IEEE-PES Chapitre Français & SEE Club "Systèmes Electriques"

Soirée Réseaux Electriques
"Courant continu en moyenne et basse tension"

Chers collègues,

Le bureau français de l'IEEE PES, avec l'appui du club « Systèmes électriques » de la SEE, a le plaisir de vous convier à un événement sur les réseaux « Courant continu en moyenne et basse tension ».

L'événement aura lieu le jeudi 18 mars 2021 de 18h à 20h et, en raison de la situation exceptionnelle que nous vivons, il sera virtuel à travers Microsoft Teams. L'inscription est gratuite mais obligatoire à l'adresse suivante : http://bit.ly/1gNuQWb.

Le programme de la soirée comprend 3 présentations :

1. **Rappel historique & état des lieux scientifique/académique**
   Hervé Morel, Laboratoire Ampère, CNRS

2. **Clients & nouveaux business models**
   Alfredo Samperio, Schneider Electric

3. **Point de vue réseau, cas d'usages**
   Kévin Lorenzo, EDF R&D

Vous trouverez les détails de connexion sur Teams dans l'invitation ci-jointe et à la fin de ce mail.

J'espère que vous serez nombreux à vous connecter !

Bien cordialement,
Miguel López-Botet,
Secrétaire du chapitre français de l'IEEE PES.

Rejoindre la réunion Microsoft Teams :

Cliquez ici pour participer à la réunion

Micro-réseaux DC : enjeux, historique et contexte

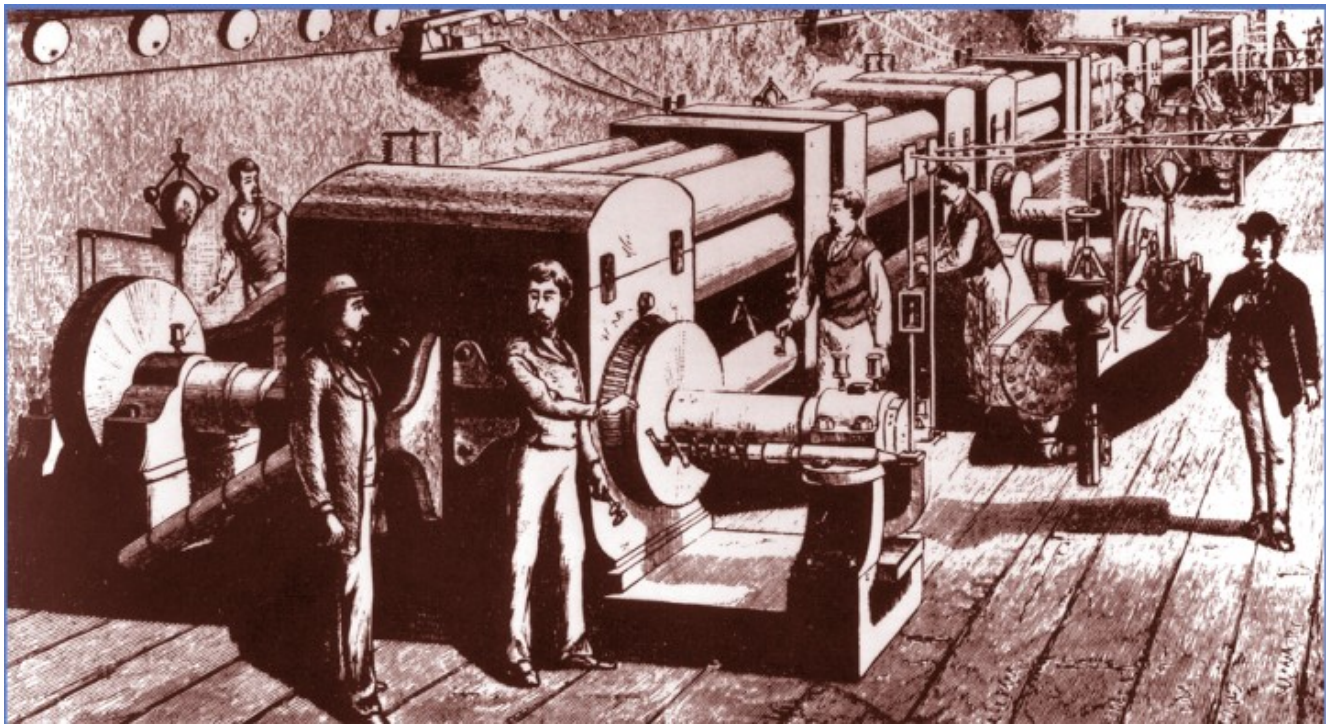
Hervé Morel, Directeur de Recherche CNRS
Lab. Ampère

IEEE PES France, 18 mars 2021

Rappel historique

Les débuts

- Lampe à incandescence, Thomas Edison : 1879
- Pearl Street Station, New York (1882) : Dynamos



[Sulberger-2003] SULZBERGER, Carl L. Triumph of ac-from Pearl Street to Niagara. IEEE Power and Energy Magazine, 2003, vol. 1, no 3, p. 64-67.

Rappel historique

Les débuts

- … Edison Electric Illuminating Company (LVDC): mieux et moins chers que les lampes à gaz
- Gaulard (FR) + Gibbs (GB) → W. Stanley/ George Westinghouse (US) → transformateur électrique + démonstrateur AC (1886)
- … Westinghouse Electric Company

Rappel historique (2)

La bataille des courants

- Nikola Tesla (HR) → systèmes AC polyphasés (1888, Machine à induction, lignes) (T. Edison → G. Westinghouse)
- La bataille des courants commençait (1888) !

[Gomez-Rejon-2017]

The Current War (film sorti en 2017, youtube)

Rappel historique (3)

Le triomphe de l'alternatif

- T. Edison, l'AC est dangereux (> 300 V)
- La chaise électrique 1890

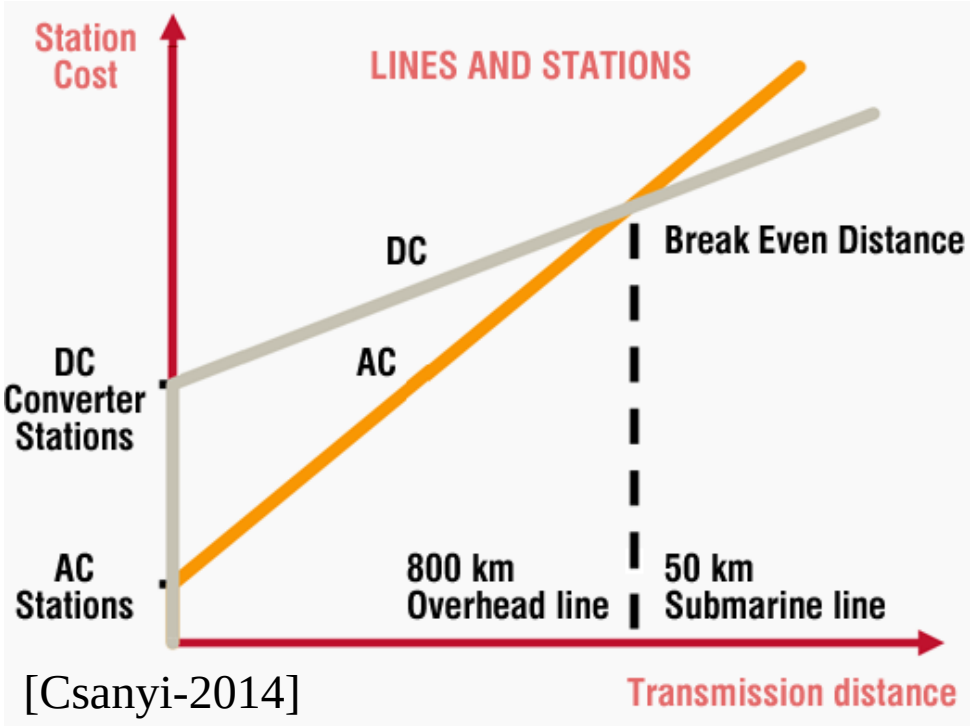
- G. Westinghouse → ligne AC (Portland, Willamette Falls, 4 kV, 21 km, 1891)
- 1892, Frankfurt, 160 km, 30 kV, triphasé.
- 1892, General Electric … T. Edison n'était plus passionné !
- 1893, Exposition universelle de Chicago, éclairage : Westinghouse/GE → AC moins cher.
- 1895→ 1905, Niagara Falls Project.

- L'alternatif a gagné !

Et l'électronique de puissance fut !

Les (nouveaux) intérêts du courant continu [De Doncker-2020]

- Pas de limite en longueur de ligne (HVDC)
- Pas besoin de synchroniser (V_M, f, Φ)
- Meilleure stabilité (Voltage Collapse … 50 Hz/coupure)
- **Moins chers**
- Charges sont DC (µgrid : LED, PC,TV, Hi-Fi, électroménager...)

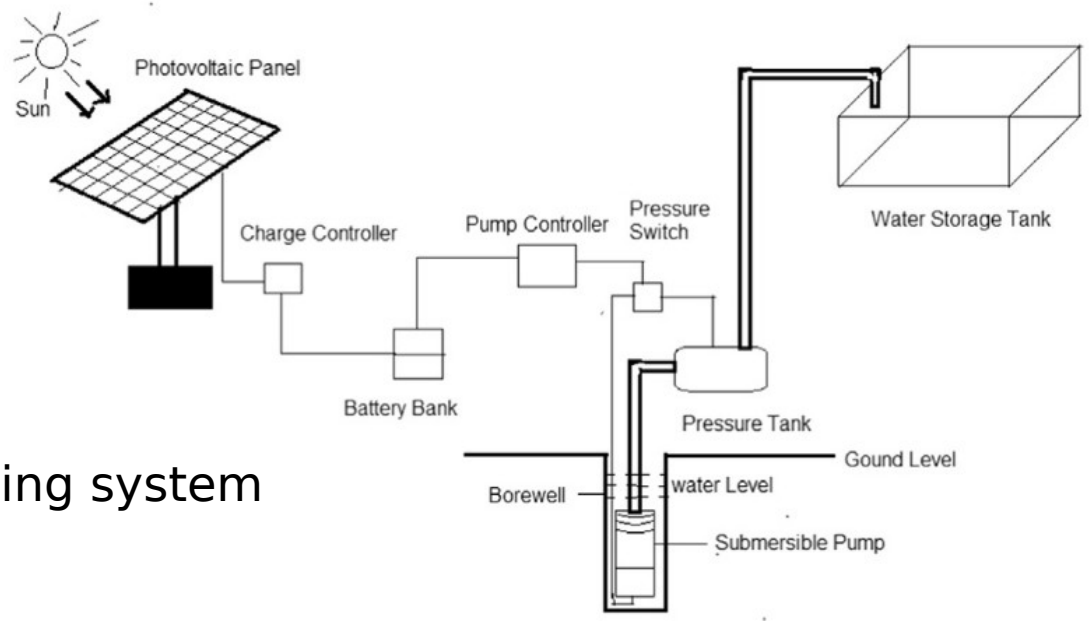


[Csanyi-2014]

Et l'électronique de puissance fut !

Les réseaux alternatifs sont condamnés (Quand?)

- Équipements AC **en masse**
- DC moins chers pour les pays émergents [Jhunjhunwala-2016]
- Afrique : Pompage solaire → éclairage/recharge ...



Solar photovoltaic water pumping system

[Sontake-2016]

Application aéraunotiques

The More Electric Aircraft [Bozhko-1999], [Kim-2018]

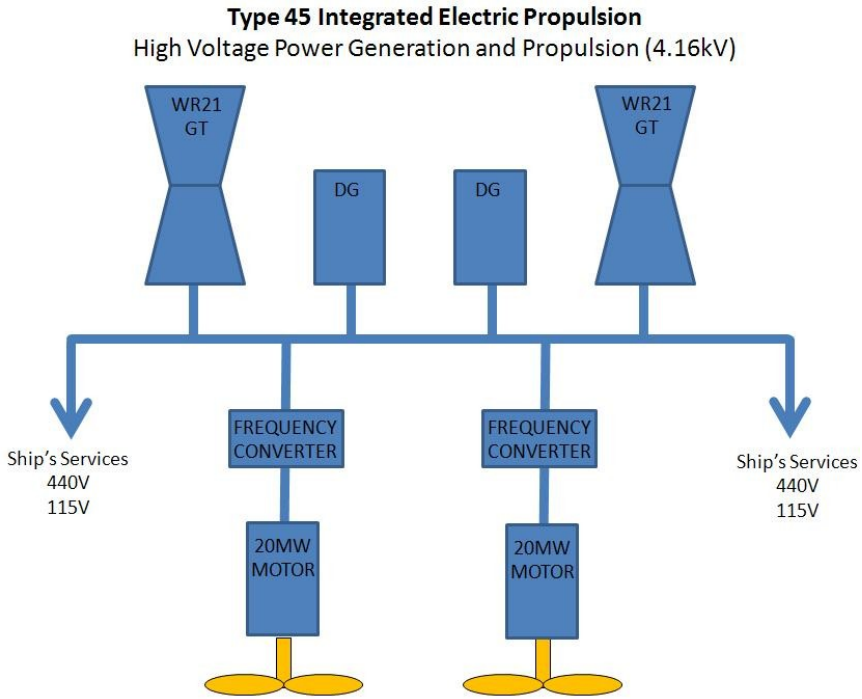
- Remplacer les réseaux pneumatique, hydraulique et mécanique par de l'électrique pour réduire de 30 % la masse !
- Peu de gain de masse, mais fort gain en maintenabilité (freins électriques …)
- 20 ans de cycle de développement, B787 = 1 MW électrique
- Gestion décentralisée et radiale (mais redondance → maillé)
- Electric Propulsion System (EPS) → 3 kV, 40 MW [Barzkar-2020]
- Electric Strike fighter, gain de masse, EP > 400 °C, réseau électrique maillé, drone...

Applications navales

Propulsion électrique

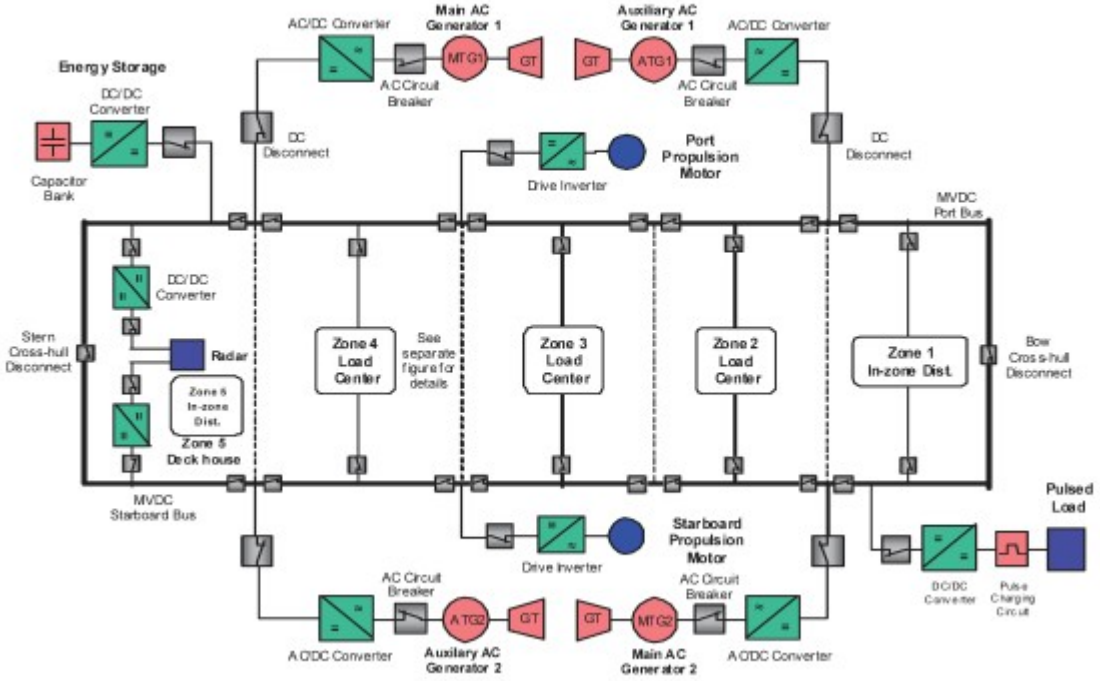
- Sous-marin (1887, Gymnote, WWII ...)
- Navire (Normandie, 1935, 5,5 kV 3P-AC)
- Pod électrique (ABB, Azipod, 1990 …)
- Integrated electric propulsion (IEP), transmission tout électrique (~ 2000, RMS Queen Mary 2, 11 kV 3P-AC)

Wikipedia :
Integrated electric propulsion



Applications navales (R&D)

MVDC ([Sulligoi-2016], [ABB-2021) … Meshed MVDC



MVDC zonal distribution [IEEE 2010]

Applications militaires

LVDC + MVDC maillés

- **Porte-avion électrique :** réduction de masse → propulsion + radar + electric gun
- **Sous-marins** : réduction de masse
- **VE combat** + recharge

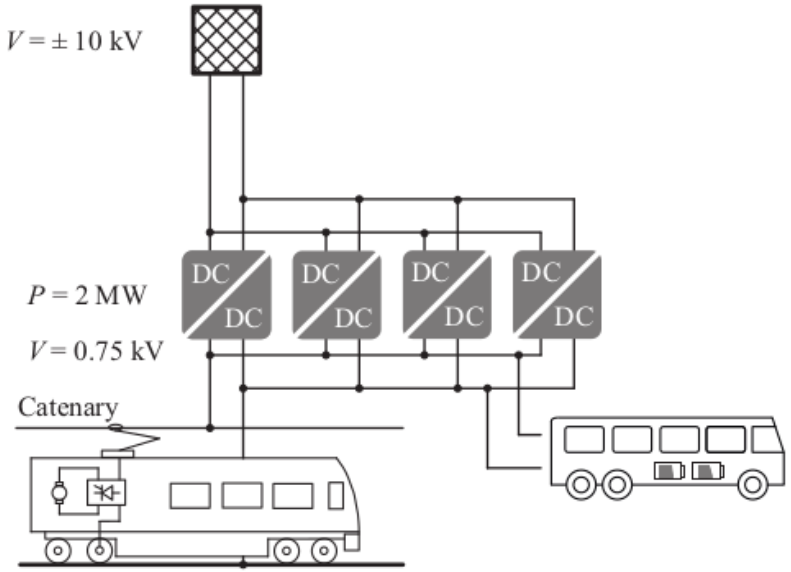
- 70 % des décès dus au ravitaillement en énergie

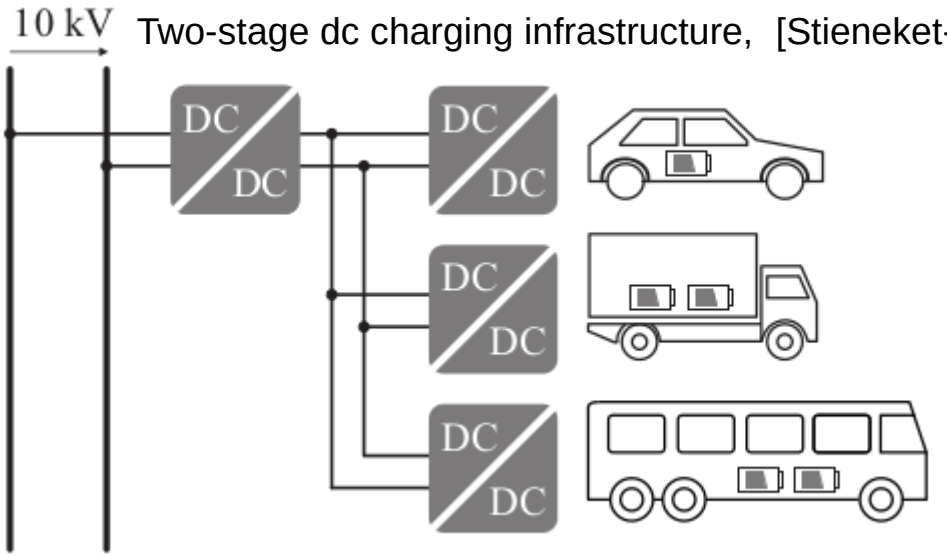
- PV = faible masse + faible bruit …
- Combat = maillé

Applications classiques et smart-cities

- Tram, trolley, métro, **train** (saturation → MVDC > 3kV, JU Shift2Rail...)
- **Bus électrique** à recharge en station (Directive EU)
- **Recharge rapide** des VE

  → Besoin en nouveaux réseaux DC



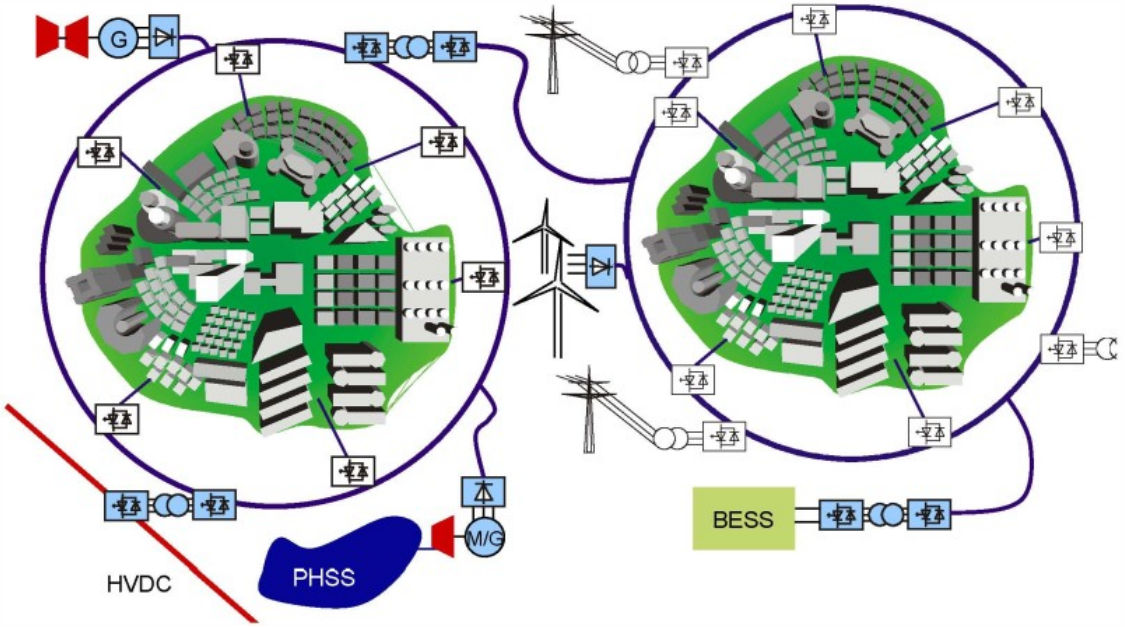


Two-stage dc charging infrastructure, [Stieneket-2018]

Modular dc-supplied light-rail infrastructure [Stieneket-2018]

Applications classiques et smart-cities

- MVDC for Smart Cities : China [Huang-2020]



MVDC distribution networks and multi-terminal DC inter-connections [De Doncker-2014]

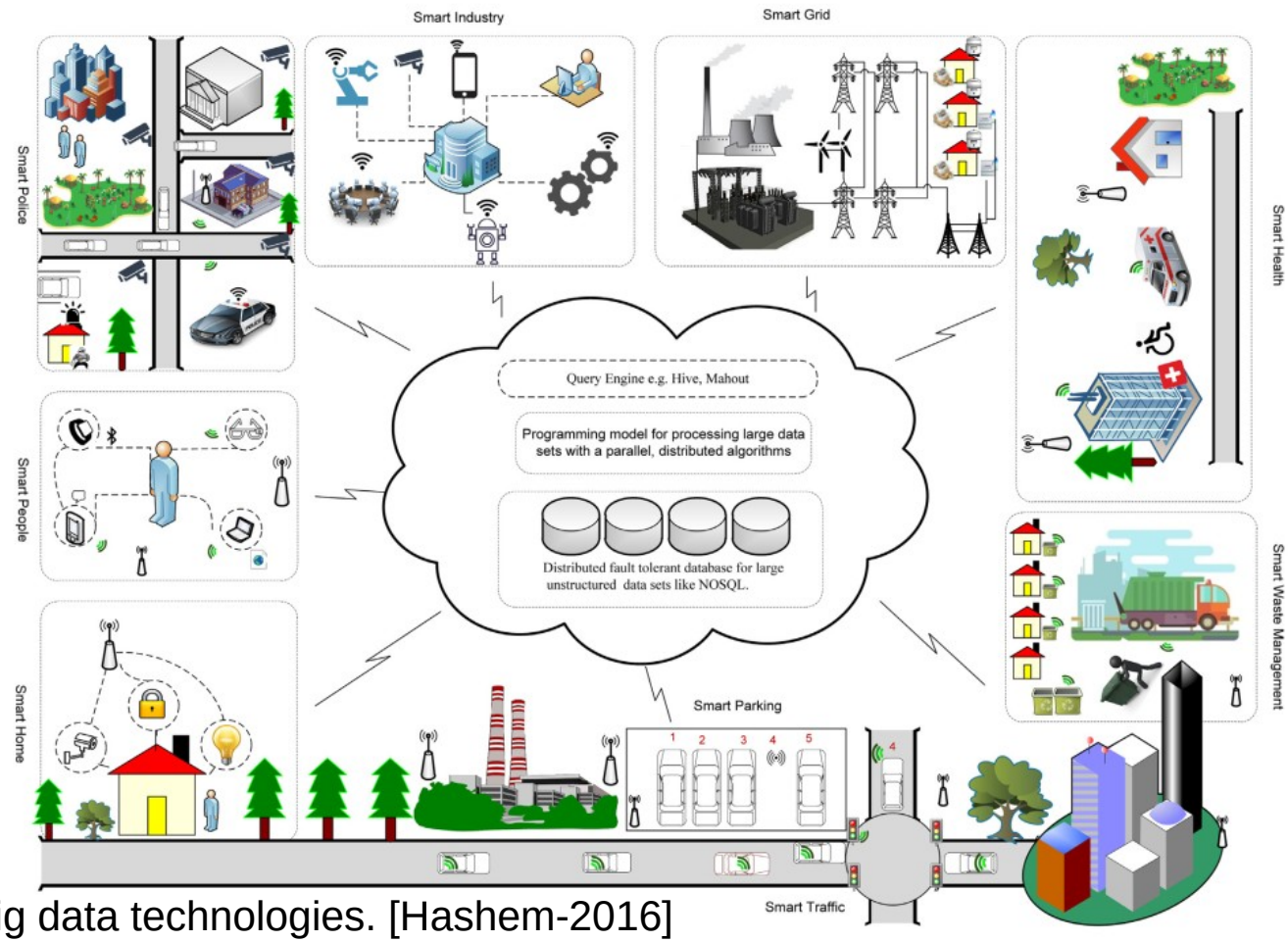
- DC Breaker, SSPC → Bosch, SiC DC Breaker [Araujo-2021]

Applications classiques et smart-cities

- Nanogrids, µgrids and big data [Hebner-2017] and Smart-Cities

Big data = Big Energy

Smart Gouvernance
→ Classes d'école
→ Trafic

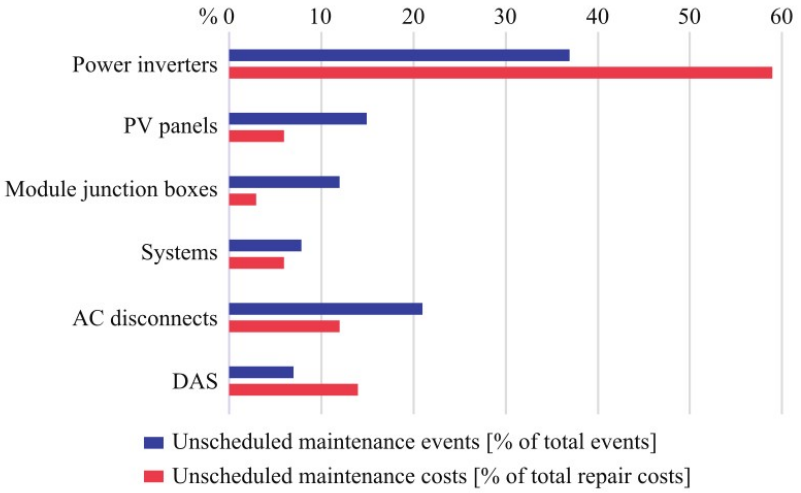


Landscape of the smart city and big data technologies. [Hashem-2016]

Nouveaux usages

- Autoconsommation …
- Chauffage PV + LVDC

(PUB!) Solution électro-solaire : panneaux solaires + radiateurs électriques [aterno-2021]

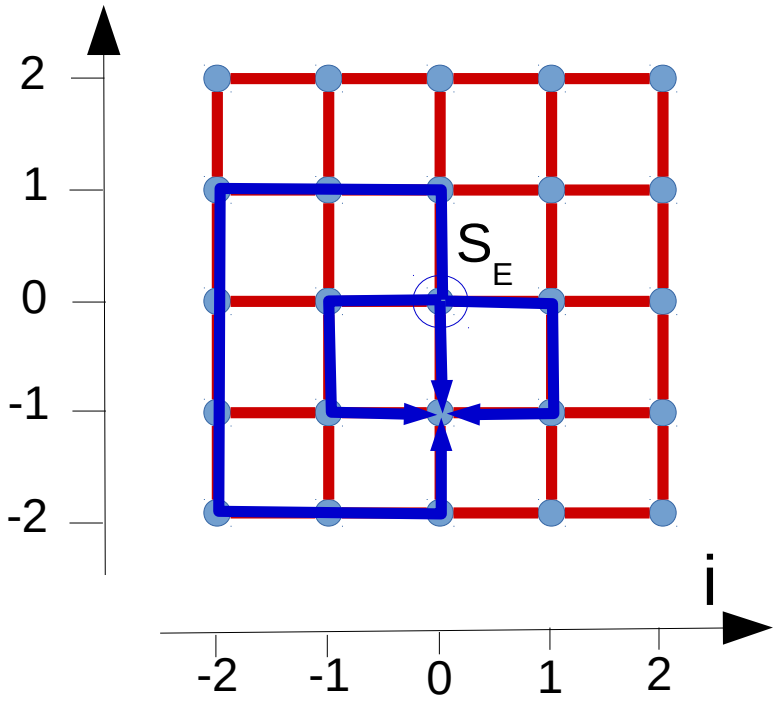


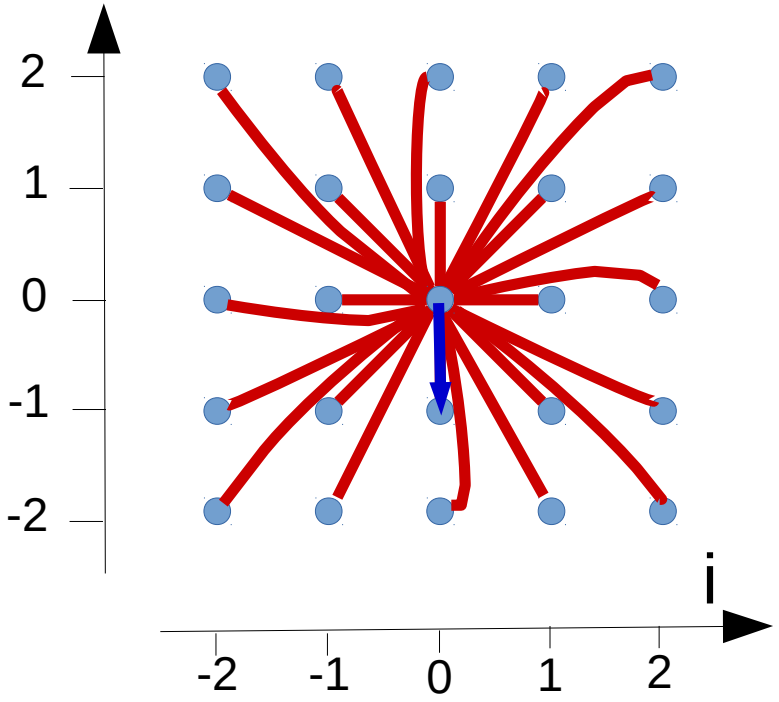
Failures of an utility-scale power plants [Yongheng-2016]

- PC pour l'industrie (Vicat)
- PV plant → DC (fiabilité)
- H2 vert …

Microréseaux DC maillés (Ampère)

Réduction du besoin en cuivre (bâtiment tertiaire, ANR C3µ)





Manhattan/radial = 4 x puissance maximale
Puissance moyenne très faible

n=5 à même puissance
X 16.8 cuivre

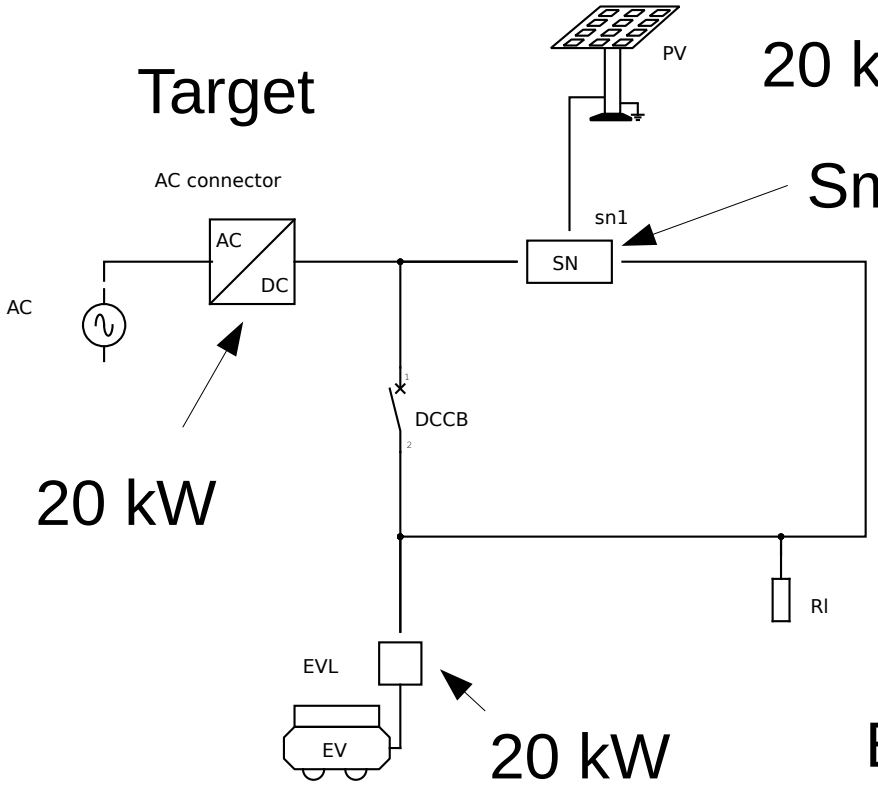
Microréseaux DC maillés 2 (Ampère)

Target

20 kW

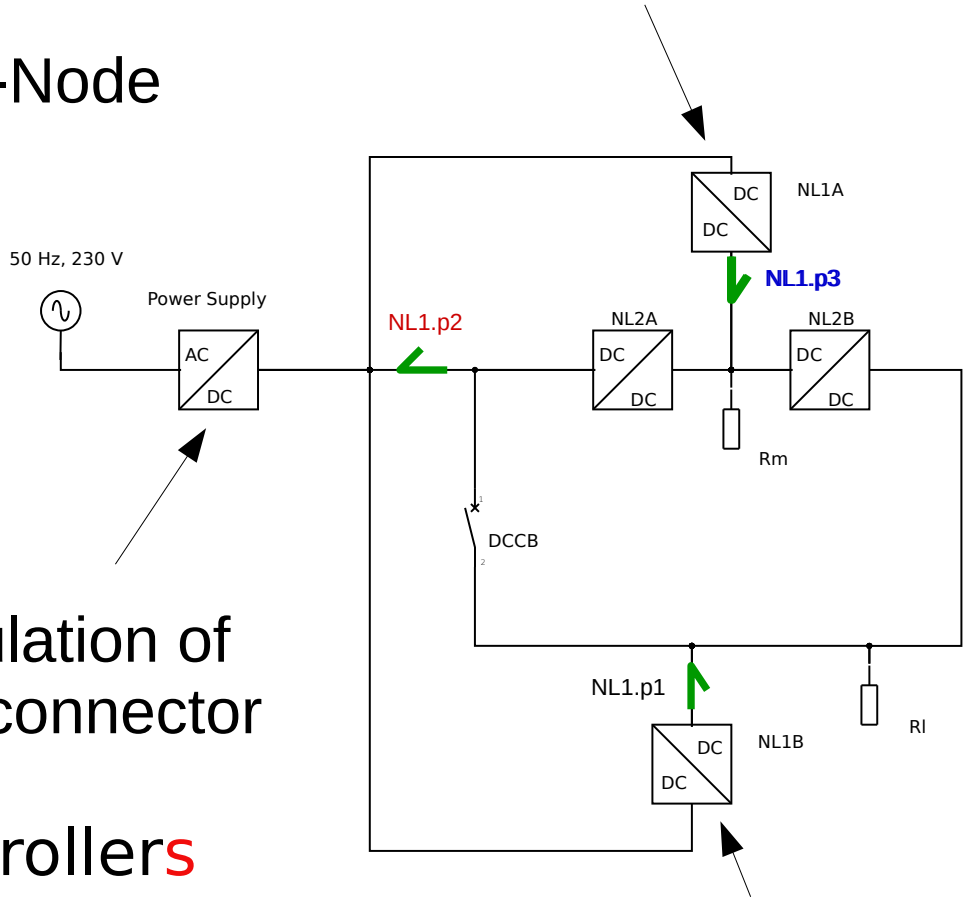
Smart-Node

Emulation of PV panels



20 kW

20 kW

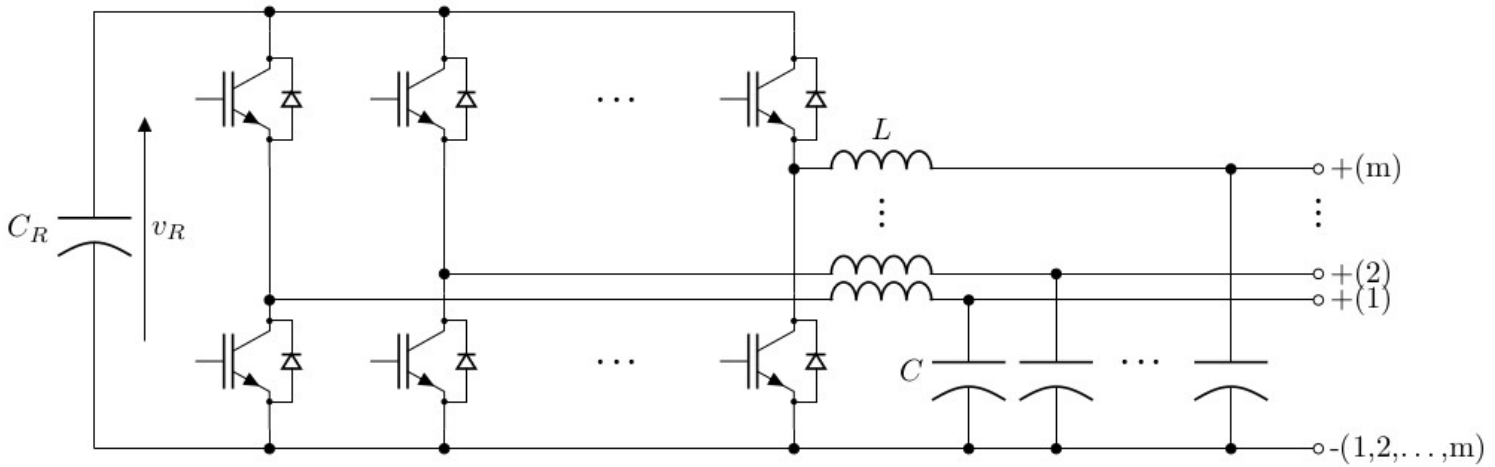


Emulation of
AC connector

Smart-Node=Power Flow Controllers
+ SSPC ... (disj. diff)

Emulation of EV charger

Microréseaux DC maillés 3 (Ampère)



Smart Node → m-terminal DC Power Flow Controller

Travail de thèse de Tanguy Simon

« trouver une loi de commande pour un système bilinéaire incertain à sortie quadratique incertaine, comportant des contraintes sur l'état »

Conclusion

- **Très forte activité de R&D**
- **Choix majeur pour la Chine …**
- **MVDC et smart cities (big data)**
- **LVDC/MVDC maillé**
- **Nouvelle technologies (SiC, DC-breaker, PFC …)**

Bibliographie

[Sulberger-2003] SULZBERGER, Carl L. Triumph of ac-from Pearl Street to Niagara. IEEE Power and Energy Magazine, 2003, vol. 1, no 3, p. 64-67.

[Gomez-Rejon-2017] Alfonso Gomez-Rejon , The Current War, 2017, Allocine.fr

[Csanyi-2014] E. Csanyi, Analysing the costs of High Voltage Direct Current (HVDC) transmission, Electrical Engineering Portal

[De Doncker-2020] Rik W. De Doncker, The War of Currents, How DC Technology Lost the Battle 150 Years Ago, but May Win the War in a Liberalized Energy Market Electric Energy Online

[Jhunjhunwala-2016] Jhunjhunwala, Ashok, Aditya Lolla, and Prabhjot Kaur. "Solar-dc microgrid for Indian homes: A transforming power scenario." IEEE Electrification Magazine 4.2 (2016): 10-19.

[Sontake-2016] V.C. Sontake, Vimal Chand, and Vilas R. Kalamkar. "Solar photovoltaic water pumping system-A comprehensive review." Renewable and Sustainable Energy Reviews 59 (2016): 1038-1067.

[Huang-2020] Mingxin HUANG, at al. « Construction of DC Distribution System in Smart City : Challanges and Suggestions », CIRED workshop – Shanghai, 26-27 October 2020.

[De Doncker-2014] De Doncker, Rik W. "Power electronic technologies for flexible DC distribution grids." 2014 International Power Electronics Conference (IPEC-Hiroshima 2014-ECCE ASIA). IEEE, 2014.

[Hebner-2017] Hebner, Robert. "Nanogrids, microgrids, and big data: The future of the power grid." IEEE Spectrum Magazine (2017): 23.

[Warsi-2019] Warsi, Nawaz Ali, et al. "Impact Assessment of Microgrid in Smart Cities: Indian Perspective." Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy 4.1 (2019): 1-16.

[Bozhko-1999] Bozhko, Serhiy, Christopher Ian Hill, and Tao Yang. "More-Electric Aircraft: Systems and Modeling." Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering (1999): 1-31.

[Kim-2018] Kim, Myungchin, Sung Gu Lee, and Sungwoo Bae. "Decentralized power management for electrical power systems in more electric aircrafts." Electronics 7.9 (2018): 187.

[Barzkar-2020] Barzkar, A., & Ghassemi, M. (2020). Electric power systems in more and all electric aircraft: A Review. IEEE Access.

[Sulligoi-2016] Sulligoi, G., Vicenzutti, A., & Menis, R. (2016). All-electric ship design: From electrical propulsion to integrated electrical and electronic power systems. IEEE Transactions on transportation electrification, 2(4), 507-521.

[ABB-2021] Onboard DC Grid

[IEEE-2010] IEEE Recommended Practice for 1 kV to 35 kV Medium-Voltage DC Power Systems on Ships, IEEE Standard 1709-2010, Nov. 2010, pp. 1–54

[Stieneket-2018] Stieneker, M., Mortimer, B. J., Hinz, A., Müller-Hellmann, A., & De Doncker, R. W. (2018, May). MVDC distribution grids for electric vehicle fast-charging infrastructure. In 2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018-ECCE Asia) (pp. 598-606). IEEE.

[Hashem-2016] Hashem, Ibrahim Abaker Targio, et al. "The role of big data in smart city." International Journal of Information Management 36.5 (2016): 748-758.

[Araujo-2021] Samuel Araujo, Robert Bosch, SiC DC Breaker for DC Grids in Automotive, Industry PV and Buildings, ECPE SiC & GaN User Forum, Erding/Munich, Germany, 30/06/2021

[aterno-2021] https://www.chauffage-aterno.com/le-chauffage-electro-solaire.html

[Yongheng-2016] Yang, Yongheng, Ariya Sangwongwanich, and Frede Blaabjerg. "Design for reliability of power electronics for grid-connected photovoltaic systems." CPSS transactions on power electronics and applications 1.1 (2016): 92-103.

Microgrids

Soirée-débat IEEE – PES France

18 Mars 2021

Alfredo Samperio – Responsable de programme

alfredo.samperio@se.com

Confidential Property of Schneider Electric

Life Is On Schneider Electric

Life is on when it is…

POWERED

X2

worldwide power capacity by 2040
(BNEF, 2017)

+80%

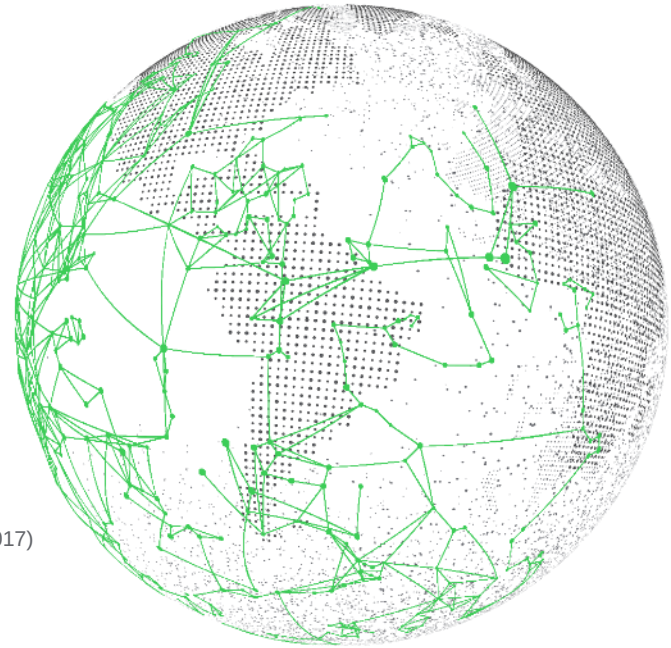
new capacity additions in renewables by 2040 (BNEF, 2017)

Power leads

global investment in electricity overtook Oil & Gas for the first time in 2016 (IEA 2017)

30%

of vehicle stock running electric by 2040 (BNEF)



DIGITAL

10X more

incremental connected devices than incremental connected people by 2020
(IHS, March 2016; UN population stats)

+25%

CAGR YoY growth of IP traffic

+40%

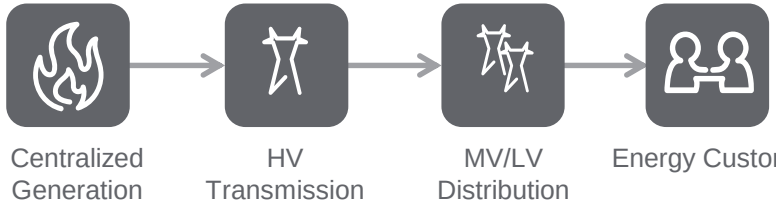
productivity by 2035 thanks to new automation techniques (EPSC 2018)

© 2019 Schneider Electric. All Rights Reserved

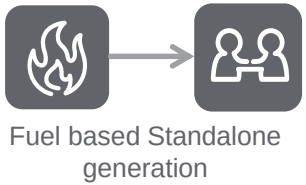
Life Is On Schneider Electric

The new energy landscape

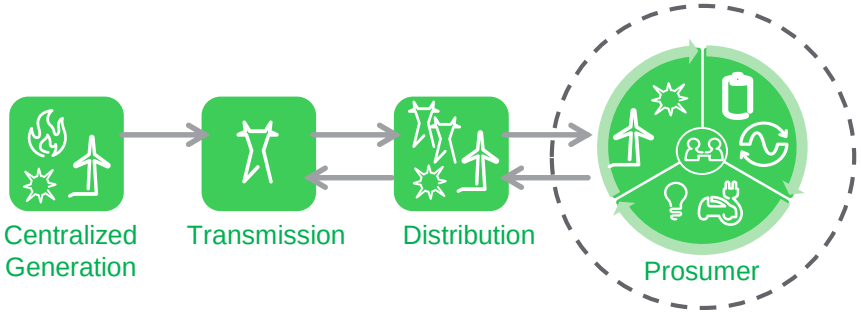
Historical Energy Value Chain



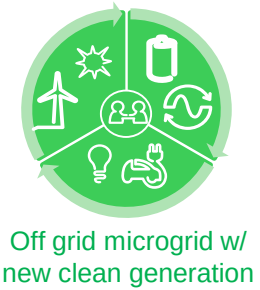
or



The New Value Chain



or



Decentralized + **Flexible** + **Connected**

Consumer morphing in prosumer

Life Is On Schneider Electric

Le monde devient vert et coopératif, mais incertain et complexe

Electrification décarbonnée

> accompagner l'électrification en limitant les coûts d'infrastructure

→ Énergies distribuées
MT, BT

Energies intermittentes

> PV, éolien

→ Besoin de flexibilité
et de stockage

Disponibilité des réseaux

Evènements climatiques

> risques sur la disponibilité de l'énergie

→ Besoin de résilience

Le monde devient vert et coopératif, mais incertain et complexe

Electrification décarbonnée

> accompagner l'électrification en limitant les coûts d'infrastructure

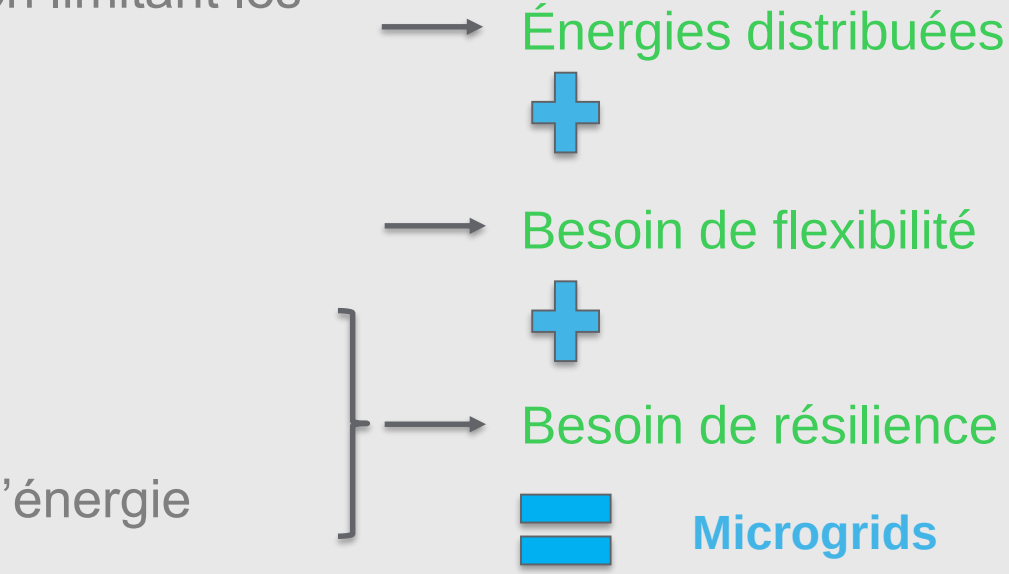
Energies intermittentes

> PV, éolien

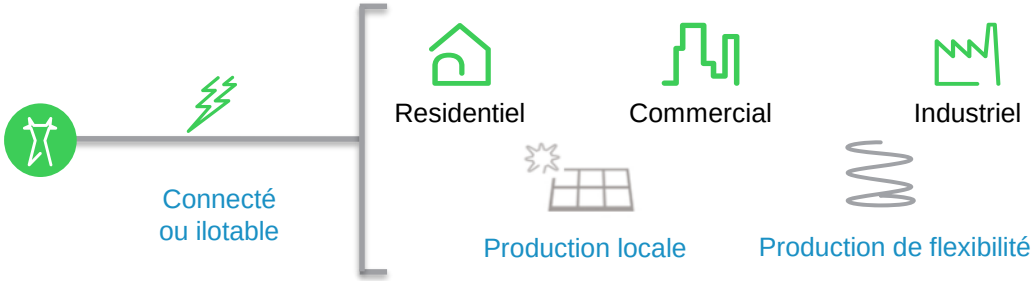
Disponibilité des réseaux

Evènements climatiques

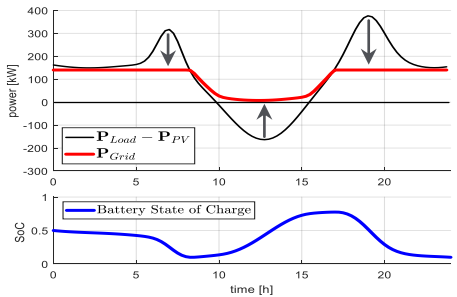
> risques sur la disponibilité de l'énergie



Attributs du microgrid



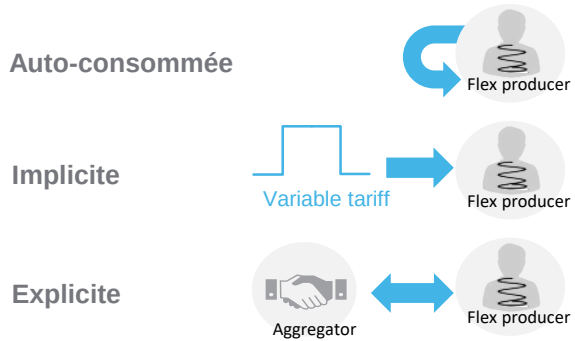
Qu'est-ce que la flexibilité ?



Comment est-elle produite ?

- Charges pilotables
- Génération pilotable
- Stockage

Schémas de monétisation ?



Life Is On | Schneider Electric

USA, Montgomery County
Resilience, environnement

Finlande, LIDL
Environnement, services ancillaire

Quelques exemples de réalisation

France, Learning Grid by Grenoble
Autoconsommation, environnement

Australie, SAPM
Marché spot, resilience

Comment aller plus loin sur ces projets?

Enjeux pour Schneider de développement des microgrids

CAPEX -> OPEX: complément de modèle de marché

- Client final: accéder à un énergie décarbonée, résiliente et économique **sans investissement amont**
- Investisseur: portefeuilles de projets **homogènes, sécurisés** et **rentables**

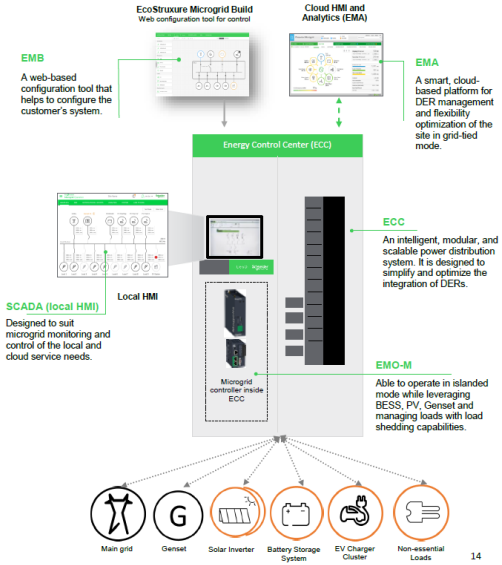
GreenStruxure™

Une nouvelle efficacité des projets

- **modularité** des architectures
- **réduction des coûts** d'engineering
- **réduction des temps** de construction et de connexion au réseau

Services ancillaires

- **Monétiser la flexibilité** en supportant le réseau



L’équation est maintenant devenue complexe

Le microgrid amène des points d’agrégation et de simplicité

Mais les énergies distribuées et les microgrids sont affaires de multi-spécialistes

Schneider Electric est un acteur international et reconnu pour son aptitude à assumer une responsabilité d’ensemble

Ce qui change avec le DC

AC: Monde de l'électrotechnique: cuivre, fer, plastique

- L'énergie se transforme (4 à10 E/kW)
- Commutation facile: passage par 0 de courant facilite l'extinction de l'arc
- Charges faciles à connecter via niveau de tension universel
- Stabilité assurée par énergie cinétique des machines tournantes, facile à agréger
- Tension alternative, 50 ou 60 Hz, peu de risques de corrosion

DC: Monde de l'électrochimie, et du silicium

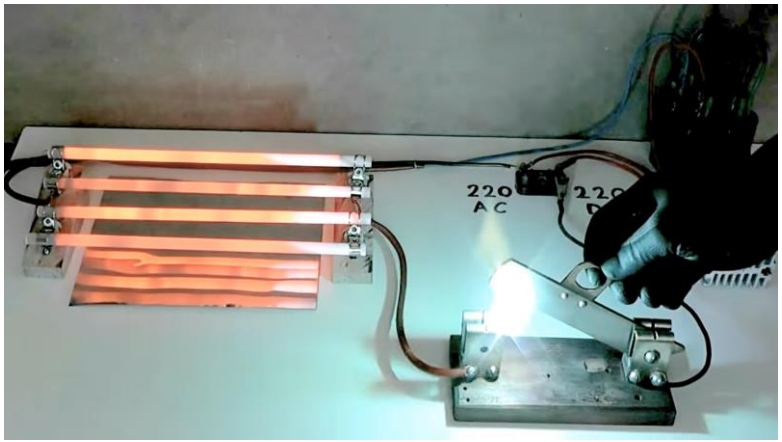
- L'énergie se convertit (40 à 100 E/kW)
- Commutation plus complexe: pas de passage par 0
- Hétérogénéité des tensions de fonctionnement des charges
- Stabilité assurée par stockage d'énergie et pilotage des flux
- Tension unidirectionnelle, favorisant la corrosion et l'accéleration des vieillissements

Life Is On Schneider Electric

Exemples de contraintes apportées par le courant continu 1/2

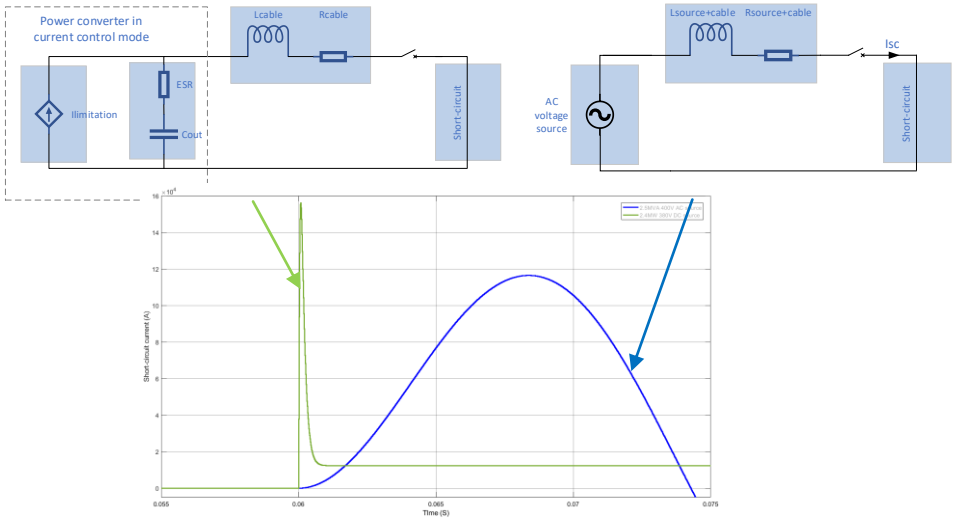
Exigeant une nouvelle conception et exploitation des infrastructures

Commutation



https://youtu.be/Zez2r1RPpWY

Coupure



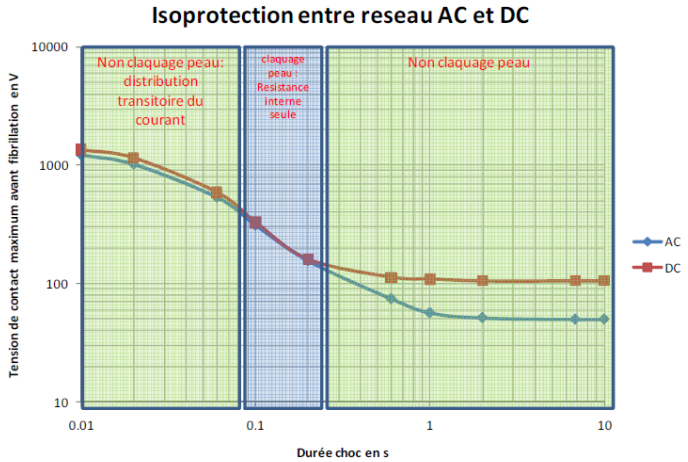
Commuter ou limiter le courant continu nécessite des appareillages plus couteux

Life Is On Schneider Electric

Exemples de contraintes apportées par le courant continu 2/2

Exigeant une nouvelle conception et exploitation des infrastructures

Protection des personnes



Connaissances limitées, études en cours

Corrosion

Effets des courants de fuite sur rail de chemin de fer

Figure 6: Different views of a section of 100 lb rail showing severe corrosion at the base of the rail (Francisco & Gabriel, 2007). Reproduced with permission from the National Academies Press.

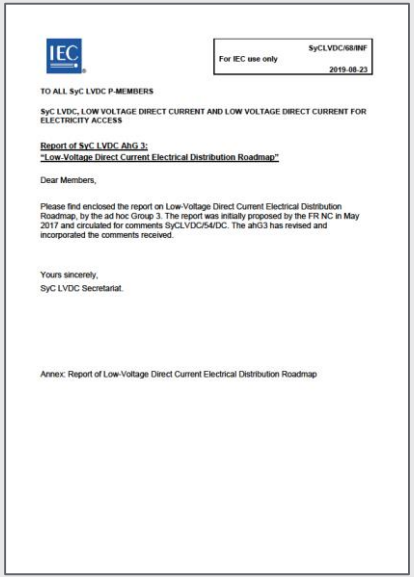
A review on stray current-induced steel corrosion in infrastructure
Chen, Zhipei; Koleva, Dessi; van Breugel, Klaas, 2017

Life Is On Schneider Electric

Ici encore, on voit que le DC est affaire de spécialistes

Avec une maturité du DC qui reste à construire et consolider

Points d'attention développés dans roadmap IEC SyC LVDC



IEC

For IEC use only

SyCLVDC/68/INF

2019-08-23

TO ALL SyC LVDC P-MEMBERS

SyC LVDC, LOW VOLTAGE DIRECT CURRENT AND LOW VOLTAGE DIRECT CURRENT FOR ELECTRICITY ACCESS

Report of SyC LVDC AhG 3:
"Low-Voltage Direct Current Electrical Distribution Roadmap"

Dear Members,

Please find enclosed the report on Low-Voltage Direct Current Electrical Distribution Roadmap, by the ad hoc Group 3. The report was initially proposed by the FR NC in May 2017 and circulated for comments SyCLVDC/54/DC. The ahG3 has revised and incorporated the comments received.

Yours sincerely,
SyC LVDC Secretariat.

Annex: Report of Low-Voltage Direct Current Electrical Distribution Roadmap

Valeurs explicites exprimées par le client final d'un microgrid

COÛT TOTAL tout au long du cycle de vie

Capex: études, équipements, construction

Opex: efficacité énergétique, opérations, contrat énergie…

RESILIENCE

blackouts, évènements climatiques

ENVIRONNEMENT

contribuer aux enjeux environnementaux en limitant les émissions de CO2

La nature du système livré est une décision d'ingénierie qui doit apporter les valeurs exprimées, tout en répondant à des valeurs implicites…

Life Is On Schneider Electric

Valeurs implicites dues pour toute solution

Une infrastructure électrique doit présenter les caractéristiques suivantes

SÛRE	aucun danger pour les personnes et les biens
FIABLE	pas de défaillances dans une durée limitée
MAINTENABLE	sélectivité, détection des défauts, remise en service, gestion des actifs
SCALABLE	le système doit pouvoir s'adapter dans le temps aux évolutions du besoin
INTEROPERABLE	« plug and play » des objets, On/Off

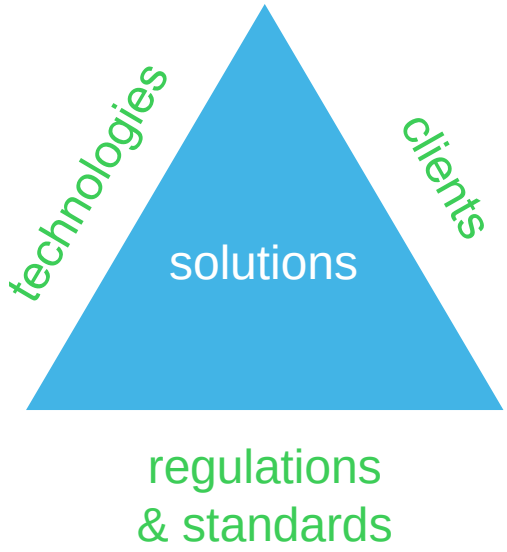
Life Is On Schneider Electric

DC: nous ne sommes qu'au début de l'aventure !

La question n'est pas AC ou DC, mais offrir la solution la plus adaptée aux besoins des clients

L'évolution des technologies est un ingrédient: charges et sources (led, PV, EV, batteries…)

Régulations et géographies peuvent favoriser l'émergence de nouvelles technologies (*exemple du PoE aux US, renouvelables en Californie, posture de la Chine*)



Life Is On Schneider Electric

Le monde de demain sera un mix AC et DC

- ✓ On ne pourra pas échapper à la croissance décarbonnée et résiliente
- ✓ Importance de la flexibilité et en particulier des batteries
- ✓ Le déploiement de ces technologies est affaire de multi-spécialistes

- \+ Ces transformations doivent être opérées en assurant la maîtrise des coûts pour une électricité accessible à tous
- \+ Besoin de mettre en place de nouveaux modèles de marché pour garantir la croissance décarbonnée tout en rémunérant le service réseau

Life Is On | Schneider Electric

IEEE PES France
Soirée MV/LV DC

Une opportunité pour les réseaux de distribution ?

18/03/2021

L’émergence du courant continu

- Un écosystème en évolution :
  - Progrès majeurs de l’électronique de puissance et émergence du HVDC
  - Baisse des coûts durables, poussés par différents secteurs (ferroviaire, ENR, automobile)
  - Innovations technologiques en émergence (SST, SiC, GaN, etc.)

- Une proportion importante d’énergie consommée en DC dans l’habitat, le tertiaire, l’industrie

directement (éclairages LED, électronique, informatique, domotique),

au sein de variateurs de vitesse pour la commande optimisée des moteurs (électroménager, PAC)

- 3 grands usages « natifs DC » en développement : **PV, VE, Stockage**
  - **Usages structurants pour les réseaux de distribution basse et moyenne tensions**

⇨ **Mutualiser des éléments de conversion ?**

⇨ **Tirer partie des avantages du DC pour les systèmes électriques ?**

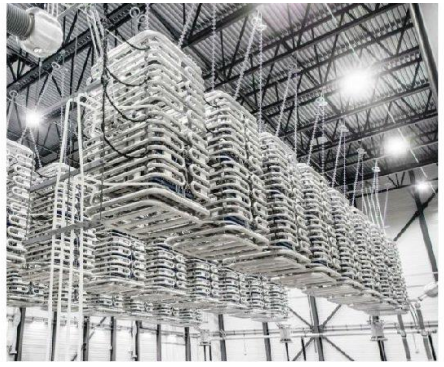
Encore aujourd’hui, la liaison SACOI reste une des rares liaisons HVDC multi-terminales dans le monde

LE PLAN stockage électrique

LE PLAN MOBILITÉ ÉLECTRIQUE

Solutions HVDC – MVDC – LVDC

Deux mondes bien distincts



Transport HVDC : Un monde déjà bien structuré

Acteurs connus et cas d'usages ciblés / solutions cas par cas
Enjeux actuels : Ruptures technologiques et réseaux HVDC multi-terminaux

Distribution MVDC / LVDC : De nombreuses initiatives à l'échelle internationale

Plusieurs projets LVDC
Aéroport de Lelystad (projet pilote par Alliander)
Plusieurs bâtiments tertiaires DC
Projet H2020 « DC Smart » avec 2 démonstrateurs LVDC

2 démonstrateurs LVDC
DC industrie
Flexible Elektrische Netze

Consortium référence Emerge
Démonstrateurs LVDC
Tertiaire : Bâtiments NextEnergy, PNC Bank
C&I : Commerces Honda's Chino Project
Data centers SteelORCA
Résidentiel : Oakland Ecoblock Project

Angle DC : projet MVDC
Network Equilibrium HTA/MVDC

EPRI régionaux mobilisés (Zhejiang, Jiangsu, Shanghaï, Hubei) :
Démonstrateurs d'ampleur MVDC/LVDC en secteurs Industriel, Tertiaire, Résidentiel

Vu d'un gestionnaire de réseaux de distribution :
- Des **initiatives** sous forme de projets de recherche, de démonstrateurs, de projets pilotes…
- Mais **pas encore de réplication à grande échelle** (ou de forme de solution standard au catalogue)

Une opportunité pour les métiers autour de la distribution d'électricité ?

Des avantages potentiels à utiliser le DC et l'ELP dans les réseaux de distribution publics comme privés :

Facilitation du contrôle des flux de puissance et des grandeurs du réseau (« *nativement* »)

→ **meilleure intégration des PV, VE, stockage**

Amélioration de l'efficacité énergétique (meilleur rendement global de conversion et diminution des pertes réseau)

→ **diminution OPEX**

Réduction des coûts globaux d'équipements (mutualisation des conversions et gains en câblage)

→ **diminution CAPEX**

Possibilités nouvelles d'interconnexion de réseaux

→ **flexibilité des réseaux**

- Vu d'un opérateur de parcs ENR, d'un gestionnaire d'IRVE, d'un industriel

  → peut permettre de disposer d'architectures optimisées à coût réduit, d'autant plus si desservi en DC

- Vu d'un gestionnaire de réseau de distribution :
  - Nouveaux usages électriques dans le contexte de transition énergétique et de la SNBC
  - Productions décentralisées en développement

  → disposer de solutions alternatives à des renforcements couteux pour la collectivité

  → faciliter l'accès au DC sur les réseaux intérieurs de clients qui souhaitent l'utiliser

  → disposer de nouvelles structures pour améliorer la disponibilité et/ou l'efficacité du réseau

Une opportunité pour les métiers autour de la distribution d'électricité ?

Mais de nombreux challenges techniques et réglementaires:

- Pas de standard d'architectures et de niveaux de tension en DC (ni en moyenne ni en basse tension)
  → *premiers documents IEC sur des réseaux publics en cours d'écriture*
- Peu d'équipements disponibles sur le marché européen (distribution et usages)
  → *en développement*
- Quelques questionnements techniques restants (protection, qualité, fiabilité)
  → *travaux R&D*

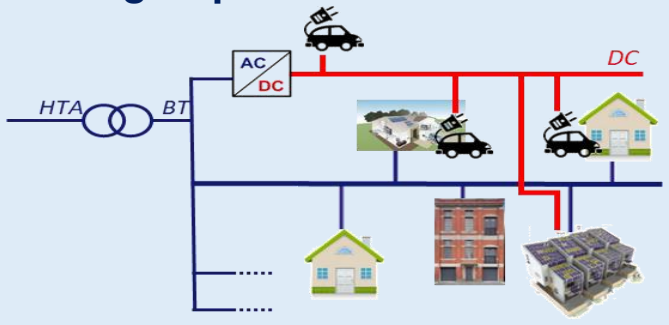
- Des besoins d'évolution et des questionnements globaux :
  - Définition des règles de raccordement à un réseau DC
  - Spécificités de l'exploitation de systèmes DC ? Notamment entretien, maintenance…
  - Impact sur le fonctionnement du réseau existant ? Coexistence des réseaux AC et DC
  - Structuration de la filière industrielle et adaptation du métier des distributeurs

→ A prendre en compte dans l'analyse coût/bénéfice globale par cas d'usage

- Pertinence économique sur le long terme de la mise en place d'une solution MVDC/LVDC (nouvelle technologie structurante, aux spécificités marquées) ? → *travaux R&D*

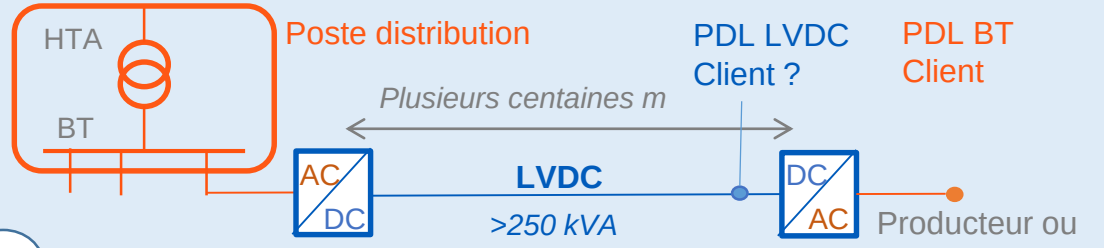
Distribution MVDC/LVDC: Cas d'usage explorés

Hybridation AC/DC des réseaux pour une meilleure efficacité énergétique



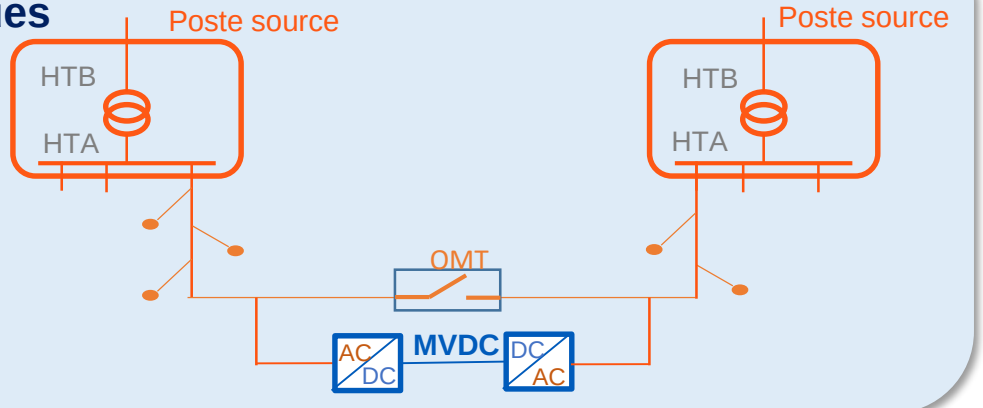
1

Raccordements de forte puissance et/ou de grande longueur



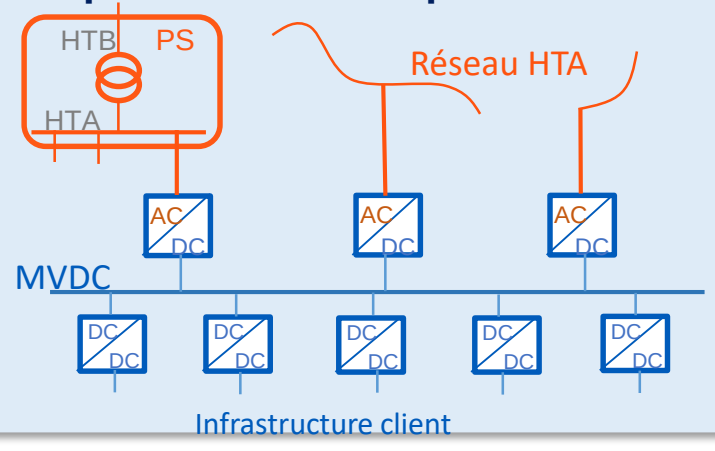
2

Pilotage des flux de puissance entre poches électriques



3

Raccordement d'opérateurs « linéiques » de transport



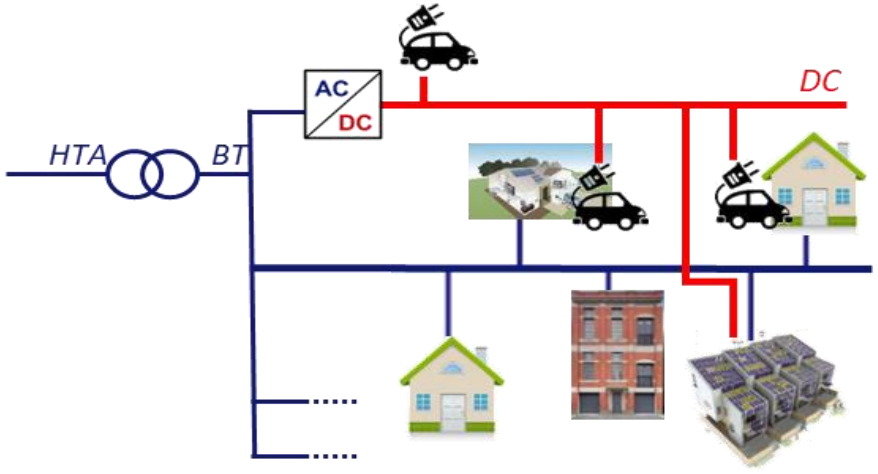
4

Distribution MVDC/LVDC: Cas d'usage 1 exploré

Hybridation AC/DC des réseaux pour une meilleure efficacité énergétique

- Cas 1 : Distribution publique BT hybride AC/DC
  - Réseau DC spécifique IRVE, PV, stockage voire électronique de puissance en général
- Cas 2 : Desserte d'un nouvel ensemble pavillonnaire ou d'immeubles
  - Autoconsommation collective
  - Alimentation DC des parties communes

1



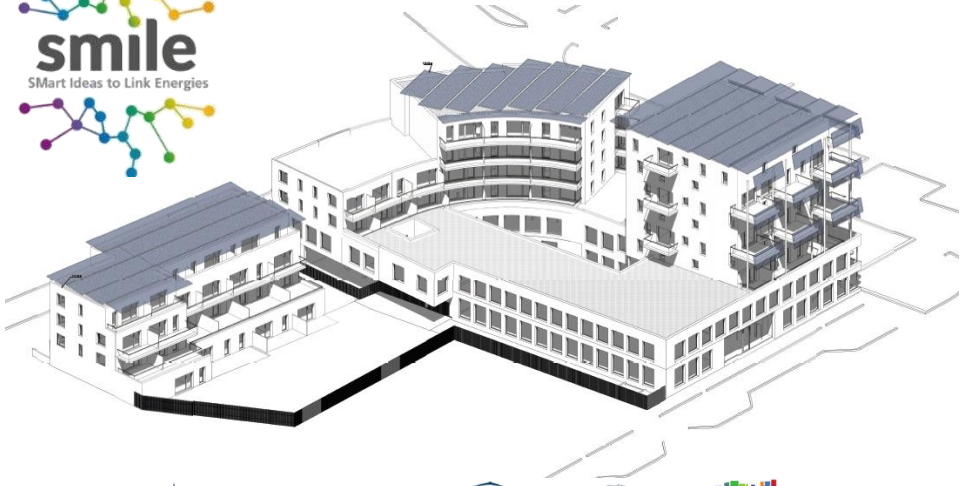
- **Apports potentiels :**
  - **Meilleure efficacité énergétique globale** par mutualisation de la conversion et diminution des pertes en liaison
  - En planification ou pour les raccordements de VE/PV : **alternative à des renforcements** couteux si contraintes tension/courant
  - Pour les cas de déploiement de réseau : **Investissement réduit**
  - En exploitation : **Possibilités de contrôle** de la tension et de la puissance réactive grâce aux convertisseurs
  - Pour les clients desservis en DC : **Economies au niveau des appareillages** et déploiement facilité de PoE et USB-PD

- **Challenges spécifiques :**
  - Choix de topologies du système DC et des niveaux de tension
  - Questionnements sur l'architecture du poste de distribution, l'intégration dans l'environnement existant, les technos à utiliser
  - Définition de règles de raccordement LVDC
  - Matériels et stratégies de protection

Exemple d'exploration par Enedis de ce cas d'usage

Un projet de démonstrateur sur le territoire du Pays de la Loire

AUTOGREEN : bâtiment mixte à énergie positive, intégrant
une distribution et des usages en DC



Bâtiment mixte

- Tertiaire, 2-3000 m²
- Résidentiel, 4-5000 m²
  70 logements

Briques énergétiques DC :

- Production EnR (PV, Cogénération, Géothermie), stockage batteries

Usages DC :

- Eclairage zone tertiaire, communs, motorisation volets roulants
- Bornes VE partagées

Mise en place par Enedis d'un démonstrateur de desserte du bâtiment par un réseau hybride AC/DC permettant :

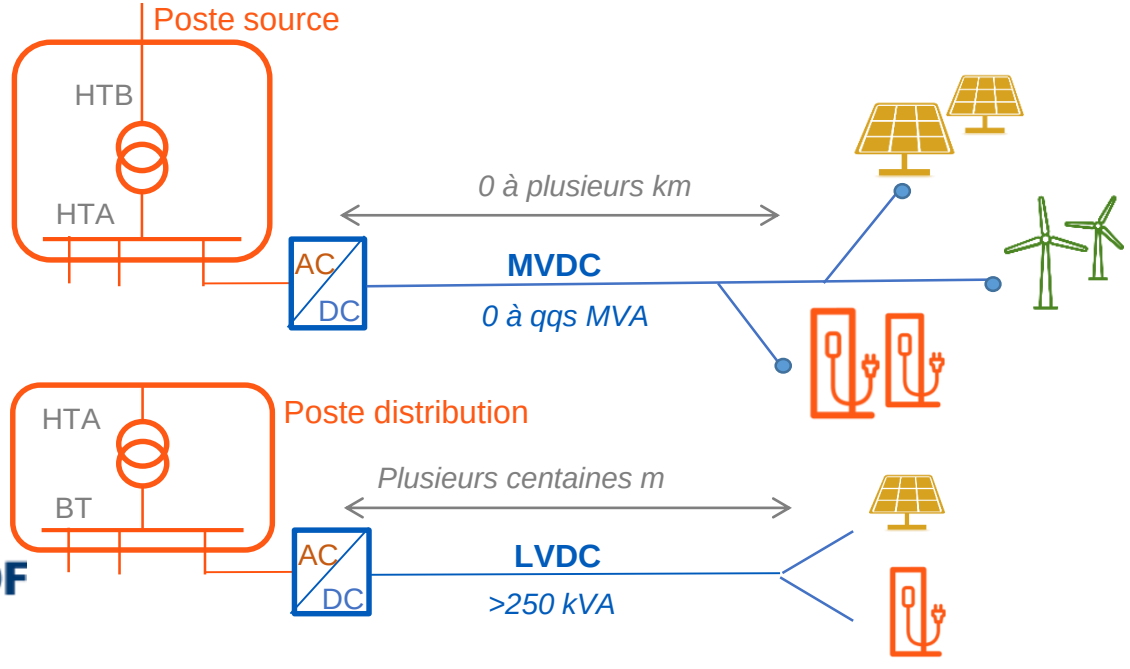
- D'apprécier l'intérêt de telles solutions, les conditions de leur mise en œuvre, leurs performances et leurs limites.
- D'appréhender sur le terrain les problématiques associées : exploitation, plan de protection, QF, comptage, facturation, normes, …
- De développer des savoir-faire sur le courant continu et de confirmer sa capacité à maîtriser tous les contextes d'un DSO de référence, en tant qu'acteur et partenaire incontournable

Distribution MVDC/LVDC: Cas d'usage 2 exploré

Raccordements de forte puissance et/ou de grande longueur

- Cas 1 : Alimentation/raccordement d'un ou plusieurs clients éloignés ou site isolé (conso ou prod)
  - Liaison LVDC ou MVDC
- Cas 2 : Desserte en DC de sites industriels pour des usages « statiques »
  - Raccordement direct des machines (à variateur de vitesse), éclairage LED, chaud-froid, ENR et stockage

2



- **Apports potentiels :**
  - Capacité de transit supérieure à tension et section équivalentes et potentielle diminution des capex (évitement du recours à des dédoublements de conducteurs)
  - Diminution des pertes en liaison
  - Limitation des contraintes de tension grâce aux possibilités de contrôle des tensions et puissances

- **Challenges spécifiques :**
  - Besoin de définition des règles de raccordement DC :
    - puissance limite de raccordement,
    - seuils de contrainte en tension,
    - niveaux de perturbations…
  - Définition de « dimensionnements standards » :
    - niveau de tension, architecture, puissance des convertisseurs, section des conducteurs, etc.

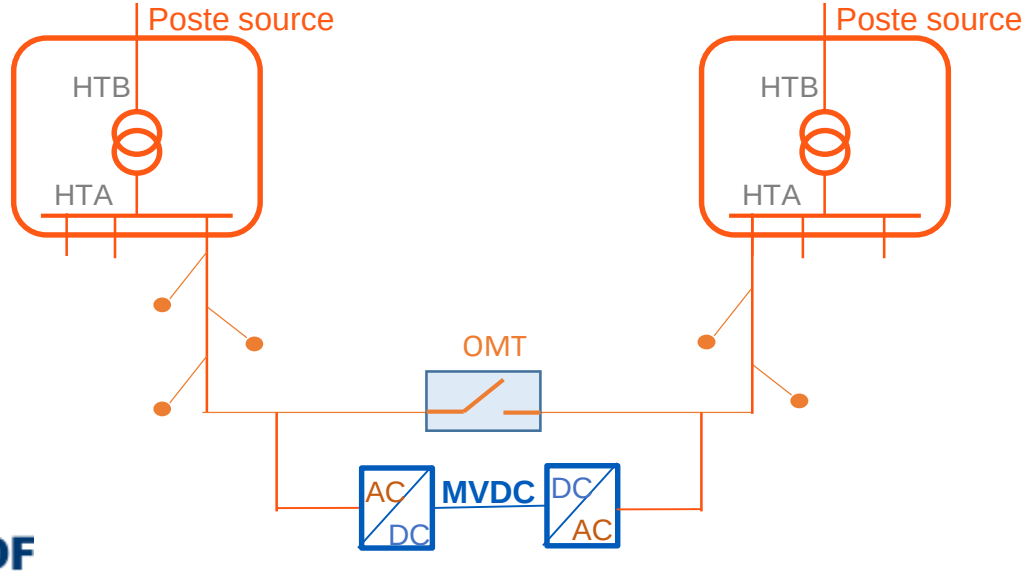
Distribution MVDC/LVDC: Cas d'usage 3 exploré

Pilotage des flux de puissance entre poches électriques

- Interconnexion permanente de poches HTA :
  - Liaison MVDC

  ou
  - Liaison HTA et convertisseur AC/DC/AC

3



- **Apports potentiels :**
  - Alternative à d'autres renforcements : **pilotage de flux de puissance** permettant un lissage/rééquilibrage entre postes
  - Capacité d'accueil : gestion des **contraintes de tension**
  - Interconnexion de poches électriquement non compatibles: indice horaire, qualité de la tension
  - Nouveaux schémas de reprise : connexion entre zones d'indice horaire différent

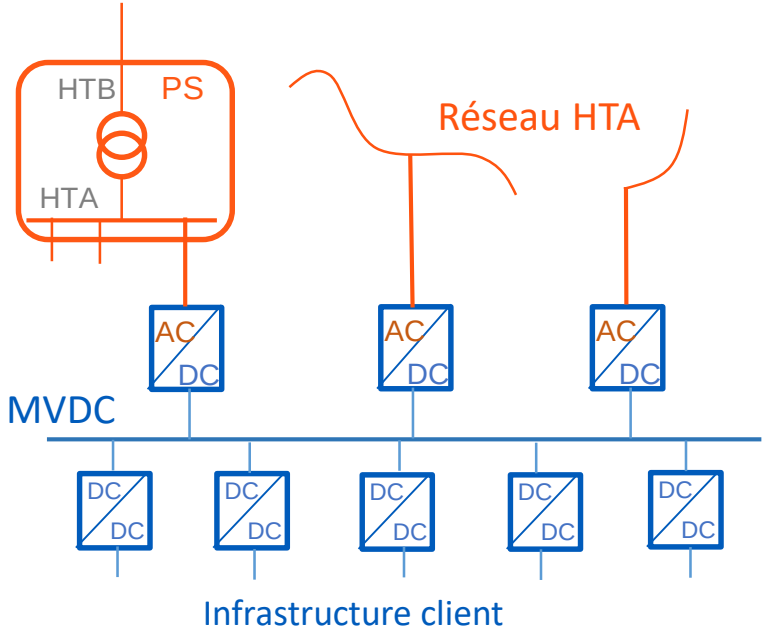
- **Challenges spécifiques :**
  - Solution technologique (conversion vers ou depuis MVDC):
    - Maturité, fiabilité, protection, comportement sur défaut
    - Intégration : dimensionnement, encombrement, poids
  - Nécessité d'obtention des données technico-économiques pour comparer aux autres solutions de renforcement
  - Identification de cas où celle-ci est solution de référence par études comparatives

Distribution MVDC/LVDC: Cas d'usage 4 exploré

Raccordement d'opérateurs « linéiques » de transport

- Solutions de raccordements réparties pour des opérateurs de grandes infrastructures
  - Réseaux ferroviaires
  - Autoroutes électriques

4



- **Apports potentiels :**
  - Apport de la solution de raccordement « répartie » HTA : Extensions HTA plus facilement intégrables dans la planification et coût global du raccordement potentiellement moins important.
  - Apports de la solution MVDC : Dimensionnement au plus juste et impact réparti, potentielle diminution des pertes en liaison sur le périmètre RPD.
  - Apports d'une gestion par le GRD de la partie MVDC : Rapprochement du RPD au plus près de la voie, raccordement potentiel d'autres « clients MVDC » facilité.

- **Challenges spécifiques :**
  - Développement des mécanismes de contrôle-commande permettant la gestion d'une telle infrastructure
  - Si PDL en DC, définition des règles de raccordement
  - Définition et obtention des données technico-économiques permettant la comparaison en coût global avec les solutions de raccordement au RPT ou par départs directs au RPD ;
  - Identification de cas où celle-ci est solution de référence par études comparatives.

Une activité multi-projets à la R&D d'EDF

Objectifs

- Démontrer la pertinence technico-économique de solutions de distribution DC
- Développer des applications du DC et travailler à la mise en place de démonstrateurs
- Identifier des partenariats susceptibles d'en favoriser le développement
- Anticiper les ruptures technologiques dans les réseaux HVDC et ENR

Technologies HVDC | **Usages du DC** | **Technologies du DC** | **Solutions Performantes en Résidentiel** | ...

Technologies HVDC

Définition et évaluation technico-économique de cas d'usage MVDC et LVDC

Simulation des réseaux AC/DC

Protection des réseaux DC, Qualité de l'électricité DC

Architectures optimales pour un poste de distribution hybride AC-DC

Partenariats/collaborations
Projets Européens (ex. EMPIR DC Grids)
JS EPRI en Chine

Normalisation et veille
IEC SyC LVDC, TC8, TC13, GT CIRED…

Etude des matériels MVDC/LVDC

Criblage des équipements DC

Stratégie MVDC/LVDC en Chine

- Stratégie nationale portée par State Grid (SGCC) sur le sujet du DC, depuis HVDC jusqu'au LVDC

- Nombreux centres de recherche EPRI régionaux en charge de démonstrateurs,
  dont Zhejiang, Jiangsu, Shanghaï, Hubei
  - Démonstrateurs MVDC :
    - Une dizaine, généralement dans le but de rééquilibrer les consos/prods sur les réseaux HTA et faciliter l'intégration d'EnR
  - Démonstrateurs LVDC :
    - Industriel, Tertiaire, Résidentiel

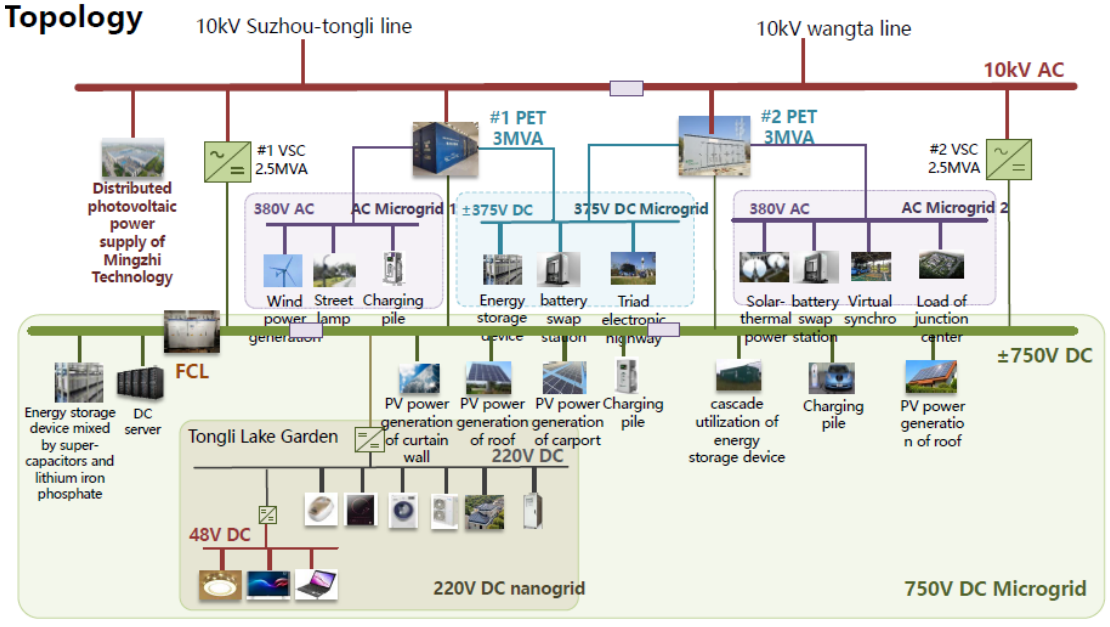
- Les constructeurs impliqués depuis les éléments d'ELP (NARI) du réseau jusqu'à l'électroménager (Haier)
  - NARI fournit des solutions clé en main : convertisseurs MVAC/MVDC, protections MVDC, TFE MVDC/LVDC
  - Haier a développé des usages résidentiels

- Une très forte capacité de développement et une volonté de progresser vite:
  - **Positionnement sur les technos classiques** pour disposer rapidement de produits (même si non optimisés)
  - En parallèle, **investissement en R&D sur les technos de types "grand gap"**

Exemple de démonstrateur MVDC/LVDC

❑ Démonstrateur résidentiel/tertiaire à Tongli

- Showroom avec bâtiments DC : Data center, VE, stockage, PV
- **Phase 1 projet résidentiel : petit quartier résidentiel avec maisons DC** à Tongli Lake Garden :
  - 100 kW de charges DC: Chargeurs VE (**± 750Vdc**), Electroménager : climatiseur, réfrigérateur, cuisinière à induction, cuiseur à riz, machine à laver (**220Vdc**), Petits appareils (TV, ordinateurs) en **48Vdc**
  - 96 kW de capacité PV et 25 kWh de stockage sur batterie
- **Phase 2 et 3 : grand quartier DC à Tongli** :
  - 300 bâtiments pour 20 MW (5 MW de C&I, 15MW résidentiel)
  - Réseau distribution **750Vdc** et distrib interne **375Vdc** et **48Vdc**



Observé : économie d'énergie d'environ 9% sur la phase 1
Simulé : 12 à 13% de gain pour le futur grand projet

Conclusions / perspectives

EDF R&D au cœur du DC

Montée en puissance du courant continu et plus généralement de l'électronique de puissance en réseau

EDF R&D accompagne le groupe et ses filiales pour :

- Identifier les **cas d'usages prometteurs de distribution MVDC/LVDC, publique comme privée**
- Réaliser des **études comparatives entre différentes solutions (classiques, ELP, DC)**
- Etudier les **spécificités techniques du courant continu qui font émerger des challenges, notamment par des thèses** :
  - Protection (matériels et stratégies)
  - Qualité de l'électricité (indicateurs, limites)
  - Technologies de conversion les mieux adaptées

En parallèle ou en cours de lancement

- **Partenariats, notamment avec le JS EPRI en Chine**
- **Travaux en normalisation : implication dans le SyC LVDC de l'IEC et dans plusieurs groupes IEC (TC8, TC13)**
- **Démonstrateurs et expérimentations** de solutions à but de démonstration de faisabilité technique
- Accompagnement de la filière (par ex. participation à des GT CIRED, SBA, etc.)
- Continuer les travaux engagés depuis des années dans **les solutions HVDC et ENR**

Merci

Contact Programme EDF R&D :

- *Pierre Lemerle*

Contacts techniques EDF R&D :

- Matériels, technologies : *Philippe Egrot*
- Réseaux, systèmes : *Kévin Lorenzo*

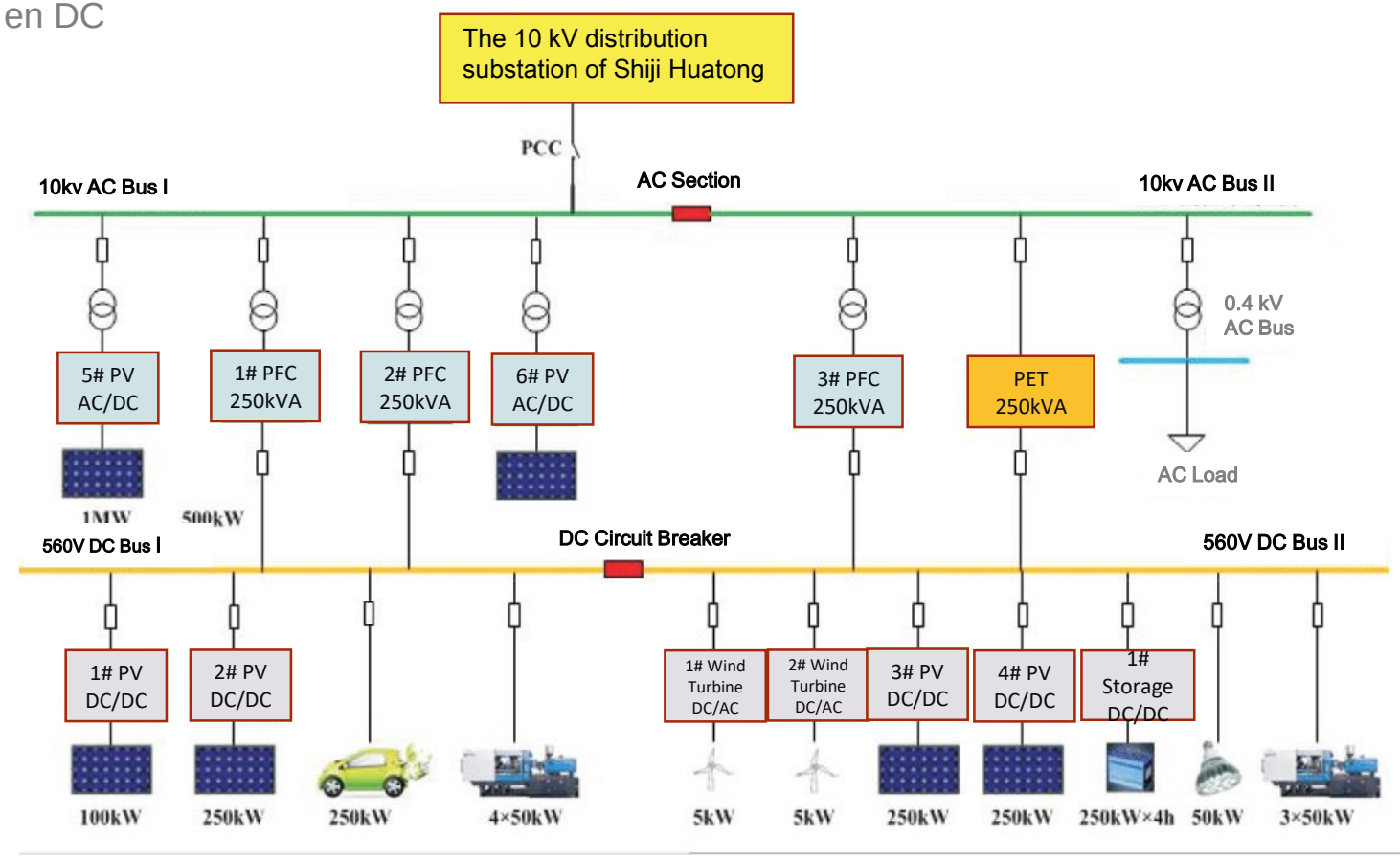
Pierre.lemerle@edf.fr, Philippe.egrot@edf.fr, kevin.lorenzo@edf.fr

Annexes

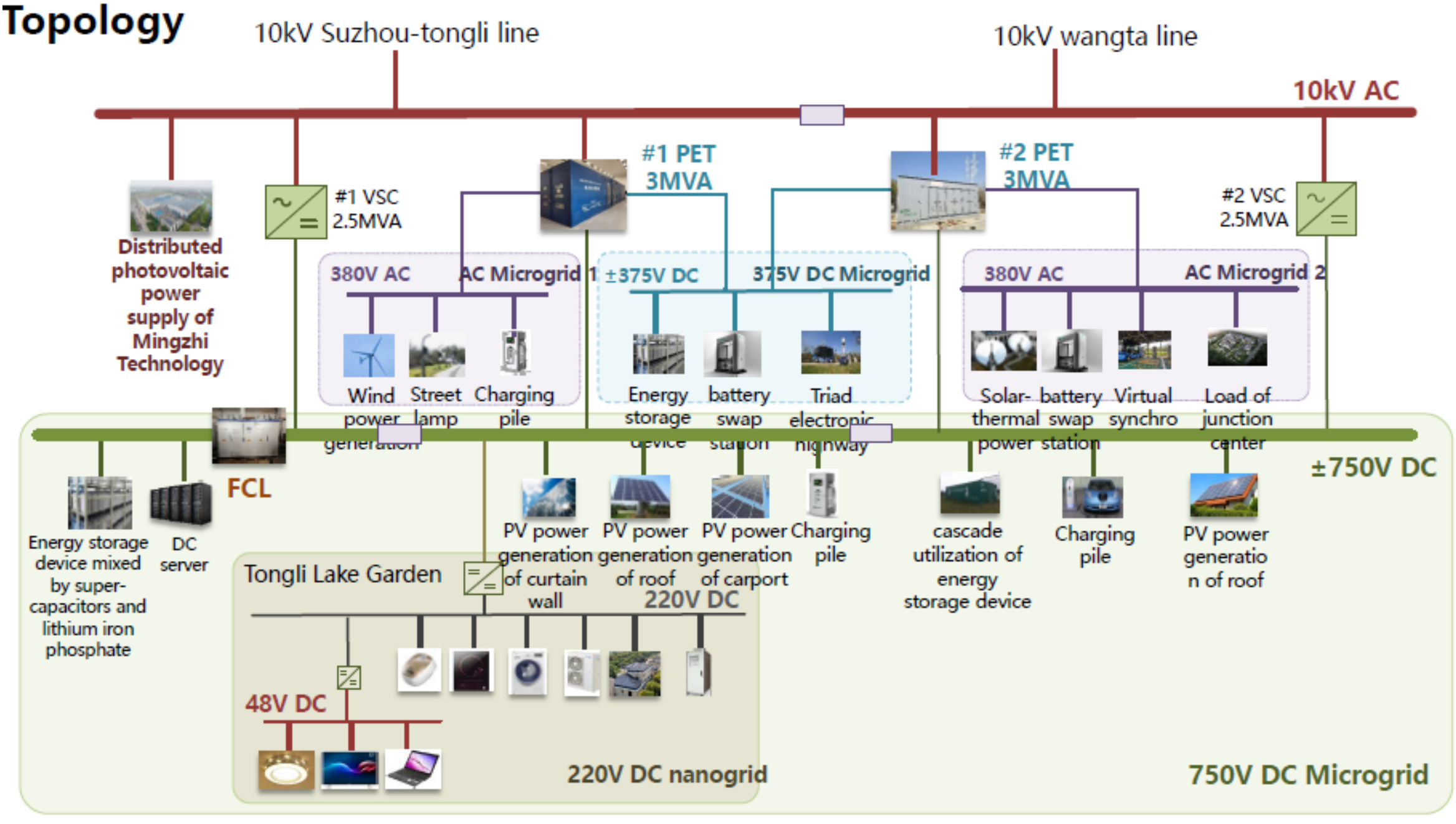
Autres exemples de démonstrateurs en Chine

Exemple de démonstrateur LVDC industriel

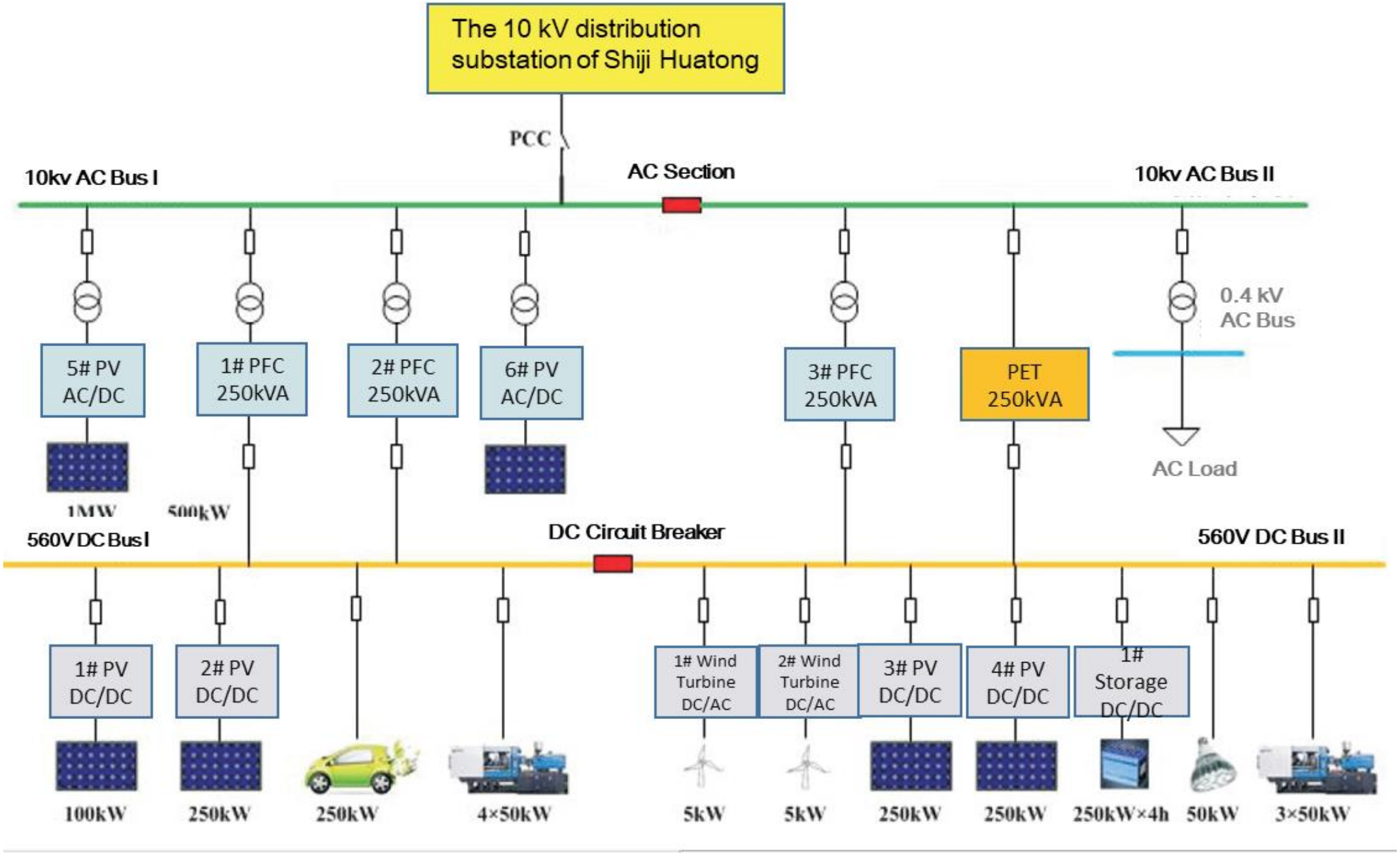
- Industriel à Shangyu (usine de plasturgie, équipementier automobile) :
  - Microgrid ilotable hybride MV+LV AC/DC
  - 2 topologies de conversion : PFC (tfo +convertisseur) et PET (tfo électronique)
  - Machines de plasturgie VFD alimentées directement en DC
  - PV, VE chargeurs rapides, stockage



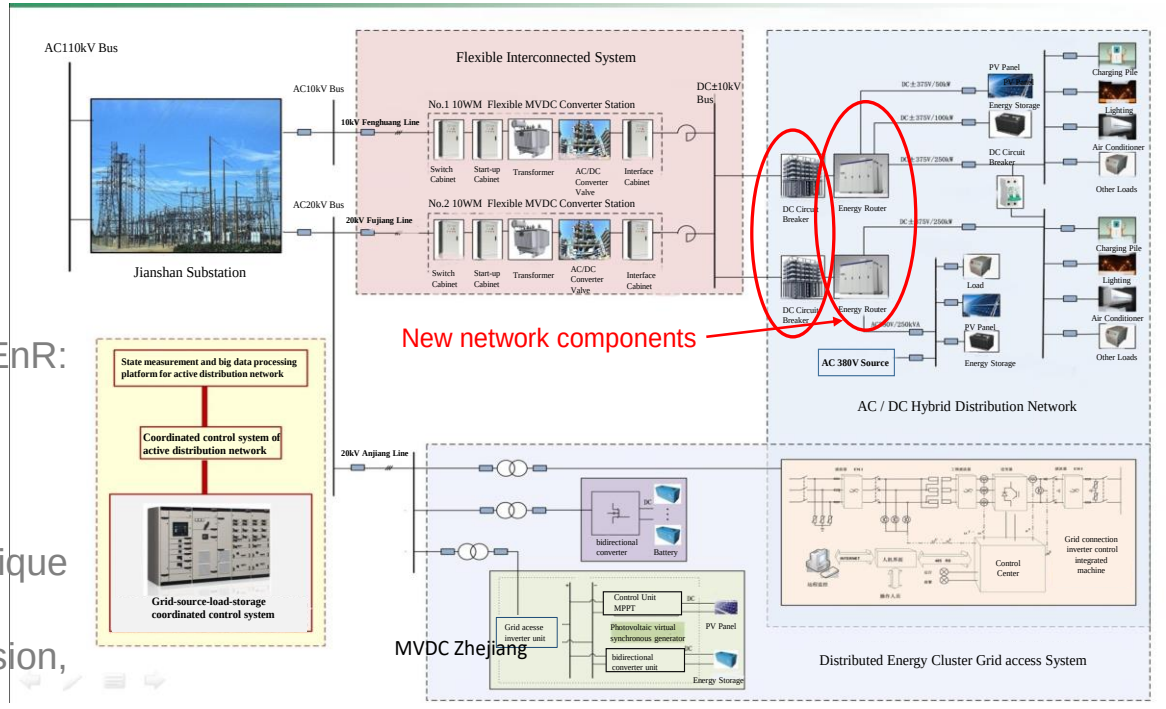
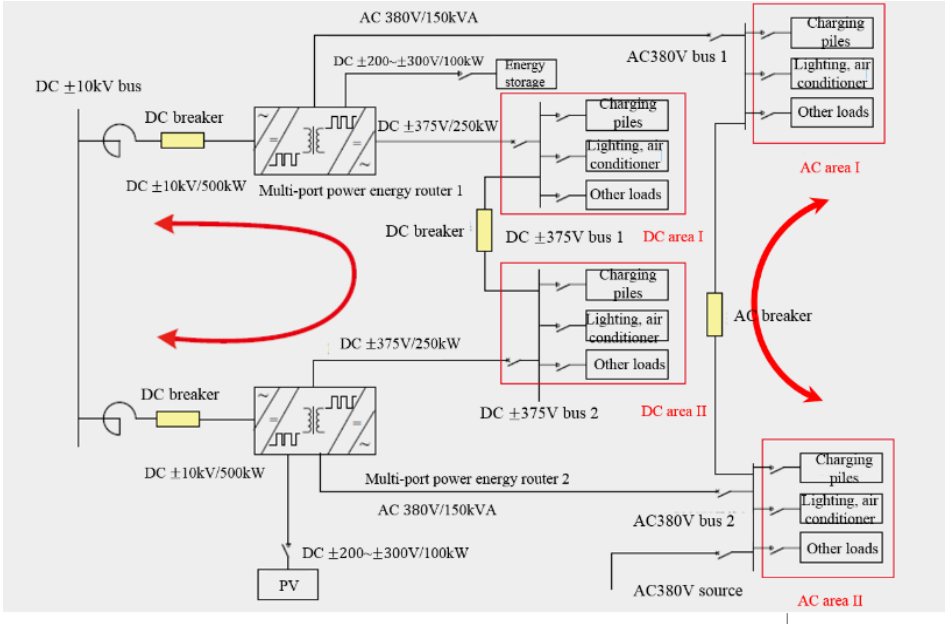
Démonstrateur à Tongli en Chine : Résidentiel et tertiaire



Démonstrateur à Shangyu en Chine : Industriel



Démonstrateur réseau MVDC/LVDC

❑ Démonstrateurs MVDC/LVDC

- Contexte:
  - Le district de Jianshan : zone industrielle de 30km² avec beaucoup d'EnR: 200 MW de PV, 50 MW (25 x 2 MW) d' éolien.
  - Zone alimentée par 2 postes 110/20kV et 1 poste 110/10kV.
- Problème :
  - Capacité PV représente 42,6%, 95,9% et 96,4% de la conso électrique des sous-stations de distribution
  - Problèmes d'inversion du flux de puissance → contraintes de surtension, mais aussi fluctuations et flicker
- Démonstrateur en 2 parties:
  - **Station de conversion MVAC / MVDC:**
    - Deux bus AC (10 kV et 20 kV) interconnectés avec un bus DC 10 kV avec une solution AC/DC/AC back-to-back
    - Stratégie de commande lors de l'interconnexion: un convertisseur en source de tension, l'autre en source de puissance.
  - **Réseaux hybrides LVAC / LVDC avec 2 Energy routers:**
    - Port d'entrée: 500kW 10kV DC
    - Port de sortie 1: 250 kW 375V DC
    - Port de sortie 2: Port 100kW 200V DC (batterie)
    - Port de sortie 3: 150kVA 380V AC
    - Entrée de liaison - sortie 1: forme un TFE DC/DC (10kV/375V DC) avec haute fiabilité, rendement élevé, et grande densité (SiC)