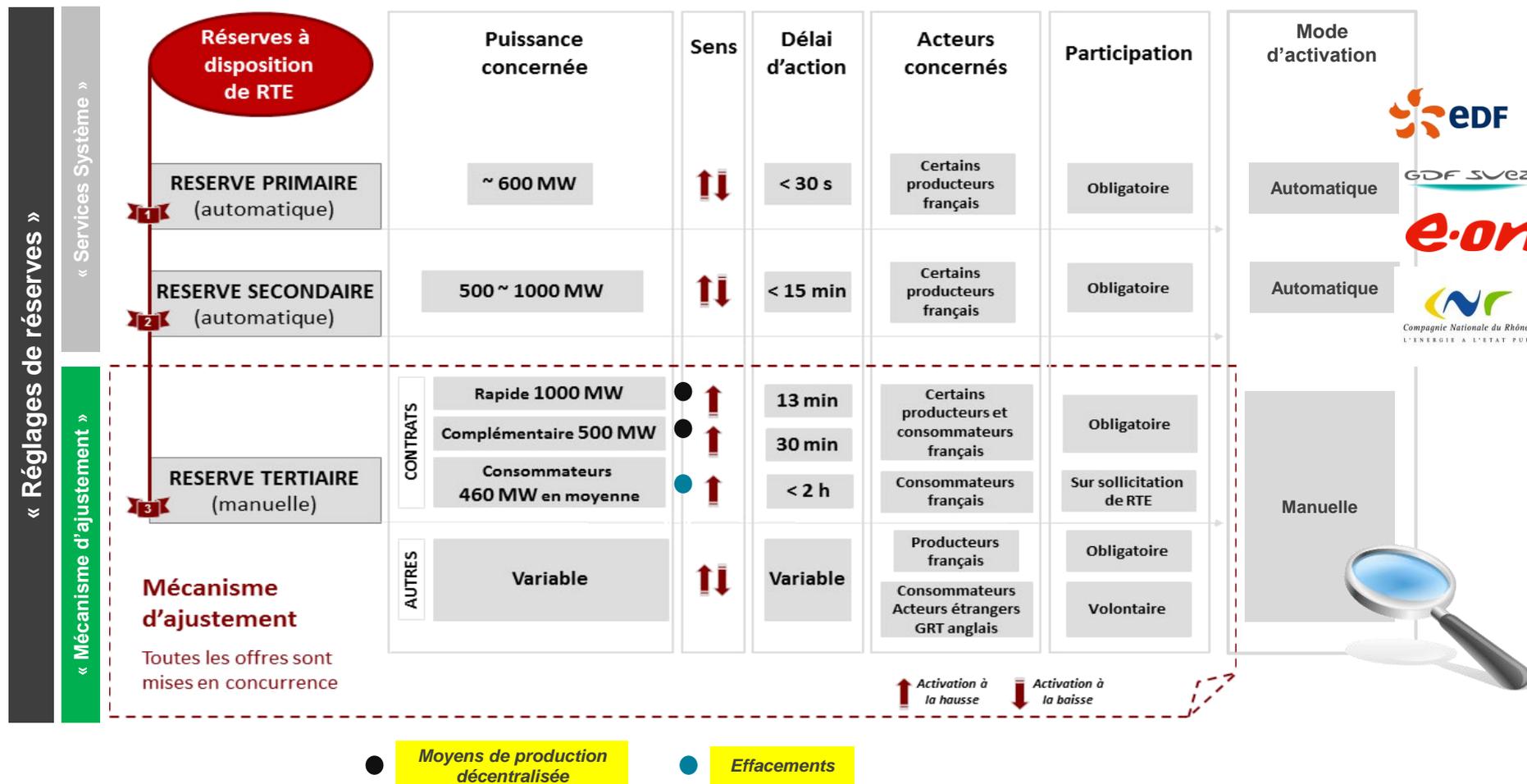
- Les trois réserves s'actionnent les unes après les autres. RP et RS pallient à la rupture d'équilibre en moins de 15 minutes et RT permet de remplacer la puissance manquante



Réseau et stabilité

Services systèmes et mécanisme d'ajustement (2/2)

➤ L'ensemble de ses trois types de réserves forme le « Marché de réserve » qui comprend des « Réserves de production » (augmentation de la production ou ralentissement) ainsi que des « Mécanismes d'ajustement » pour palier rapidement et durablement à une rupture d'équilibre



Source : CRE

- Que ce soit sur les réseaux de distribution ou de transport, la tenue de la tension permet d'optimiser leur fonctionnement et donc de réduire les coûts de maintenance et les coûts d'exploitation.
- Il est de la responsabilité des gestionnaires de réseaux publics de garantir un certain niveau de qualité de l'électricité.

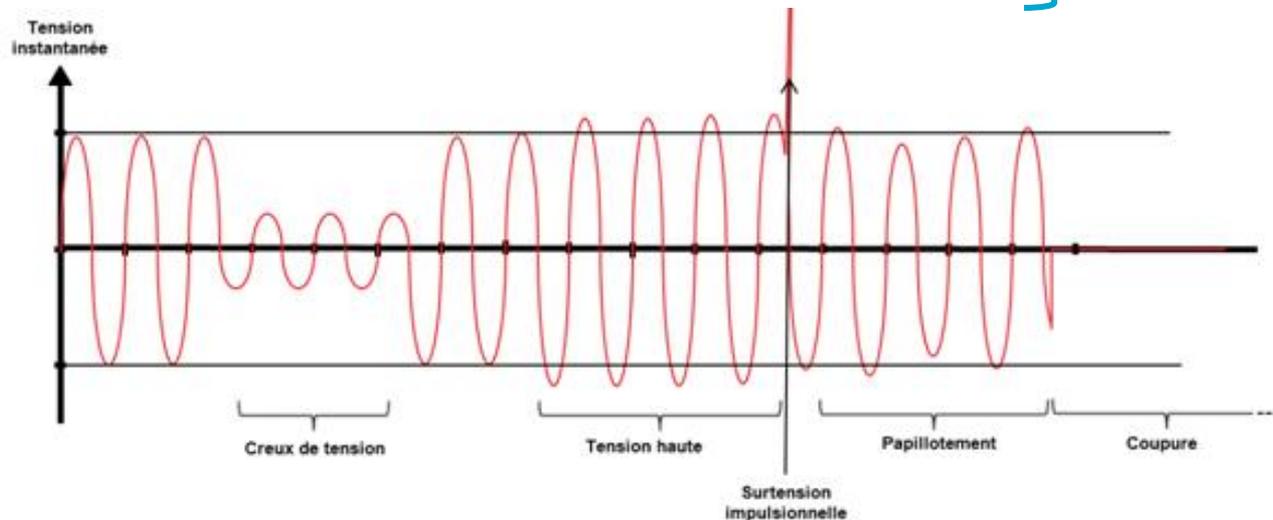
- **La qualité de l'électricité recouvre trois notions:**

- La continuité d'alimentation : coupures, interruptions.
- La qualité de l'onde de tension: perturbation liées à la forme de l'onde de tension délivrée par le réseau.
 - Une surtension est susceptible d'altérer le fonctionnement des appareils électriques raccordés au réseau, voire de les endommager.
 - Une sous-tension oblige une augmentation du courant transitant pour maintenir la puissance constante et peuvent mener à un écroulement du réseau
- La qualité de service: relation entre un utilisateur et son gestionnaire de réseau, ainsi qu'éventuellement son fournisseur.

- **Les écarts de tension dépendent**

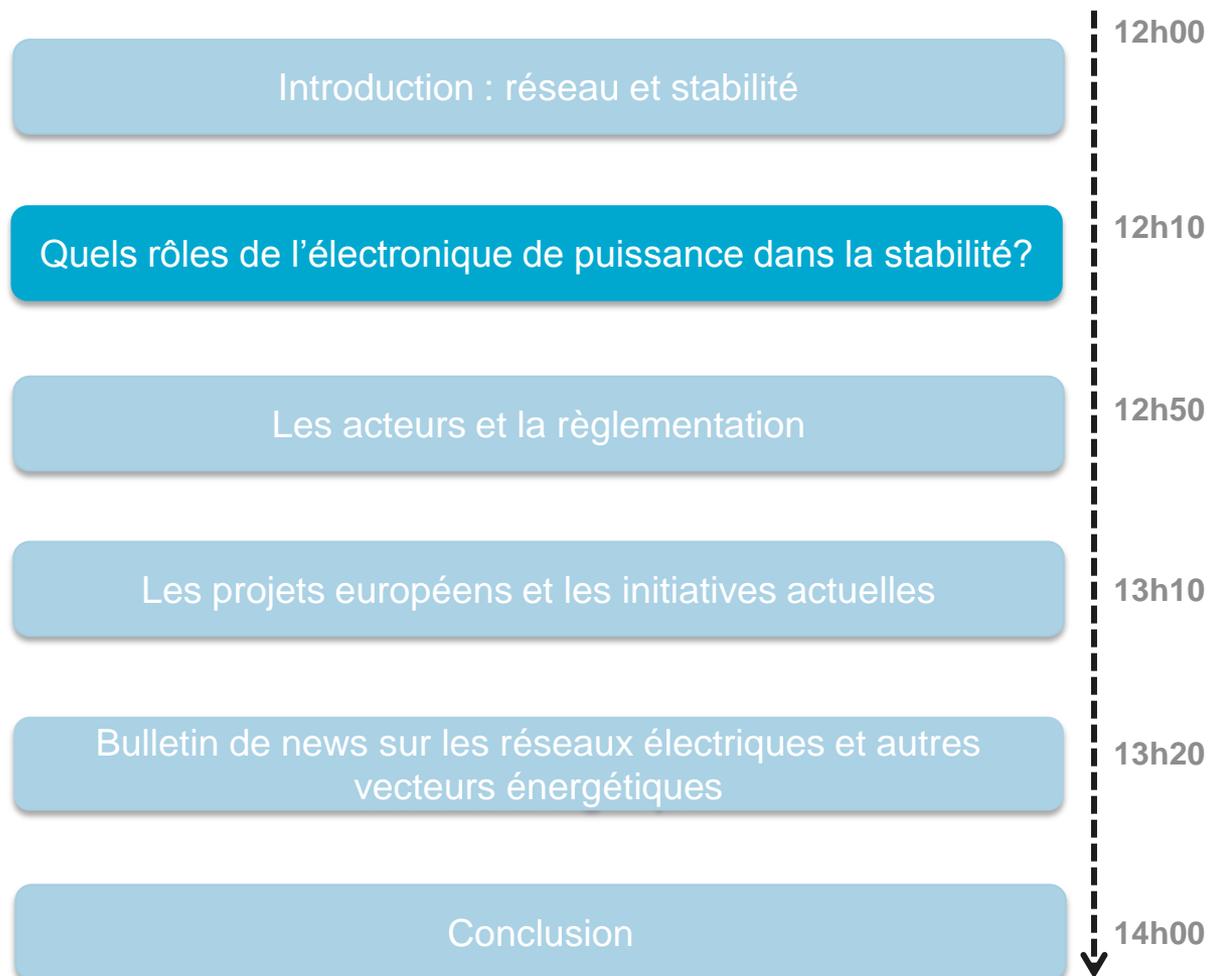
- des transits d'énergie active et réactive dans chaque élément du réseau,
- des moyens de réglage de la tension qui permettent de compenser certains écarts.
- des caractéristiques physiques des réseaux (longueur, section, matériaux)

Intervention de l'électronique de puissance



L'onde de tension délivrée par le système électrique prend idéalement la forme d'une sinusoïde de fréquence constante (50Hz) et d'amplitude constante (230V en monophasé, 400 V en triphasé) pour la valeur efficace en basse tension par exemple.

AGENDA



Quels rôles de l'électronique de puissance dans la stabilité?

- Dans le réseau de transport
- Dans le réseau de distribution

12h00

12h10

12h50

13h10

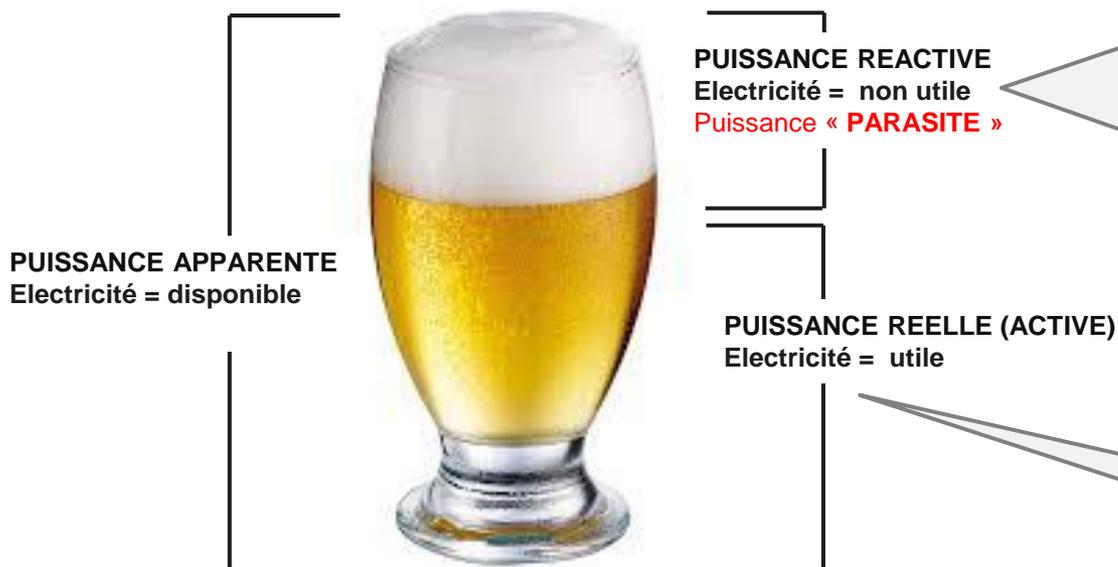
13h20

14h00

La stabilité du réseau

Le rôle de la puissance active et réactive

- La stabilité du réseau électrique alternatif est directement liée au flux de puissances active et réactive. La puissance active est dite « utile », tandis que la puissance réactive est plutôt vue comme « parasite ». Les deux puissances sont transportées par le réseau.



La **puissance réactive** est produite par les éléments capacitifs du réseau (ex: câbles électriques) et est consommée par les éléments inductifs (lignes haute tension, lampes fluorescentes..). Elle n'est pas **transformable**, contrairement à la puissance active.

Le transport de la puissance réactive est source de :

- Pertes
- Diminution de la stabilité du réseau
- Chutes de tension à ses extrémités
- Diminution de la capacité du réseau

La **puissance active** est produite par les producteurs d'énergie et est utilisée pour générer un travail (ex: moteur) ou de la chaleur.

$$\text{Le facteur de puissance} = \frac{\text{puissance réelle (active)}}{\text{puissance apparente}}$$

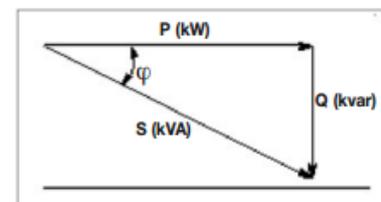


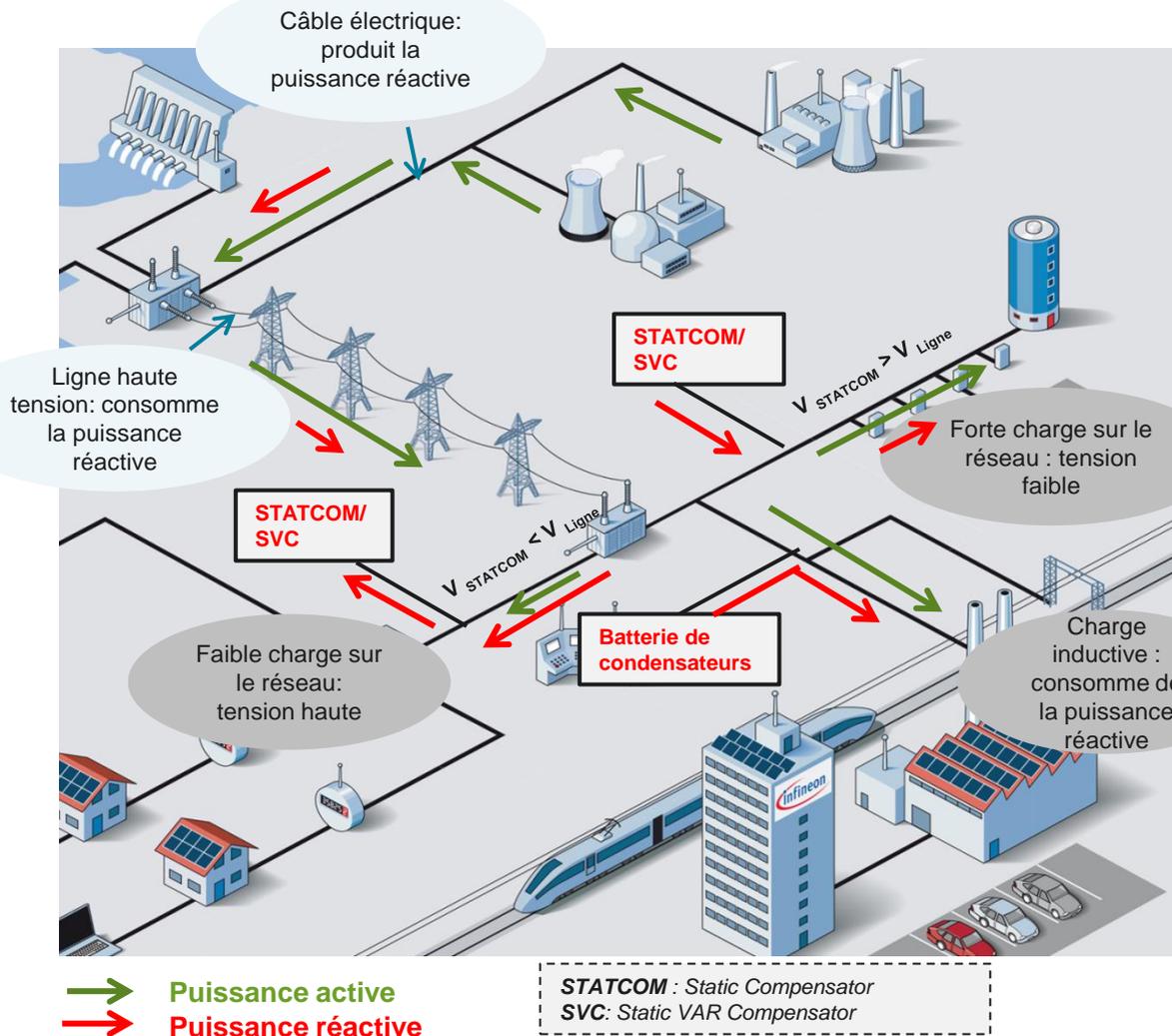
Figure 2 • Composition vectorielle des puissances

- En régime sinusoïdal, la puissance réactive est la partie imaginaire de la puissance apparente complexe. La valeur du cosinus du déphasage correspond au facteur de puissance.

Le contrôle de la tension du réseau de transport

Le rôle des FACTS

- Plus la tension est élevée, plus le caractère réactif (capacitif ou inductif) de la ligne est fort. De ce fait, dans les lignes à moyenne et particulièrement à haute tension, les profils de tension sont plus affectés par le flux de la puissance réactive qui doit donc être compensée (produite ou absorbée). C'est le rôle des FACTS.



Les **FACTS** (Flexible AC Transmission System) sont des équipements d'électronique de puissance d'appoint utilisés:

- pour contrôler la tension en un point (régime stationnaire)
- Assurer la stabilité dynamique des réseaux de transmission d'électricité
- Ils peuvent également filtrer certaines harmoniques et donc améliorer la qualité de l'électricité.

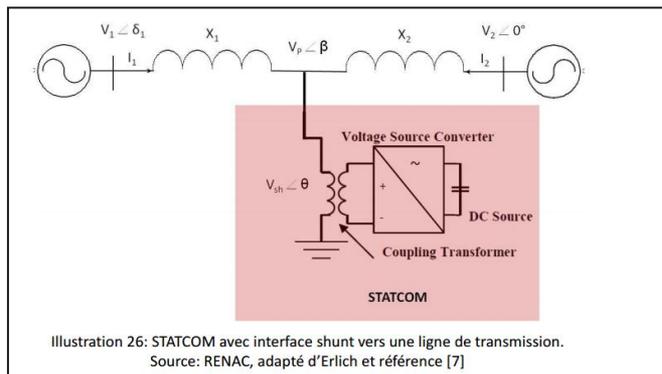
Ils **compensent** la puissance réactive selon les besoins.

Le contrôle de la tension du réseau de transport

Exemple de dispositif de compensation shunt : le STATCOM

- Le STATCOM (Static Compensator Static VAR generator) est un dispositif FACTS très habituel principalement utilisé pour la compensation dynamique des réseaux, afin de faciliter la tenue en tension, d'accroître la stabilité en régime transitoire et d'amortir les oscillations de puissance. Il se comporte comme une source de tension et injecte ou absorbe de la puissance réactive.

Paramètre	Échange de puissance	comportement	Bénéfice
$V_{\text{STATCOM}} > V_{\text{Ligne}}$	Puissance réactive envoyée vers la ligne	Capacitif	Contrôle de la tension en régime stationnaire
$V_{\text{STATCOM}} < V_{\text{Ligne}}$	Puissance réactive consommée par le STATCOM	Inductif	Contrôle de la tension en régime stationnaire
Angle de transport $\text{STATCOM} > \text{Angle de transport}_{\text{Ligne}}$	Puissance active envoyée vers la ligne		Stabilité dynamique
Angle de transport $\text{STATCOM} < \text{Angle de transport}_{\text{Ligne}}$	Puissance active consommée par le STATCOM		Stabilité dynamique



Le contrôle de la tension du réseau de distribution

La problématique actuelle

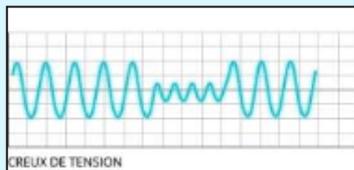
- Le réglage de tension actuellement en place sur les réseaux de distribution a été conçu initialement pour des réseaux sans production décentralisée et est géré par des transformateurs régleurs en charge (On-Load Tap changers) et des bancs de capacité.
- L'introduction d'unités de production décentralisées crée des perturbation sur le réseau de distribution qui menacent sa stabilité.

Source irrégulière difficile à gérer.

La nature intermittente de l'énergie renouvelable rend difficile la prévision à chaque instant de la production disponible du réseau pour le gestionnaire.

Instabilité accrue du réseau en cas

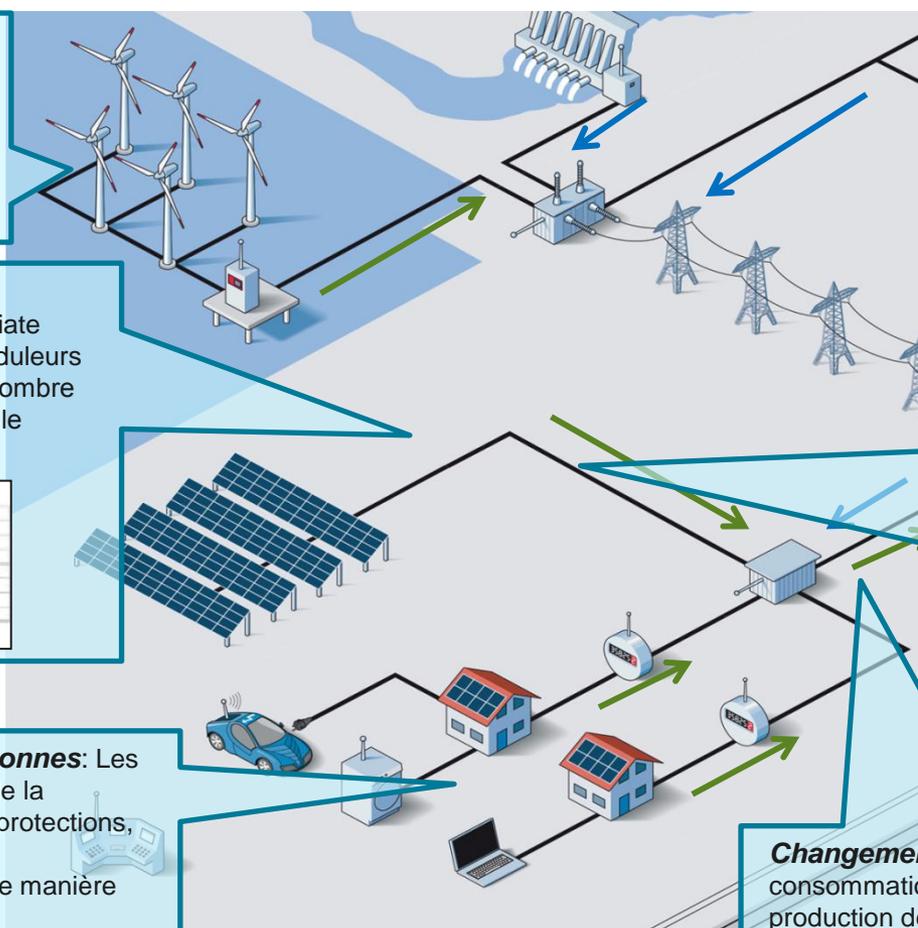
perturbation*: la déconnexion immédiate (imposée par la réglementation) des onduleurs peut entraîner l'arrêt brutal d'un grand nombre d'unités de production et rendre difficile le contrôle du réseau.



Risques pour les biens et les personnes: Les productions décentralisées apportent de la puissance de court-circuit en aval des protections, ce qui a pour effets potentiels de les aveugler ou de les déclencher de manière intempestive.

Perturbation*: chute de tension supérieur à 20% ou déviation significative de la fréquence

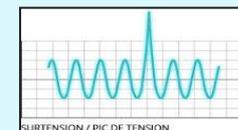
Source : « Réglage de la tension dans les réseaux de distribution du futur » Boris Berseneff 2010



➔ Puissance active conventionnelle

➔ Puissance active décentralisée

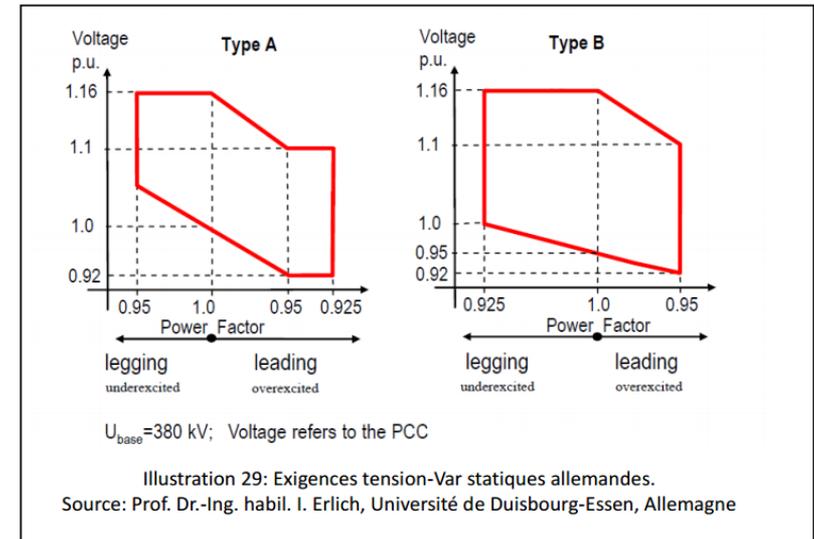
Hausse de tension: L'ajout d'unités de production décentralisées de puissance active provoque l'apparition localisée de surtensions qui ne sont pas vues par les transformateurs régleurs en charge.



Changement de flux: Lorsque la consommation sur le réseau est inférieure à la production décentralisée, des transits de puissance active circulent depuis le réseau de distribution vers le réseau de transport.

- Pour contribuer à la stabilité du réseau de distribution, depuis 2010 en Allemagne (et 2008 en France), les exploitants de réseaux peuvent demander aux nouvelles installations l'injection de puissance réactive (inductive ou capacitive) avec un facteur de puissance de 0,95 pour réguler la tension statique.

- L'injection de puissance réactive (capacitive ou inductive) a pour effet d'accroître ou de réduire la tension dans le réseau.
- Les nouvelles installations raccordées au réseau doivent être capables de produire de la puissance réactive en plus de la puissance active afin de participer au soutien statique de la tension du réseau.
- Cette production de puissance réactive est réglée à partir de consignes fixes et de la tension mesurée sur le réseau.



Plus le facteur de puissance est petit, plus la puissance réactive est importante:
si le facteur de puissance = 1, la puissance apparente = la puissance active
si le facteur de puissance = 0, la puissance apparente = la puissance réactive

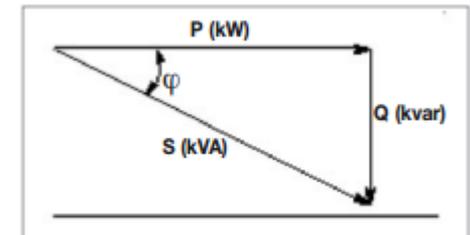


Figure 2 • Composition vectorielle des puissances

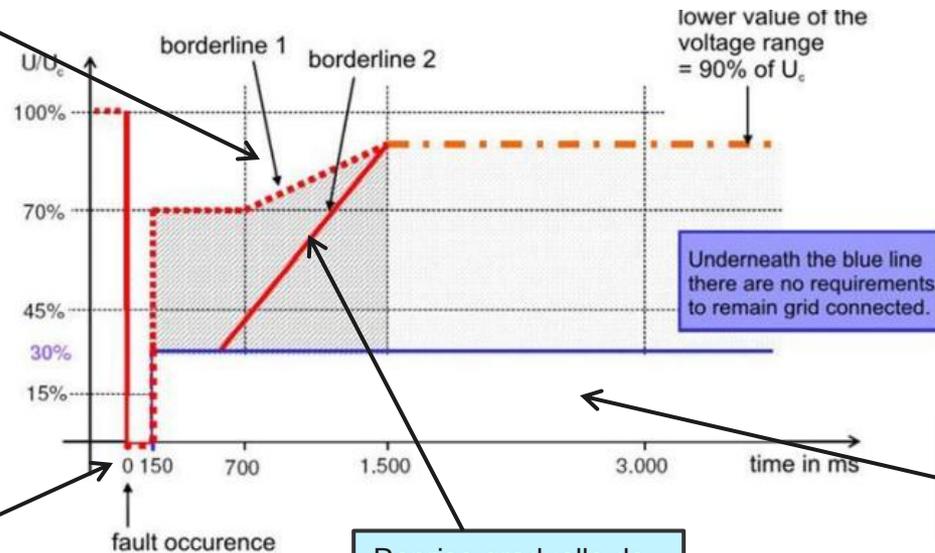
- De plus, les nouvelles exigences réglementaires allemandes imposent aux installation éoliennes et photovoltaïques (depuis 2011) de participer au soutien dynamique du réseau en cas de perturbation significative sur le réseau.

Principe du Low Voltage Ride Through (LVRT)

- Obligation de maintien de la connexion pendant 150 ms lors d'un creux de tension pour éviter des arrêts simultanés
- Reprise graduelle
- *Support dynamique total du réseau*: Maintien de la connexion et injection de puissance réactive lors du creux de tension
- *Support dynamique limité du réseau*: Maintien de la connexion uniquement.

Chute de tension de 30 %:
Déconnexion impossible

Maintien de l'alimentation en cas d'accident de tension – norme BDEW



Chute de tension de 100 % :
maintien de la connexion
pendants **150 ms**
Injection de puissance réactive
pour la protection des
composants

Reprise graduelle de
l'injection de
puissance active

Chute de tension de 70%:
pas d'obligation de rester
connecté

BDEW: Fédération du secteur de l'eau et de l'énergie Allemande

Source : http://www.renac.de/fileadmin/user_upload/Download/Projects/ReGrid/Webinar_Brochure/Frequenz_online_brochure_frz_final_2_.pdf
<https://www.pjm.com/~media/committees-groups/committees/pc/20140428-advance/20140428-item-04-sma-smart-inverter-grid-support-capabilities.ashx>

Le contrôle de la tension du réseau de distribution

Les FACTS spécifiques: Les D-STATCOM, D-SVC et D-VAR RT

- Pour répondre aux obligations de soutien statique (Volt-VAR management) et dynamique (LVRT) du réseau de distribution, les fabricants proposent de nouveaux systèmes FACTS adaptés: les D-STATCOM, D-SVC. Leurs fonctionnements sont proches des FACTS pour le réseau de transport mais ils incluent les fonctions de soutien dynamique du réseau (LVRT).
- Les fabricants proposent aussi un nouveau système FACTS dédié au soutien dynamique du réseau qui peut être associé aux solutions FACTS existantes en mode rétrofit: le D-VAR RT (Ride Through)

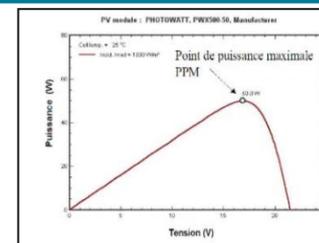
FACTS	Volt-VAR Management	LVRT	Réseau
STATCOM	X		Transport 
SVC	X		
D-STATCOM	X	X	Distribution 
D-SVC	X	X	
D-VAR RT		X	

Liste non exhaustive des fonctions proposées par les différents systèmes FACTS

- Les onduleurs des sources d'énergie renouvelable sont à l'origine utilisés pour convertir et acheminer l'électricité produite vers le réseau électrique.
- Cependant, leur capacité à contrôler leur production de puissance active et réactive leur permet de fournir les fonctions nécessaire au soutien statique et dynamique du réseau.
- L'intégration de ces nouvelles fonctions dans l'onduleur représente aussi un intérêt économique pour le producteur d'énergie qui n'a pas besoin d'avoir recours à un FACTS pour répondre à la réglementation.

Gestion de la puissance active

La réduction de la puissance active se fait en forçant le fonctionnement du point de puissance en dessous du point de puissance maximale.



Gestion de la puissance réactive

L'utilisation de la modulation à largeur d'impulsion (MLI*) pour la conversion DC/AC permet de régler le décalage de phase ϕ en contrôlant les commutateurs (S1 à S4) :
→ réglage de la quantité de puissance réactive consommée ou injectée.

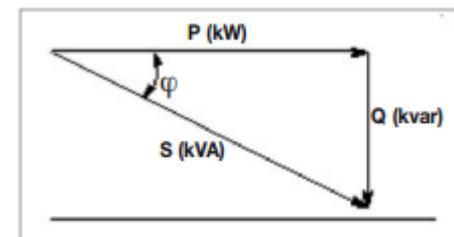
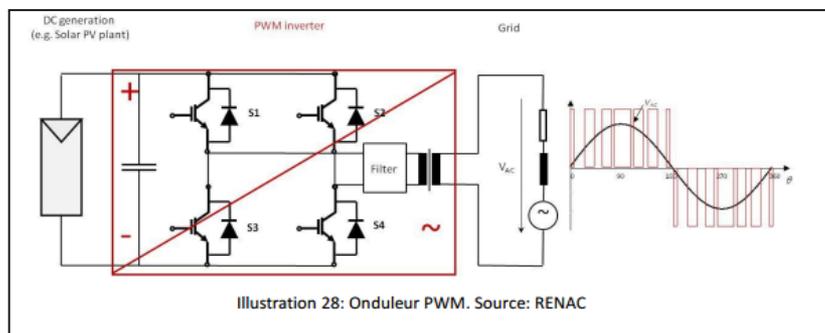


Figure 2 • Composition vectorielle des puissances

*MLI = PWM (Pulse width modulation)

Source : http://www.renac.de/fileadmin/user_upload/Download/Projects/ReGrid/Webinar_Brochure/Frequenz_online_brochure_frz_final_2_.pdf

Les FACTS sur le marché

Exemple du D-VAR RT de AMSC



- AMSC propose un système FACTS D-VAR RT qui intègre les fonctions de soutien dynamique au réseau (LVRT) imposées par la réglementation allemande.
- Cette solution s'adresse aux parcs d'éoliens déjà en place et évite le changement complet de l'onduleur déjà en place.



AMSC's D-VAR RT system helps new and existing turbines meet the latest regulatory requirements.

SPECIFICATIONS

Connection:	690 VAC
Frequency:	50Hz or 60 Hz
Continuous Rating:	750 kW , 628 A @ 690 VAC to 1500 kW, 1255 A @ 690 VAC Other power/current ratings available (Contact AMSC Sales)
Response Time:	20 ms standard Faster response times available
Low Voltage Ride Through Capability:	Voltage dips down to 20% remaining voltage Dip duration up to 3 seconds Balanced and unbalanced dips
Reactive Power Injection:	Up to nameplate rating (628 A for 750 kW version) Short-term injection during LVRT events is standard
Ambient Temperature:	-40°C to +40°C (wider ranges available)
Other:	Designed to meet even the most stringent LVRT requirements Simple, highly reliable design Easy installation

PRODUCT APPLICATIONS

LVRT and HVRT Retrofit	Wind parks, wind turbines
Reactive Current Injection	

Les onduleurs intelligents sur le marché

Exemple de l'onduleur photovoltaïque Sunny



- Les onduleurs intelligents existent déjà sur le marché et intègrent les fonctions avancées exigées par la norme allemande, qui est la plus contraignante. Selon les pays ciblés, ces fonctionnalités sont activées ou désactivées par software.
- Le constructeur SMA est un des leaders des onduleurs photovoltaïques, et sa gamme d'onduleurs Sunny intègre des fonctions « autonome » ainsi que des fonctions avancées « à la demande » pour une utilisation future de gestion centralisée.

SMA Smart Inverter Capabilities by Inverter

Applications		 Residential	 Commercial	 Utility	
Inverters		Sunny Boy TL-US	Sunny Tripower TL-US	Sunny Central CP-XT / CP-US	
Fonctions autonomes	Frequency-dependent power reduction	P(f)	Yes	Yes	
	Reactive power supply: Fixed	$\cos \varphi$	Yes	Yes	Yes
		Q	Yes	Yes	Yes
	Reactive power supply: Dynamic	$\cos \varphi (P)$	Yes	Yes	Yes
		Q(V)	Yes	Yes	Yes
	LVRT: Limited Dynamic Grid Support		Yes	Yes	Yes
	LVRT: Complete Dynamic Grid Support		No	Yes	Yes
	On-demand active power reduction		Yes	Yes	Yes
On-demand reactive power supply		Yes	Yes	Yes	
Fonctions communicantes					

Source : SMA Smart Inverter/ Grid Support Capabilities

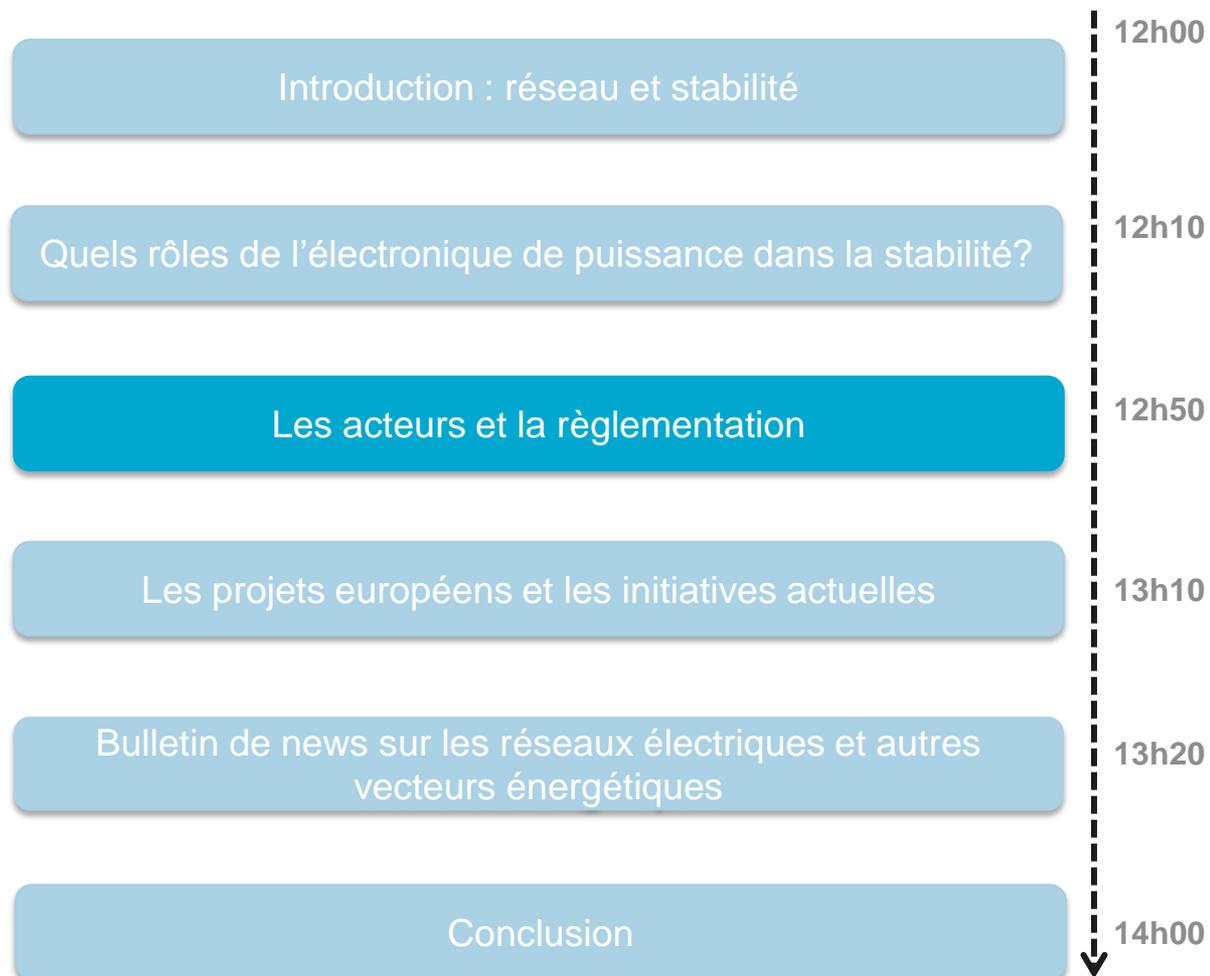
➤ La gestion de la stabilité du réseau de transport est mature:

- ✓ L'électronique de puissance est déjà bien présente dans la stabilisation du réseau de transport à travers les technologies FACTS utilisées depuis de nombreuses années.

➤ La stabilité du réseau de distribution représente une véritable opportunité pour l'électronique de puissance:

- L'intégration de plus en plus massive de sources d'énergie décentralisée est source d'instabilité croissante.
- Les solutions actuellement utilisées pour assurer la stabilité ne sont pas suffisantes car elles n'ont pas été prévues pour faire face à l'arrivée des productions d'énergie décentralisée.
- De nouvelles fonctions FACTS spécifiques aux besoins du réseau de distribution se développent.
- Les onduleurs des sources d'énergie renouvelables, de par leurs caractéristiques, peuvent intégrer des fonctions intelligentes leur permettant de jouer aussi un rôle très important dans le soutien statique et dynamique du réseau.

AGENDA

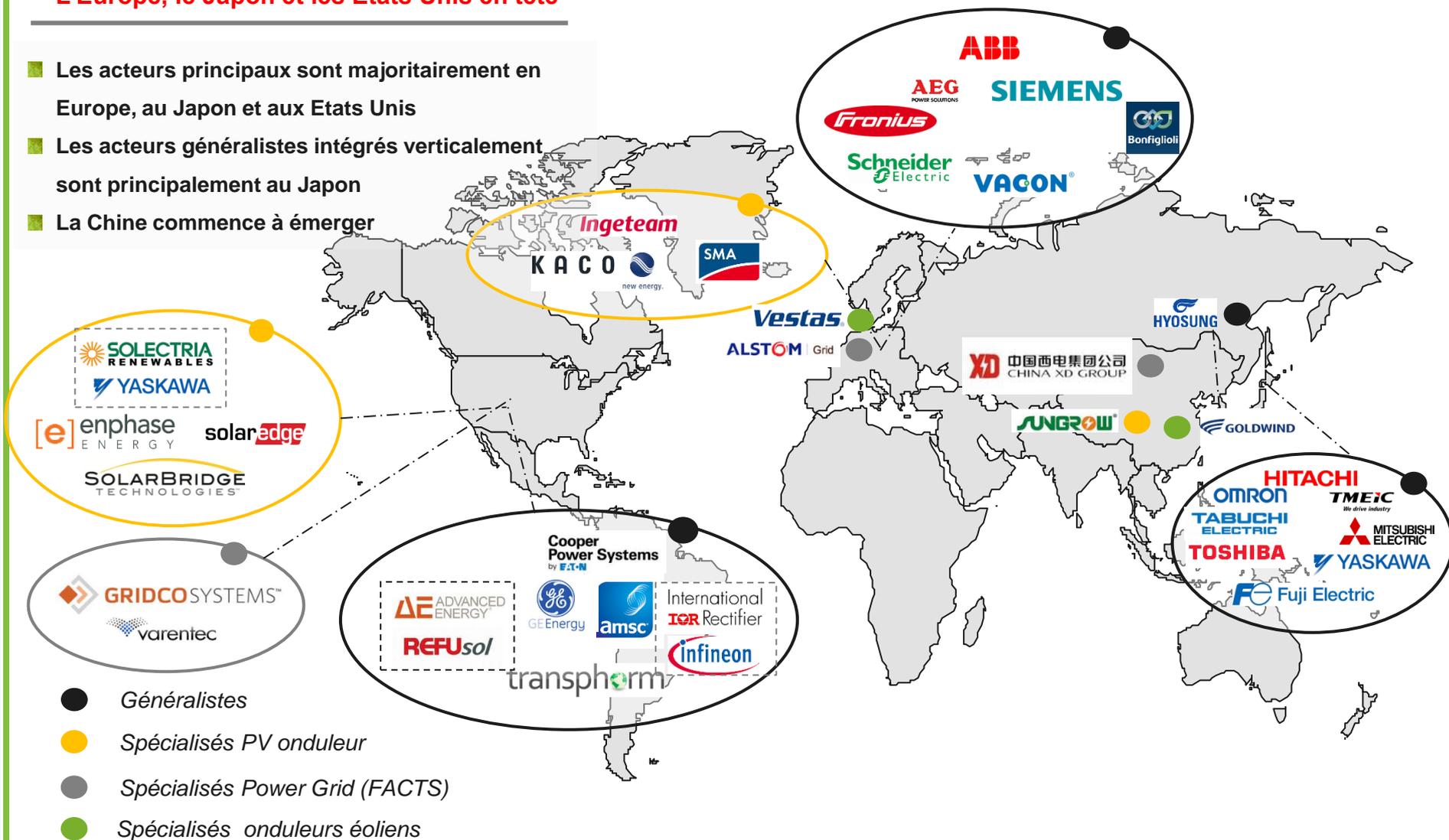


L'EP pour la stabilité du réseau

Les acteurs

L'Europe, le Japon et les Etats Unis en tête

- Les acteurs principaux sont majoritairement en Europe, au Japon et aux Etats Unis
- Les acteurs généralistes intégrés verticalement sont principalement au Japon
- La Chine commence à émerger

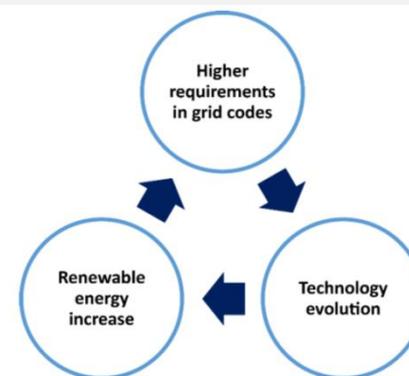


➤ Pour contrôler la stabilité du réseau, les opérateurs des systèmes ont de plus en plus besoin d'une contribution active des générateurs distribués. Ces nouvelles fonctionnalités sont de plus en plus imposées dans les codes réseaux.

- Les codes réseaux sont élaborés par les associations européennes de gestionnaires de réseaux de transport pour l'électricité.
- Ce sont essentiellement un ensemble de règles communes de connections et de comportement que les générateurs de puissance doivent satisfaire.

L'ÉVOLUTION DES CODES RÉSEAUX:

L'intégration croissante de sources de puissance distribuées (principalement éoliennes), a forcé les opérateurs des systèmes de transmission et de distribution à mettre à jour et faire évoluer leurs codes réseaux.

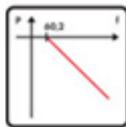
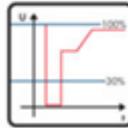
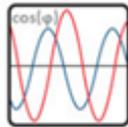


DEUX CATÉGORIES DE COMPORTEMENT REQUIS SONT DÉTERMINÉES PAR LES CODES RÉSEAUX:

- **Soutien statique du réseau** : régule la performance dans des **conditions opérationnelles normales** quand les temps de réponse n'ont pas une importance primordiale et que les changements de tension sont lents :
 - ✓ Injection de puissance réactive/Réglage du facteur de puissance (Volt-VAR compensation)
 - ✓ Contrôle de l'injection de puissance active.
- **Soutien dynamique du réseau**: définit le comportement dans des situations critiques, quand l'équipement doit réagir rapidement pour assurer la stabilité du réseau:
 - ✓ Maintient de l'alimentation en creux de tension ou surtension.
 - ✓ Injection dynamique de puissance réactive (Dynamic Volt-VAR management)

- La norme Moyenne Tension Allemande de 2008 définit les fonctionnalités requises concernant les comportements statique et dynamique des DER (Distributed Energy resources).

FONCTIONNALITÉS AVANCÉES DE LA NORME BDEW



- ❑ **Provision de puissance réactive Q:**
 - ✓ Facteur de puissance fixe $\cos\phi$
 - ✓ Puissance réactive fixe en Mvar
 - ✓ Contrôle dynamique:
 - En fonction de la puissance $\cos\phi(P)$
 - En fonction de la tension $Q(U)$
- ❑ **Réponse aux creux de tension (Low Voltage Ride Through).**
- ❑ **Provision de puissance active:**
 - ✓ Régulation par consigne
 - ✓ Réduction de puissance en fonction de la fréquence
- ❑ **Amélioration de la qualité de puissance comme :**
 - ✓ Les papillonnements (flickers), harmoniques...
- ❑ **Protection du réseau**

Fonctions les plus importantes pour les problèmes de raccordement au réseau de distribution

- La Commission Electrotechnique Internationale a publié en 2013 un rapport sur les fonctions avancées des convertisseurs de puissance des ressources énergétiques distribuées, des systèmes résidentiels aux très grands systèmes utilitaires.

Main advanced functions

- Immediate control functions** : allows the utility to request information from and control DER systems remotely through communication channels
- Volt-var management** : allows the DER system to support the grid by injecting or absorbing reactive power.
- Frequency-watt management** : allows the DER system to help with frequency regulation by changing its real power output.
- Dynamic reactive current support during abnormally high or low voltage** : allows the DER system to help support the grid during abnormally high or low voltage by feeding reactive current into the grid
- “Must disconnect” and “must remain connected” - (includes ride-through requirements)** : allows the DER system to “ride-through” high/low voltage and frequency events for a limited time so as to not trip offline simultaneously
- Watt-triggered behaviors** : allows the DER system to change its power factor by changing real power output
- Voltage-watt management** : allows the DER system to smooth voltage deviations by changing real power.

DER: Distributed Energy Resources

La réglementation

La Norme CPUC rule 21



- La réglementation Californienne actuelle « CPUC 21 » sur le raccordement des ressources au réseau de distribution est en train d'être modifiée pour intégrer les fonctions avancées des onduleurs. La démarche s'inscrit dans une volonté d'aider à stabiliser le réseau avec une part grandissante d'énergies renouvelables.
- Le projet global d'intégration des technologies intelligentes est divisé en 3 phases: la première phase (pour 2015) est axée sur les onduleurs autonomes et le réglage centralisé; la deuxième phase vise à définir des protocoles de communication pour permettre la mise en place du réglage centralisé; et la troisième phase permettra une fonctionnalisation plus avancée des onduleurs.

PHASE 1 – (2015)

Autonomous inverter with local information

1. Anti-Islanding Protection with new voltage and frequency ride-through settings
2. Low and High Voltage Ride-Through requirements (L/HVRT)
3. Low and High Frequency Ride-Through requirements (L/HFRT)
4. Dynamic Volt-Var Operation requirements
5. Ramp Rate requirements
6. Fixed Power Factor requirements
7. Soft Start Reconnection methods

Réglage décentralisé

PHASE 2 – (TBD)

Using communication methods to request information, set parameters and send commands to the inverters from the utility

1. Provide capability for including and/or adding communications modules for different media interfaces
2. Provide the TCP/IP internet protocol
3. Use the international standard IEC 61850 information model for defining the inverter-based Distributed Energy Resources (I-DER) data exchanges
4. Support the mapping of the IEC 61850 information model to one or more communication protocols...

Réglage centralisé

PHASE 3 – (TBD)

Involves adding additional advanced functionality to the inverters:

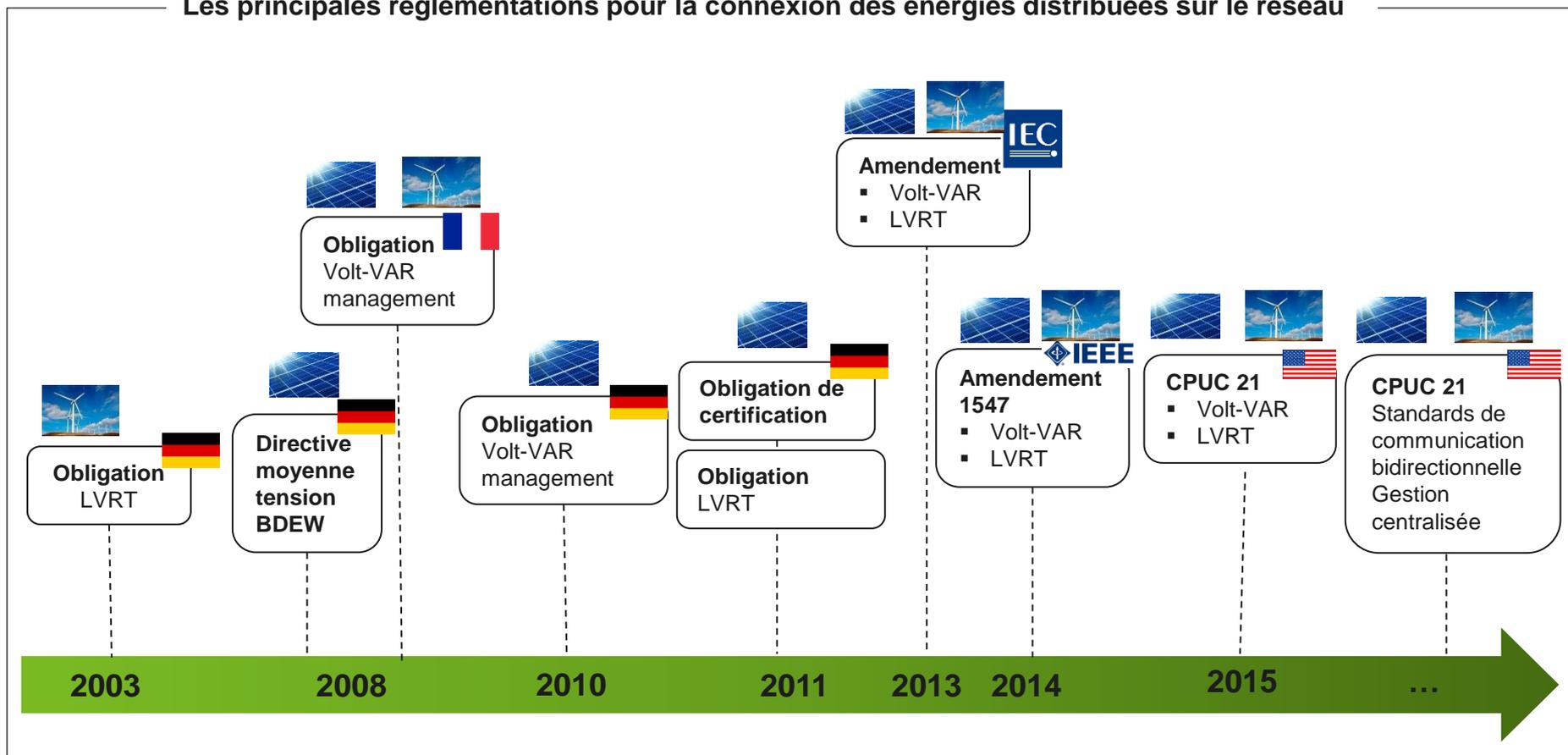
1. Provide emergency alarms and information
2. Provide status and measurements on current energy and ancillary services
3. Limit maximum real power output at an Electrical Connection Point (ECP) or the Point of Common Coupling (PCC) upon direct command from the utilities (curtailment)
4. Support direct command to disconnect or reconnect
5. Provide operational characteristics at initial interconnection upon changes
6. Test I-DER software patching and updates...

La réglementation

L'évolution des codes réseaux

- Les règles sont différentes dans chaque pays, et l'Allemagne, fortement équipée en énergies renouvelables est présentée comme la référence .
- Jusqu'à récemment les standards Américains limitaient les fonctionnalités avancées des onduleurs et imposaient une déconnexion immédiate du réseau lors de perturbations.

Les principales réglementations pour la connexion des énergies distribuées sur le réseau





- Le gestionnaire Belge du réseau de transport d'électricité a mis en place un système de rémunération des producteurs d'électricité qui contribuent au contrôle et à la stabilisation du réseau grâce à la génération ou à l'absorption d'énergie réactive. Ce modèle de rémunération pour la stabilisation du réseau de transport pourrait –il être adapté au réseau de distribution?

Le réglage de la tension en 5 points

- En tant que gestionnaire du réseau de transport d'électricité en Belgique, Elia est tenue de stabiliser la tension sur son réseau.
- Elia peut notamment stabiliser la tension grâce à l'activation d'énergie réactive sur des unités de production raccordées à son réseau.
- L'énergie réactive peut être activée par les unités de production de manière automatique (contrôle primaire) ou sur demande d'Elia (contrôle centralisé).
- Les producteurs sont rémunérés pour la mise à disposition du service du réglage de la tension et pour l'activation de l'énergie réactive lorsqu'elle n'a pas été préalablement réservée.
- Les producteurs disposant d'unités d'une puissance de plus de 25 MW sont tenus de participer au contrôle primaire de la tension du réseau électrique belge.

Quel business model?

D'autres pistes de réflexion sur la rémunération du service de réglage de la tension

- La rémunération de la production d'énergie réactive pour le réglage de la tension pourrait compenser les surcoûts liés aux nouvelles fonctionnalités des onduleurs et/ou augmenter la viabilité économique de certaines exploitations à faible rendement

UNE COMPENSATION DES COÛTS

La mise à disposition de puissance réactive entraîne un surcoût pour le producteur :

Soit les onduleurs doivent réduire leur production de puissance active au profit de la puissance réactive



conséquence
Diminution des pertes économiques pour le producteur.

Soit les onduleurs doivent être surdimensionnés pour produire de la puissance réactive en plus de la puissance active maximale



conséquence
Diminution du coût supplémentaire d'équipement pour le producteur.

UNE AUGMENTATION DE LA VIABILITÉ ÉCONOMIQUE

Certaines exploitations ont une production très aléatoire

Ces exploitations pourraient fournir un plus fort pourcentage de puissance réactive



conséquence
Revenus complémentaires pour le producteur

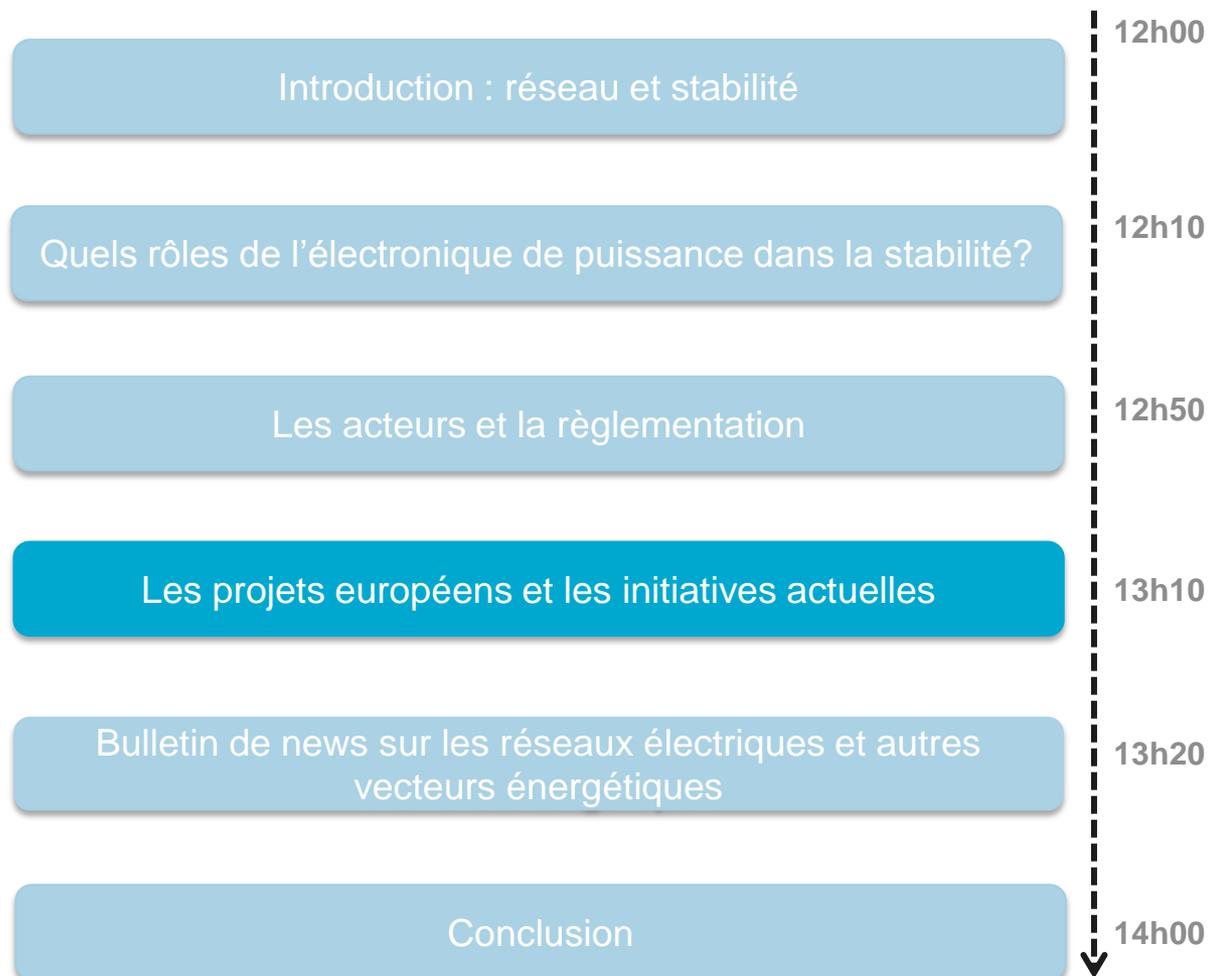
➤ Le déploiement de l'électronique de puissance pour la stabilité du réseau électrique peut dépendre:

- ✓ Soit de **mesures obligatoires**, au travers de la réglementation. C'est ce qui est mis en place actuellement, avec les nouveaux codes réseaux qui obligent les producteurs décentralisés à s'équiper pour participer à la stabilité du réseau.
- ✓ Soit de **mesures incitatives** qui prévoiraient la rétribution des producteurs mettant à disposition un service de réglage de la tension par la puissance réactive comme c'est le cas en Belgique sur le réseau de transport.

➤ Deux modes de gestion de la stabilité sont possibles:

- La **gestion décentralisée** (actuellement mise en place), qui s'appuie sur les fonctions autonomes des onduleurs intelligents. Cette solution est plus facile à déployer mais ne permet pas une gestion efficace de l'ensemble du réseau.
- La **gestion centralisée**, qui s'appuie sur les fonctions communicantes de l'onduleur. L'onduleur fonctionne à la demande et reçoit ses ordres d'un gestionnaire centralisé. Cette solution a l'avantage de permettre une gestion optimale du réseau mais nécessite la définition de standards de communication et de fonctionnement entre les producteurs et le gestionnaire.

AGENDA



- Très peu de projets FP-7 sur la stabilité en tension du réseau par l'électronique de puissance. Les technologies adressées sont les onduleurs PV intelligents et les transformateurs intelligents.
- Aucun projet H2020 en cours n'a été identifié sur la thématique.

Données clés	Titre	Points clés	Partenaires
<p>METAPV Programme: FP7-ENERGY Date: 2009 - 2014 Subventions: 5 520 793€ Coûts: 9 383 212€</p>	Metamorphosis of Power Distribution: System Services from Photovoltaics	<p>Démonstration des fonctionnalités avancées des onduleurs PV (contrôle de la tension, Fault Ride-through capability...), en mode autonome et en interaction avec le système de contrôle du réseau (SCADA).</p> <p><u>Cible:</u> Zones résidentielle et industrielles PV.</p>	<p><u>Coordinateur:</u> 3E </p> <p>Infrac, Limburgse Reconversie Maatschappij, Osterreichisches Forschungs Prufzentrum Arsenal, Sma Solar Tech, Univ Ljubljana</p>
<p>HEART Programme: FP7-IDEAS-ERC Date: 2014 - 2019 Subvention : 1 996 720 € Coût: 1 996 720 €</p>	The Highly Efficient And Reliable smart Transformer (HEART), a new Heart for the Electric Distribution System	<p>Développement d'un transformateur intelligent à base de convertisseurs de puissance capable de gérer les flux d'énergie et d'information à travers les sources et les charges du réseau de distribution afin de le découpler du reste du réseau.</p>	<p><u>Coordinateur:</u> Univ Kiel </p> <p>Univ Aalborg</p>

Source : TKM, Cordis

Et sur le terrain ?

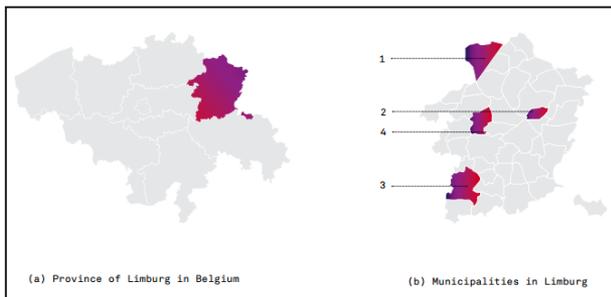
Province de Limburg (Belgique)

- Un démonstrateur pour tester et démontrer la contribution des onduleurs PV intelligents dans l'amélioration de la stabilité du réseau.
- Le démonstrateur a été mis en place dans le cadre du projet FP7 MetaPV en Belgique.

Points clés

- **Lieu** → Limburg (Belgique)
- **Projet** → MetaPV est le premier démonstrateur international qui démontrera les bénéfices des PV à grande échelle. Les capacités avancées de contrôle des onduleurs PV sont : le contrôle actif de la tension, la capacité de passage à l'état de défaut, les opérations de réseau autonomes et l'interaction avec le contrôle du système de distribution.
- **Date** → 2012-2015
- **Investissement** → 9M€

Partenaires



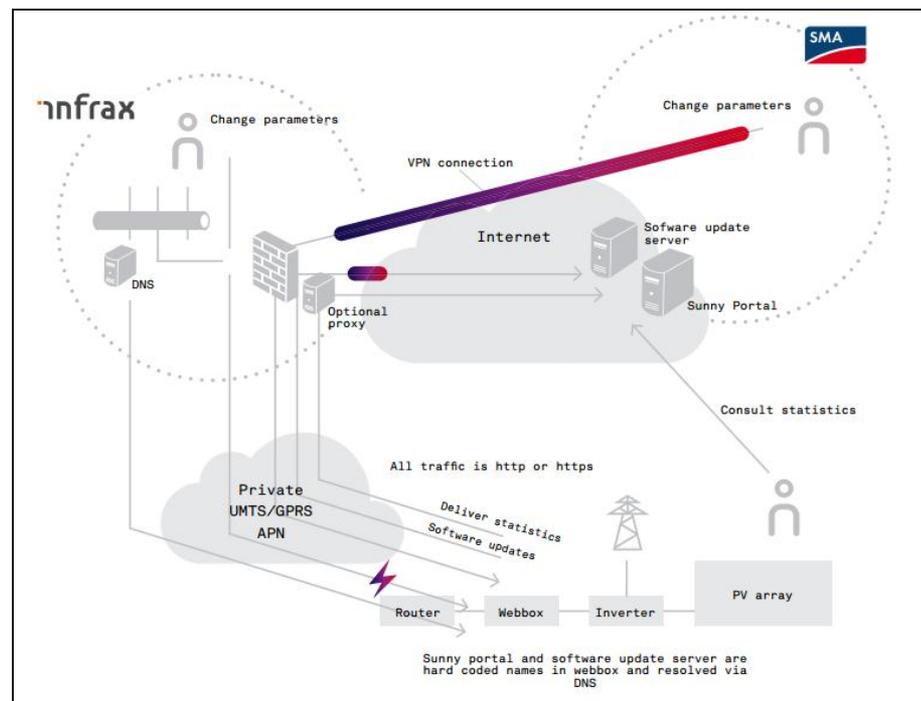
Source : http://cordis.europa.eu/project/rcn/94493_en.html
http://www.metapv.eu/sites/default/files/MetaPV_Final_Report_Results_and_Recommendations_FP.pdf

Caractéristiques de l'expérimentation

Taille du réseau:

- Réseau résidentiel/urbain basse tension (400 V): 128 maisons de 4 kWp chacune .
- Réseau industriel moyenne tension (10 kV): 31 PV système de 200 kWp chacun.

Protocole de Communication: réseau GPRS (General Packet Radio Service) de téléphonie mobile privé.



Et sur le terrain ?

Eco quartier Lyon Confluence (Rhône)



➤ Une solution de régulation de tension par production/absorption de puissance réactive implantée dans un écoquartier dans le cadre du projet GreenLys.

Points clés

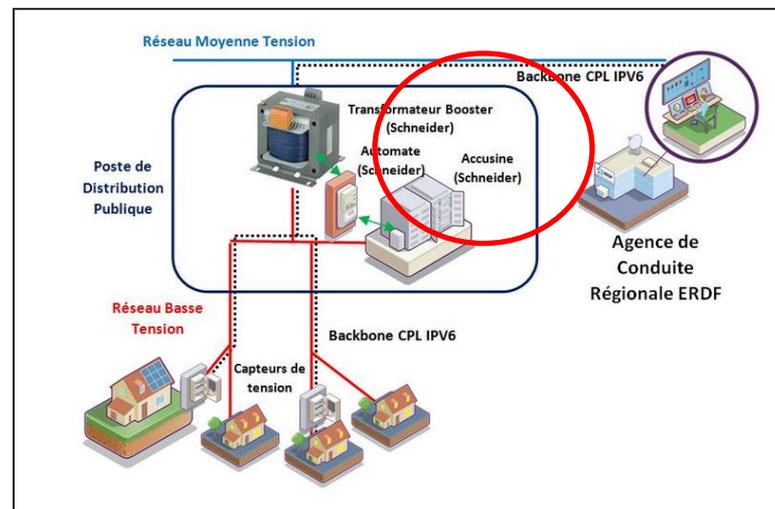
- **Lieu** → Lyon - 69
- **Projet** → GreenLys est le premier – et le seul - démonstrateur national et européen, à tester le fonctionnement d'un smart grid dans sa globalité : du producteur au consommateur final, en passant par l'ensemble des acteurs des métiers du transport, de la distribution et de la fourniture d'électricité.
- **Date** → 2012-2016
- **Investissement** → 43M€ dont 9,6M€ financé par l'Ademe

Partenaires du projet GreenLys



Caractéristiques de l'expérimentation

- Une solution de régulation de tension, Accusine (Schneider Electric), a été expérimentée sur les réseaux grenoblois et lyonnais. Cette solution a été adaptée pour permettre d'injecter ou de soutirer de la puissance réactive sur le réseau afin de moduler la tension.
- **Lieu** : Lyon Confluence, éco-quartier en plein développement, compte une douzaine de producteurs photovoltaïques de taille variable.
- **Durée du test**: 2 mois (juillet – août 2013)
- **Bilan**: L'expérience est réussie avec une tension régulée sur le réseau



Source : http://www.smartgrids-cre.fr/media/documents/monde/greenlys_fiche3.pdf

Et sur le terrain ?

Californie (USA)



- Un démonstrateur pour prouver tester l'interopérabilité des onduleurs avec d'autres appareils et leur conformité à la réglementation Californienne CPUC 21.

Points clés

- **Lieu** → Californie - USA
- **Projet** → Etudier l'interopérabilité des onduleurs intelligents, des générateurs PV et des appareils de stockage pour améliorer la stabilité du réseau et permettre une plus forte pénétration des sources d'énergie distribuées.
- **Date** → 2015-2019
- **Investissement** → 4M\$ dont 2M\$ financé par California Energy Commission

Caractéristiques du projet

- **Livrables:**
 - interface de communication ouverte pour les onduleurs intelligents et les appareils de stockage
 - Analyse économique du potentiel impact marché associé à l'utilisation de sources d'énergies distribuées pour améliorer la stabilité du réseau.
 - Cadre standardisé pour les onduleurs intelligents
- **Taille du réseau:** 50 maisons intelligentes.
- **Caractéristique techniques:** 7 marques d'onduleurs intelligents testées supportant les fonctions d'interconnexion de la « CA Rule 21 » et l'interface de communication ouverte SunSpec.

Partenaires



→ Ce projet fait suite à l'évolution de la réglementation Californienne concernant l'utilisation d'onduleurs intelligents pour la connexion des énergies renouvelables sur le réseau de distribution.

Source : http://www.solarnovus.com/sunspec-alliance-receives-california-grant-for-smart-sol_N9228.html

➤ Très peu de projets de recherche publique européens ont été identifiés sur le sujet.

- ✓ Deux projets FP7 identifiés concernant les onduleurs photovoltaïques et les transformateurs intelligents
- ✓ Aucun projet H2020 identifié.

➤ Très peu de démonstrateurs

- Un seul démonstrateur à grande échelle identifié en Europe (Belgique).
- Un seul démonstrateur à grande échelle identifié aux Etats Unis (Californie).
- Un seul démonstrateur identifié en France (projet GreenLys).

AGENDA

