



AGENCE NATIONALE POUR
LA MAITRISE DE L'ÉNERGIE
A N M E

Un engagement durable et renouvelable

LES MICRO-RÉSEAUX

DU CONCEPT AUX PLATEFORMES EXPÉRIMENTALES

Ilhem SLAMA-BELKHODJA

Professeur, Département Génie Electrique , ENIT

MICROGRID PLATFORM

USCR-MGP



SOMMAIRE

- ❑ Micro-réseaux : concepts de base
- ❑ Stratégies de contrôle et de gestion des micro-réseaux AC
- ❑ Plateformes expérimentales

MICRO-RÉSEAU : DÉFINITION

- ❑ Groupe de charges interconnectées et de ressources énergétiques distribuées (DER) dans des limites électriques clairement définies qui agissent comme une seule entité contrôlable par rapport au réseau*.
- ❑ peut se connecter et se déconnecter du réseau pour fonctionner selon les 2 modes.
- ❑ peut fonctionner de manière contrôlée et coordonnée dans les deux modes



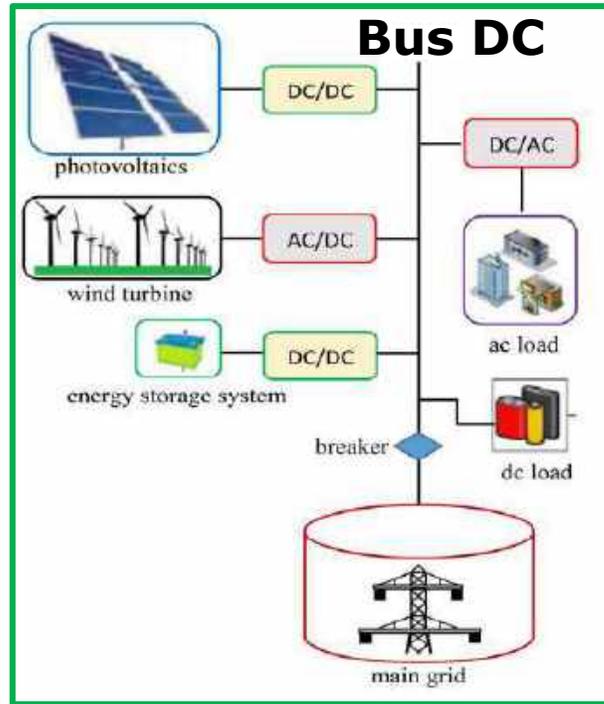
- En mode connecté au réseau, le flux d'alimentation est bidirectionnel.
- En mode îloté, l'alimentation électrique de Micro-réseau doit répondre à la demande de charge

**According to the US Department of Energy (DOE), as well as Electric Power Research Institute (EPRI)*

CLASSIFICATION SELON LE RÉSEAU DE DISTRIBUTION

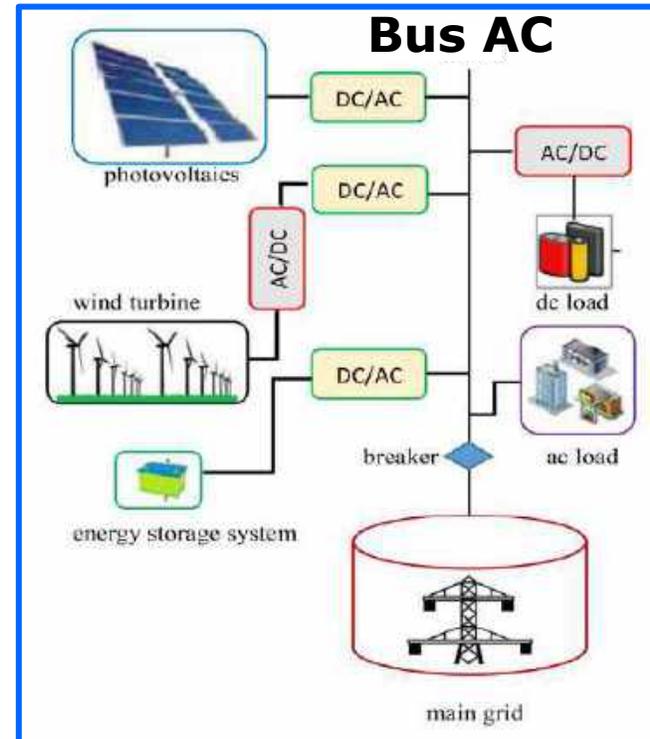
Micro-réseau DC

Monopolaire, bipolaire ou homopolaire

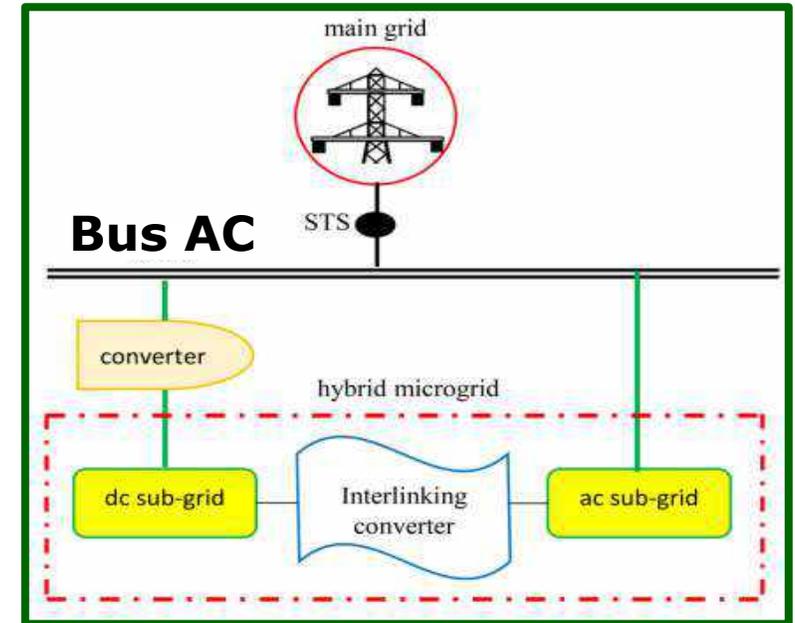


Micro-réseau AC

Monophasé, triphasé 3 ϕ ou 4F



Micro-réseau hybride, DC & AC



-Fiabilité & efficacité supérieures
-capacité à être connectés à différentes DER



Complexité du contrôle et du fonctionnement

Shahgholian, G. A brief review on microgrids: Operation, applications, modeling, and control. *Int Trans Electr Energ Syst.* 2021

CLASSIFICATION : SELON LA TAILLE

- 1. Installation unique : < 2 MW** - Petites installations individuelles avec plusieurs charges, telles que des écoles ou des hôpitaux.
- 2. Plusieurs Installations : 2-5 MW** - Petites et grandes installations traditionnelles de cogénération avec des charges locales exclusivement C&I*.
- 3. Départ (*Feeder*) : 5-20 MW** - Installations de cogénération traditionnelles petites à grandes avec des charges locales en grand nombre ou de grande taille, typiquement C&I.
- 4. Sous-station : >20 MW** - Centrale de cogénération traditionnelle avec de nombreuses charges locales de grande taille. C&I et résidentiel.
- 5. Électrification rurale** - Villages ruraux de nombreux marchés émergents de l'Inde, Chine, Brésil, etc., ainsi que les établissements ruraux en Europe et en Amérique du Nord.

* C&I : *Commercial & Industriel.*

CLASSIFICATION : SELON LA « FONCTION » DE MR

1 : MR pour la sauvegarde uniquement

- Fonctionne uniquement lorsque le réseau électrique principal est en panne
- La génération est dimensionnée pour couvrir uniquement les charges critiques

2 : MR pour alimenter une zone isolée

- Jamais connecté au réseau électrique principal (par exemple, un système éloigné du réseau principal)
- Dispose d'une production locale suffisante pour couvrir toute la charge locale

3 : MR hybride pour des raisons économiques

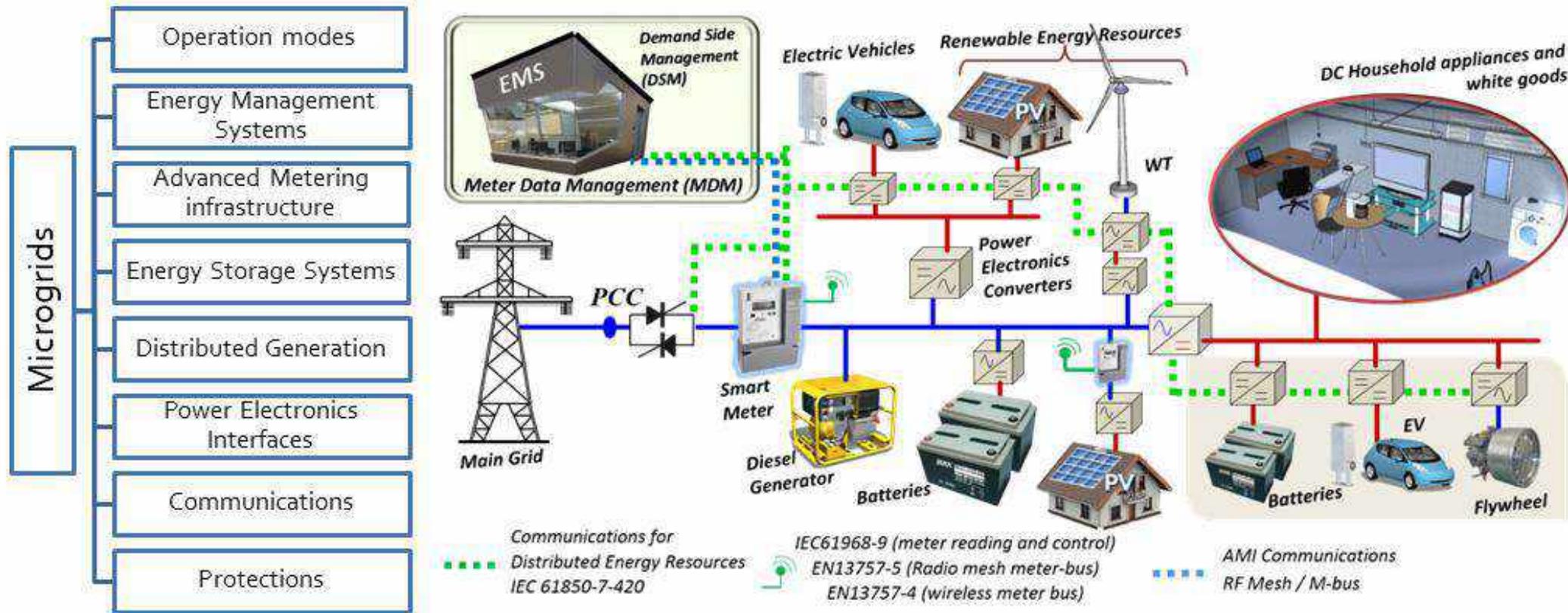
- Fonctionne en partie connecté au réseau et en partie déconnecté
- Mode de fonctionnement : déterminé par des facteurs tels que les coûts, la panne du réseau principal, l'approvisionnement en carburant, etc.
- Dispose d'une production locale suffisante pour couvrir toutes les charges critiques locales, au minimum

COMPOSANTS

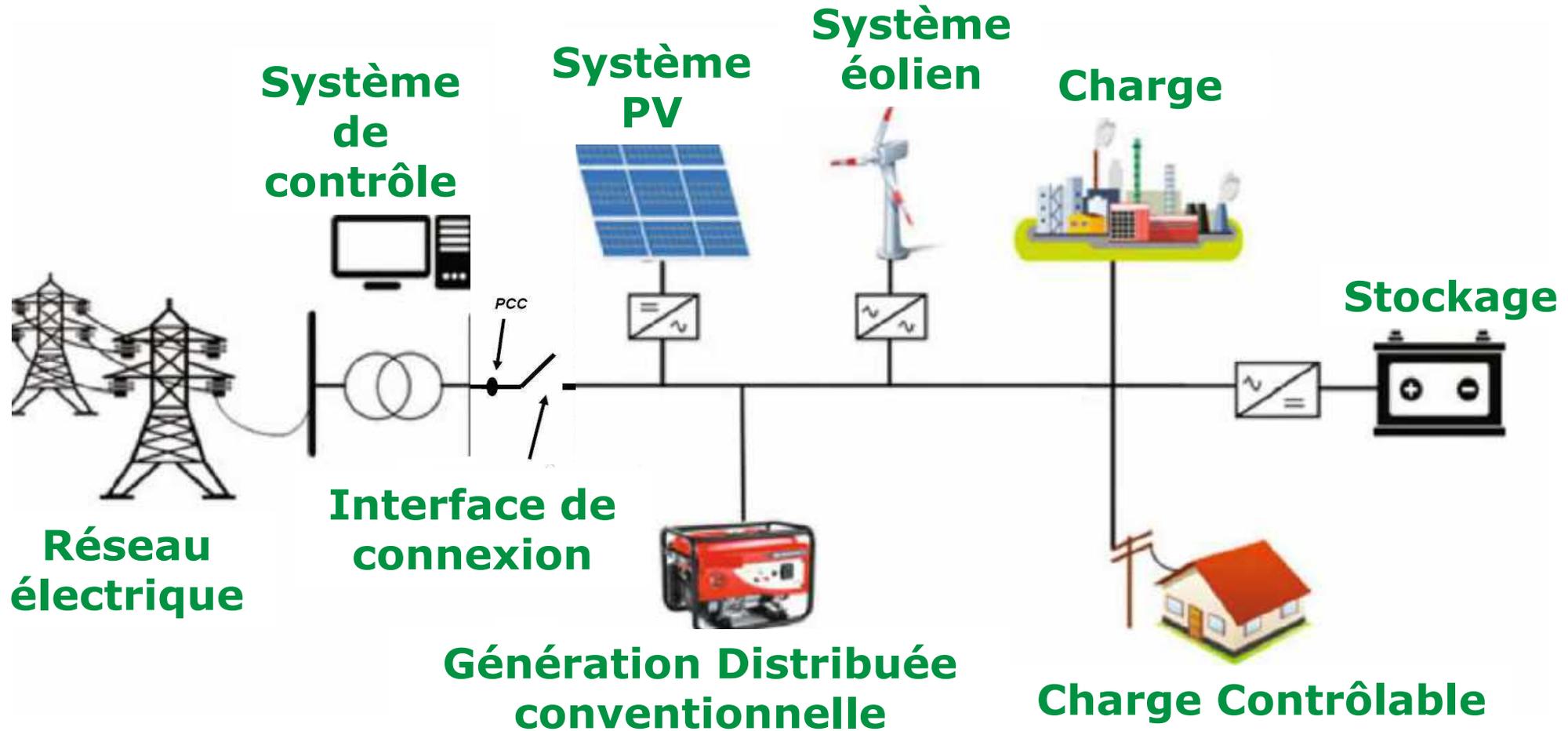
Principaux composants et représentation d'un MR selon la norme IEEE 1547.4

Microgrid components

IEEE Std 1547.4



STRUCTURE SIMPLE D'UN MR



Livre « Microgrids », Springer , 2021

TECHNOLOGIES

Fonctionnement du MR : Fortement lié aux technologies de ses composants

source d'énergie (distribuée génération), stockage d'énergie, Commutateurs d'interconnexion et le système de contrôle.



Génération distribuée

Comprend l'utilisation de sources d'énergie renouvelables, comme le photovoltaïque, les éoliennes et les piles à combustibles (*fuel cell*).

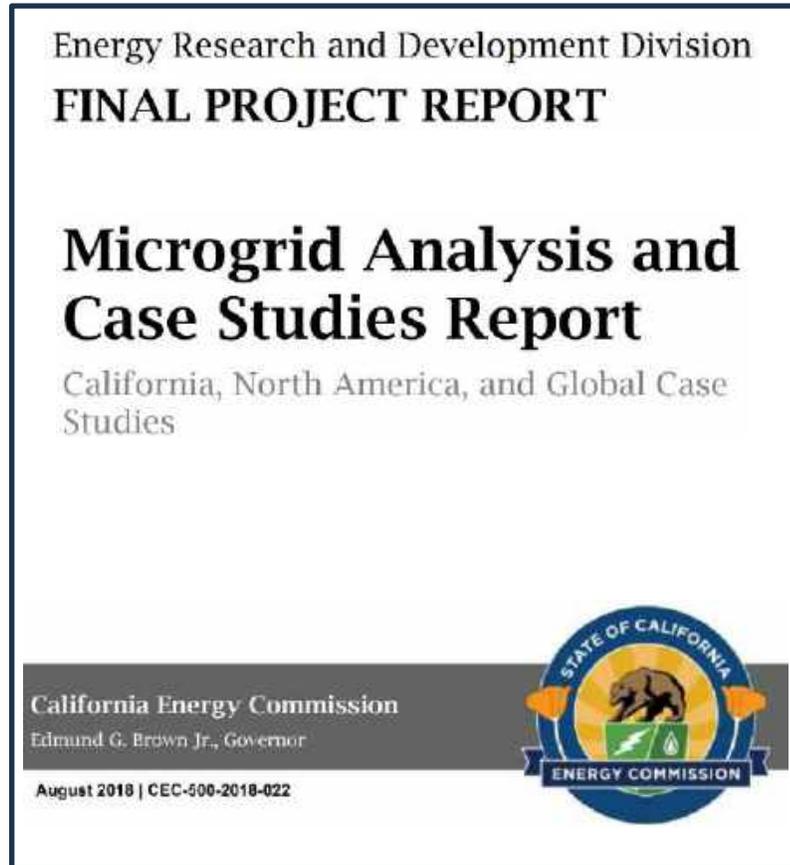
Plusieurs systèmes d'alimentation améliorent leur efficacité en utilisant la technologie de cogénération (chaleur et puissance combinées) comme les micro-turbines.

Stockage d'énergie

Batteries, super capa et volants d'inertie.

- Stabilisation du système de micro-réseau face aux fluctuations RER et des variations des charges
- Partage de charge dans le MR.
- Réduction des pics de charge et les interférences électriques
- Source d'énergie de secours

Santoso, Hartono & Budiyo, Y. & Setiabudy, Rudy. (2013). Review of microgrid technology. 127-132. 10.1109/QiR.2013.6632550.



US Marine Corps Logistics Base
OATI Microgrid Technology Center
General Motors E-Motor Plant
General Motors Milford Data Center.
Ameren Distribution Microgrid

...

Kansas Survival Condo

 Project Background.....

 Technical Characteristics

 Costs

 Business Model

 Lessons Learned

 Contacts & Sources

[Final Project Report, Microgrid Analysis and Case Studies Report](#)

EXEMPLES DE MICRO-RÉSEAUX

<http://microgridprojects.com/>

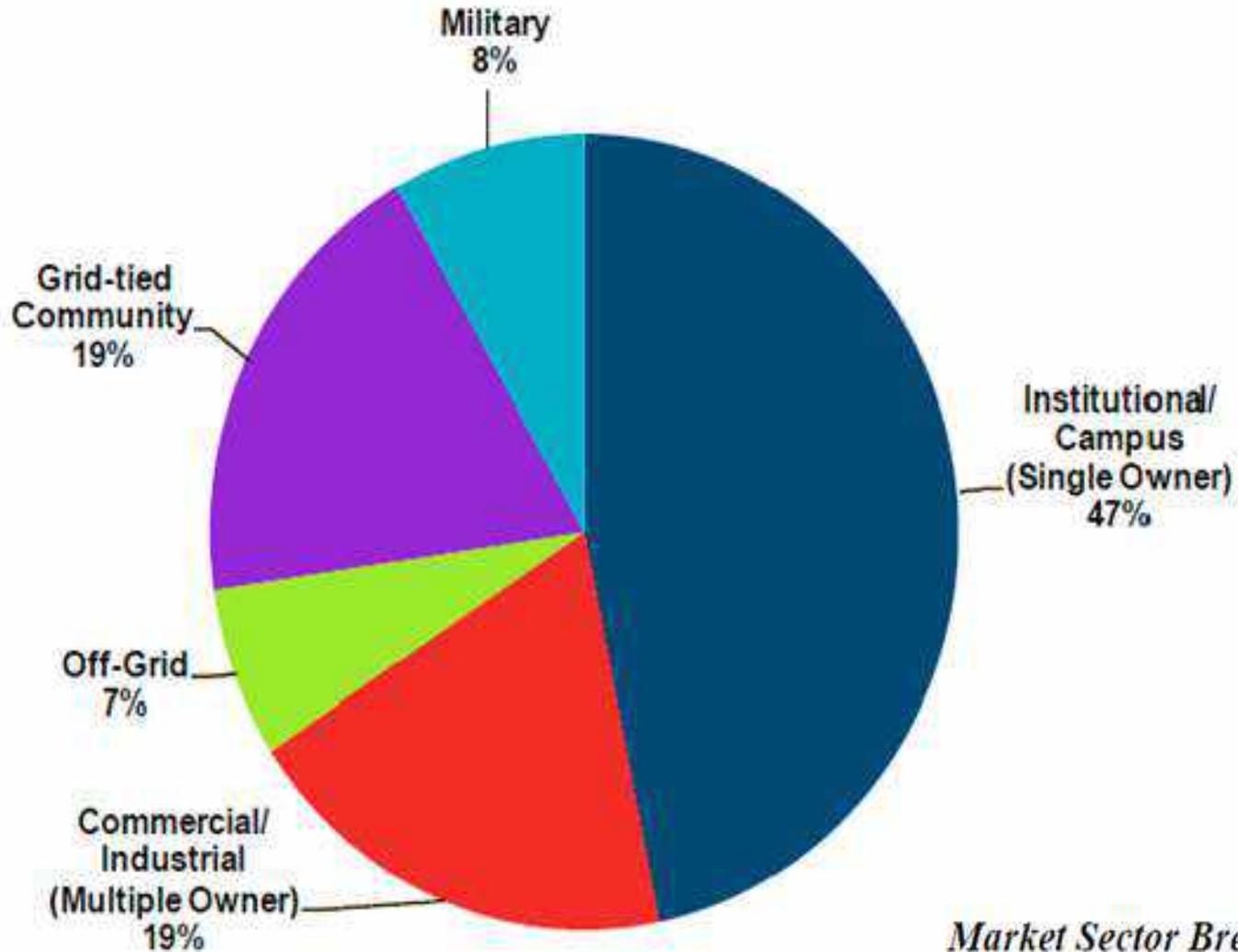
The screenshot shows the 'Microgrid Projects' website interface. The navigation bar includes 'Contribute', 'Microgrid Markets', 'Microgrid News', 'Microgrid Companies', and 'Contact'. The main content area features several filters:

- Status:** A dropdown menu with options: Feasibility, Operational, - R&D, and Planning.
- Location:** A dropdown menu currently showing 'South Africa'.
- Type:** A dropdown menu with options: Industrial, Island, Military, Milligrid, Mining, NGO, Prison, Remote, Resort, University, and Urban.

Below the filters, there is a section titled 'Show Featured Microgrid Companies:' with a list of companies and their checkboxes:

Select Microgrid Company:	
<input type="checkbox"/> SELCO	<input type="checkbox"/> Optimal Power Solutions
<input type="checkbox"/> Vergnet	<input type="checkbox"/> Sisyan LLC
<input type="checkbox"/> CleanSpark	<input type="checkbox"/> EarthSpark
<input type="checkbox"/> Microgrid Systems Laboratory	<input type="checkbox"/> Aalborg University

SEGMENTS DE MARCHÉS DES MR

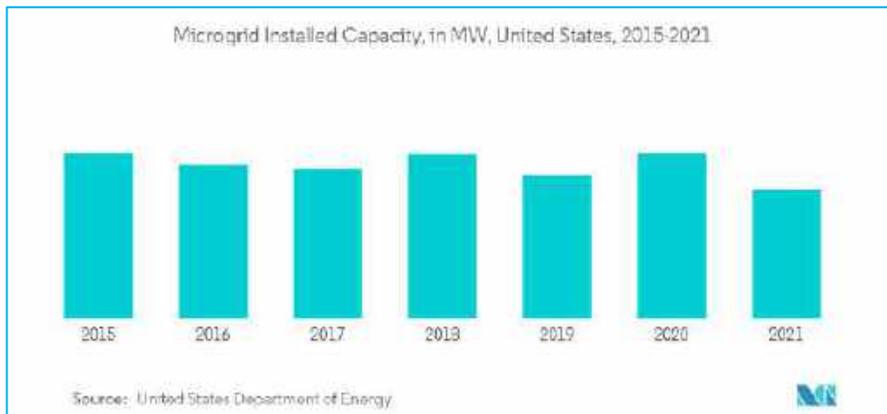


Market Sector Breakdown. Source: Pike Research.

[An Introduction to AC Microgrids for Energy Control and Management \(europeanmoocs.eu\)](https://europeanmoocs.eu)

SEGMENTS DE MARCHÉS DES MR

Microgrid Market - Size, Report & Research Analysis



(mordorintelligence.com)

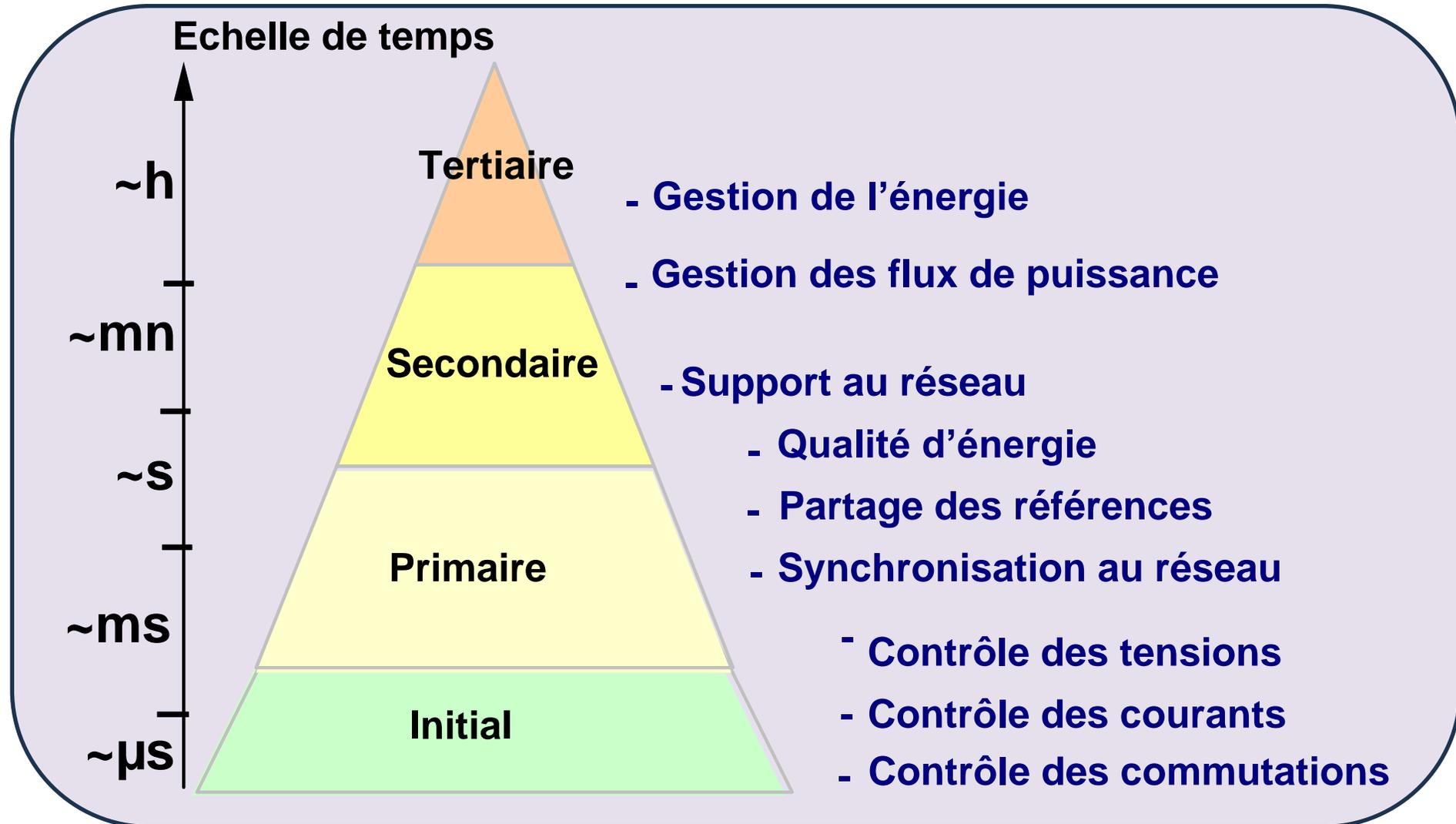
Microgrid Companies - Top Company List (mordorintelligence.com)

SOMMAIRE

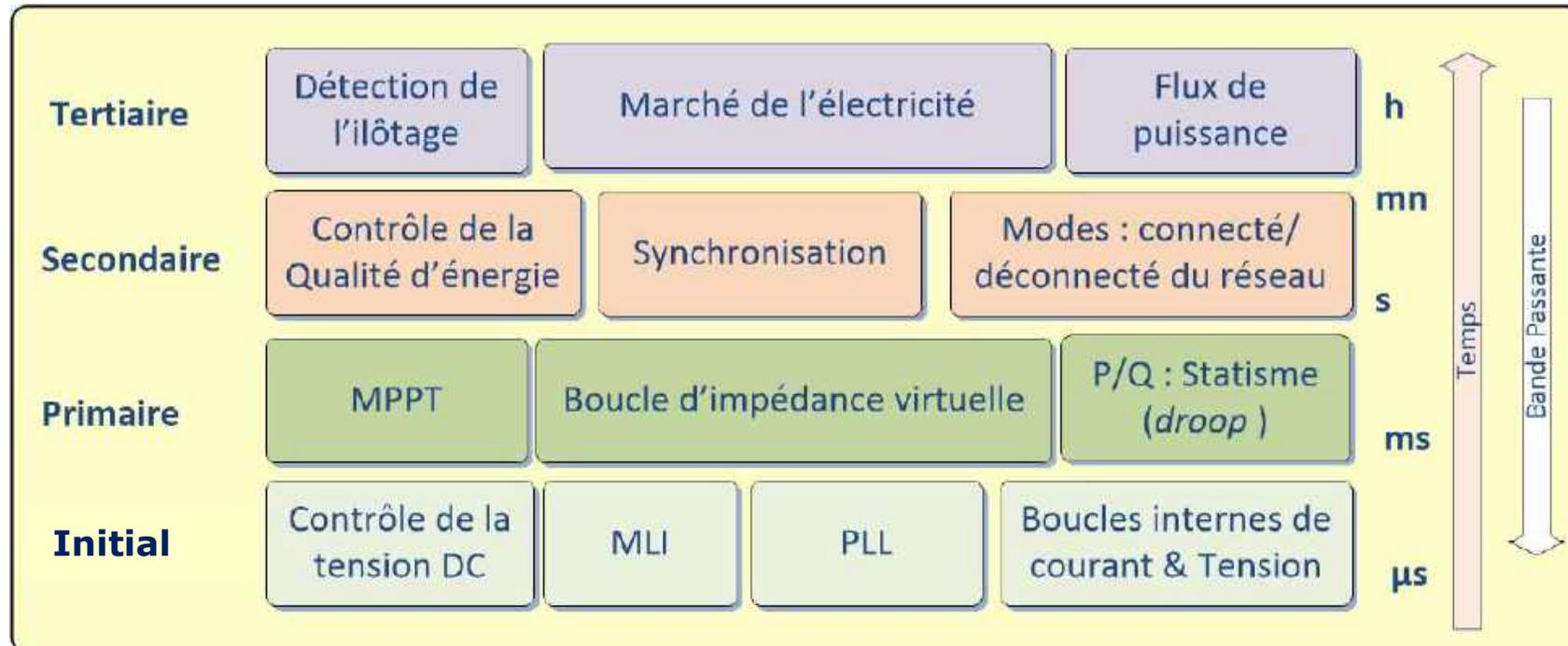
- ❑ Micro-réseaux : concepts de base
- ❑ **Stratégies de contrôle et de gestion des micro-réseaux AC**
- ❑ Plateformes expérimentales

NIVEAUX HIÉRARCHIQUES DES CONTRÔLES

04 niveaux de contrôle



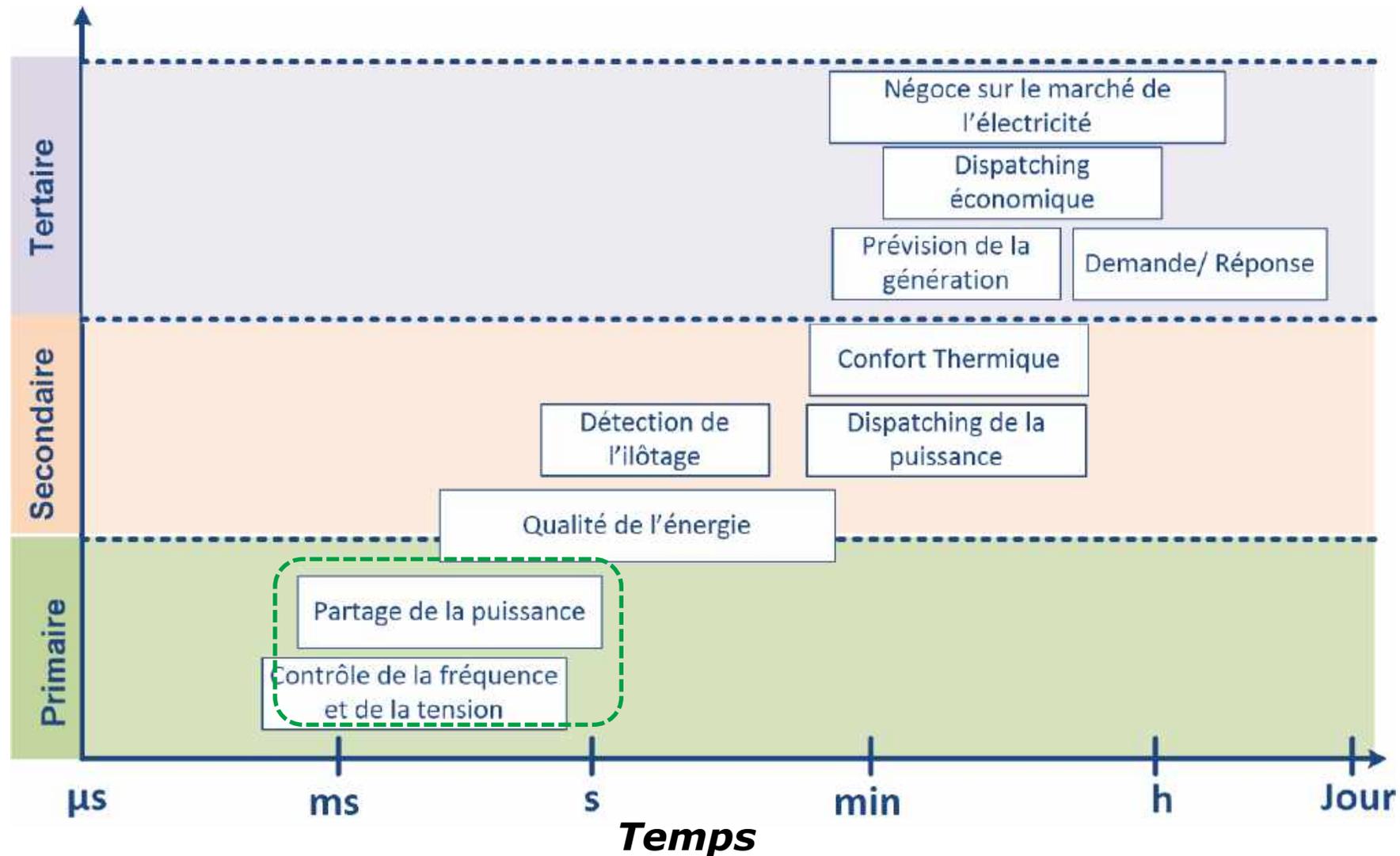
NIVEAUX HIÉRARCHIQUES DES CONTRÔLES



- **Large bande passante** → dynamiques plus rapides, faible atténuation du bruit, pôles hautement négatifs.
- **Faible bande passante** → dynamiques plus lentes, forte atténuation du bruit, pôles de boucle fermée de micro-réseau proches de l'axe imaginaire.
- Chacun de ces niveaux de contrôle est conçu séparément en raison de la différence de leurs dynamiques.

THESE DE DOCTORAT J.F.P Montenegro "Integrated Power Sharing Control Method for Three-Phase Inverter-Based Generators with Applications in Microgrid" 2019, Université de Porto Rico

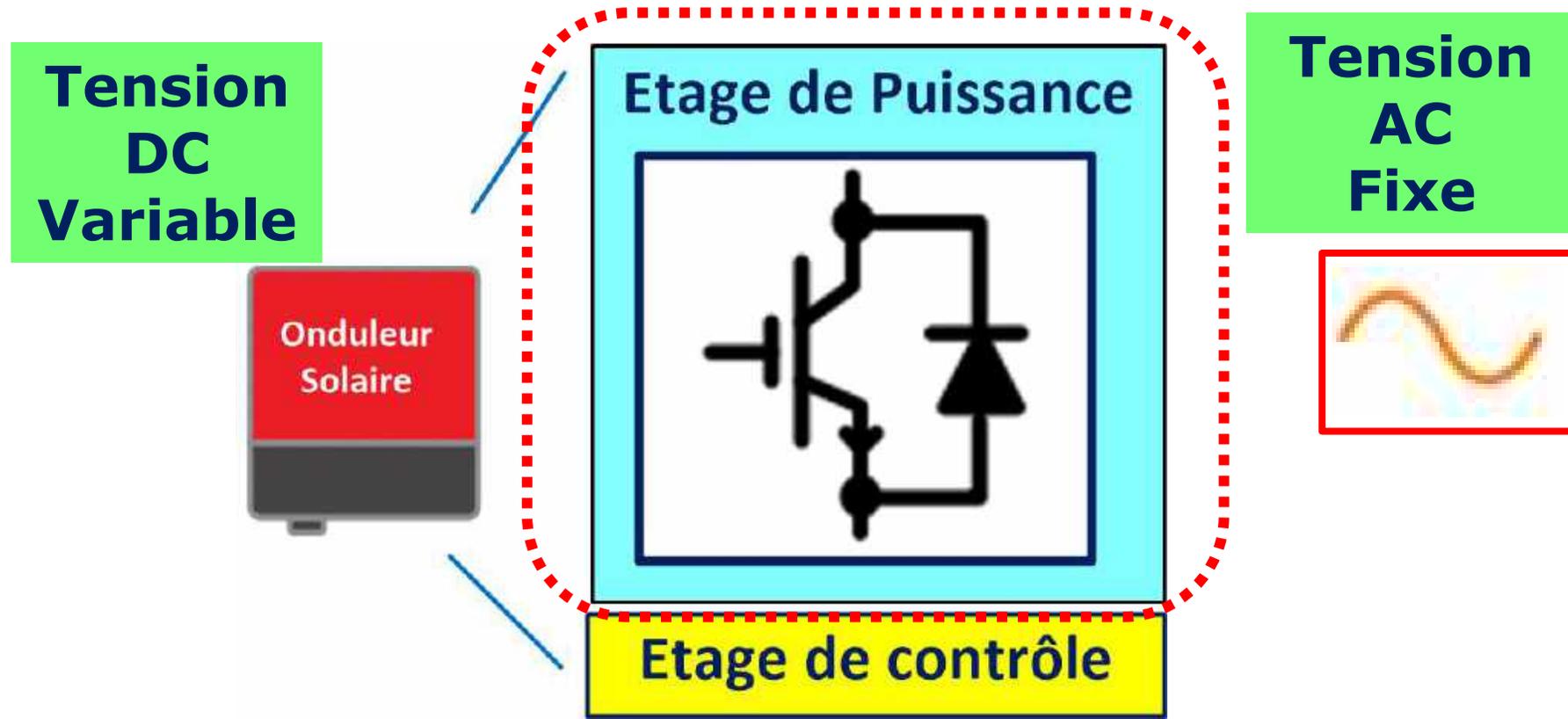
ECHELLES DE TEMPS DES PRINCIPALES FONCTIONS « CONTRÔLE » DANS UN MR



A. Anvari-Moghaddam & al « Microgrids, Advances in Operation, Control, and Protection”, Springer, 2021

CONTRÔLE INITIAL

Onduleur de tension : phénomènes de commutation, μs



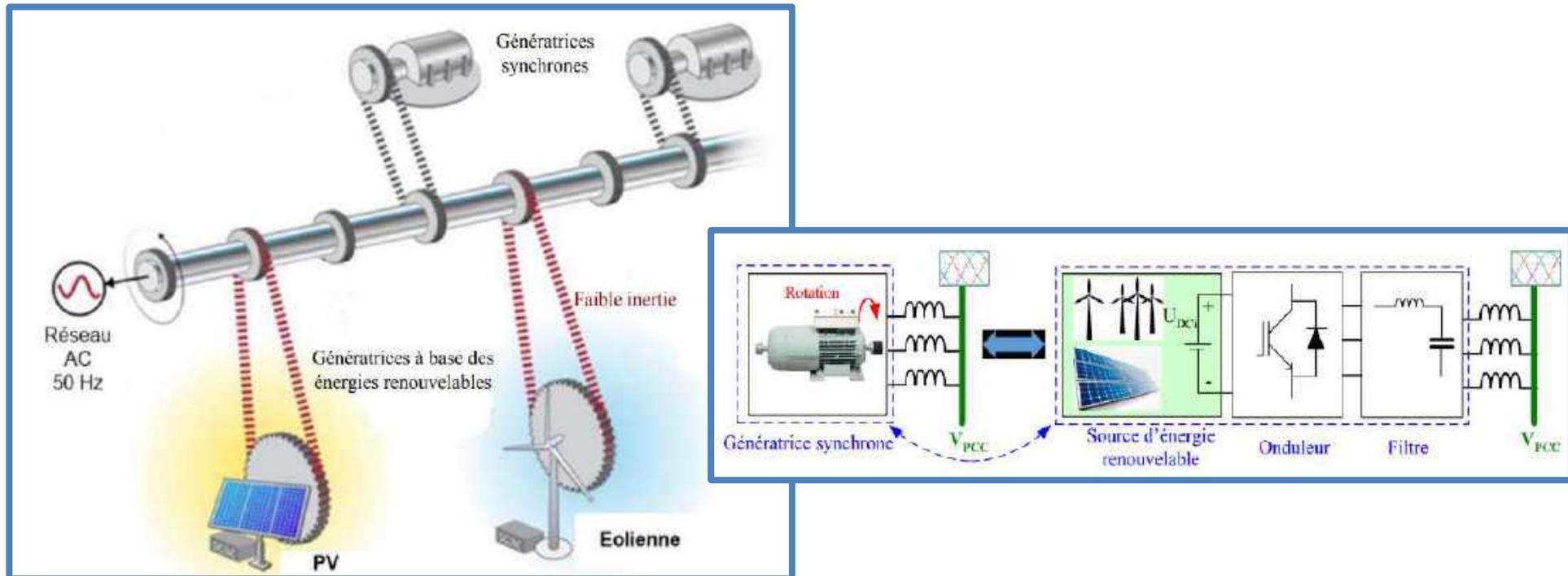
CONTRÔLE PRIMAIRE

Rôle

1. Maintenir la tension et la fréquence dans des limites acceptables,
 2. Partage actif et réactif de la puissance entre les DER fonctionnant en parallèle
- ❑ Le contrôle primaire doit être **plus rapide** que les schémas de contrôle secondaire et tertiaire.
 - ❑ Il est constitué de **boucles de contrôle de tension et de courant des DER**, où les DER à base de VSC peuvent être exploités
 - soit comme un onduleur de source de tension à commande de tension (VCVSI)
 - soit comme un onduleur de source de tension à commande de courant (CCVSI).
 - ❑ Les méthodes de contrôle **de droop** et **d'impédance virtuelle** sont les stratégies de contrôle primaire les plus couramment utilisées pour le partage de puissance entre les DER dans les micro-réseaux AC.

CONTRÔLE PRIMAIRE : STATISME / DROOP

Analogie entre les systèmes de génération conventionnelle et les systèmes de génération distribuée à base des énergies renouvelables



« Ces caractéristiques permettent de soutenir la décentralisation des systèmes de génération électrique en leur permettant d'opérer de façon autonome dans des zones rurales éloignées avec des distances très importantes séparant les unités de génération des consommateurs ».

N. Khefifi, "Élaboration de stratégies de contrôle-commande basées sur la passivité pour le pilotage d'un micro-réseau de génération décentralisée de type AC en mode autonome," Thèse de doctorat, Nantes, 2021. Accessed: Feb. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.theses.fr/2021NANT4031>

CONTRÔLE SECONDAIRE

Rôle : Compléter le contrôle primaire en lui transmettant des ordres de commande supplémentaires.

Les techniques du contrôle secondaire assurent :

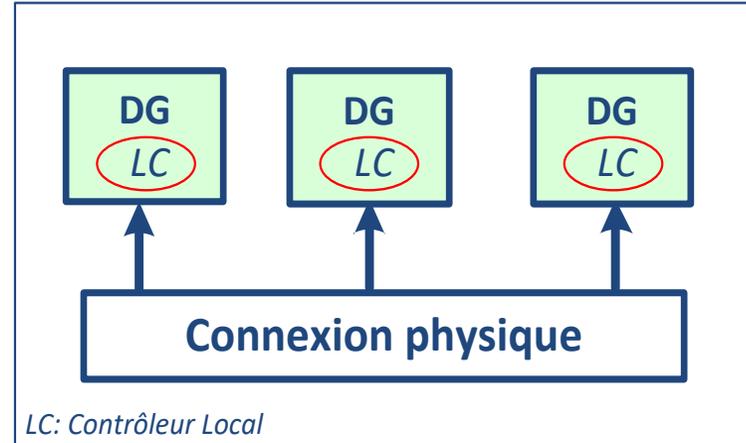
- ❑ la restauration des tensions et des fréquences des DGs à leurs valeurs nominales.
- ❑ la gestion des unités de stockage décentralisées (DESU) du réseau afin d'éviter leur détérioration rapide.
- ❑ le dispatching économique pour minimiser le coût d'exploitation global du MG.
- ❑ la coordination entre les DERs et les DESUs
- ❑ la synchronisation du MG avec le réseau principal avant la connexion.
- ❑ Certaines fonctions importantes, telles que la prévision et la répartition économique, peuvent aussi être implémentées à ce niveau.

Le **contrôle secondaire** peut être **avec ou sans infrastructure de communication**

CONTRÔLE SECONDAIRE : 3 CATÉGORIES DE TECHNIQUES

Décentralisé

Les techniques de contrôle secondaire sont appliquées sans l'utilisation d'un réseau de communication.

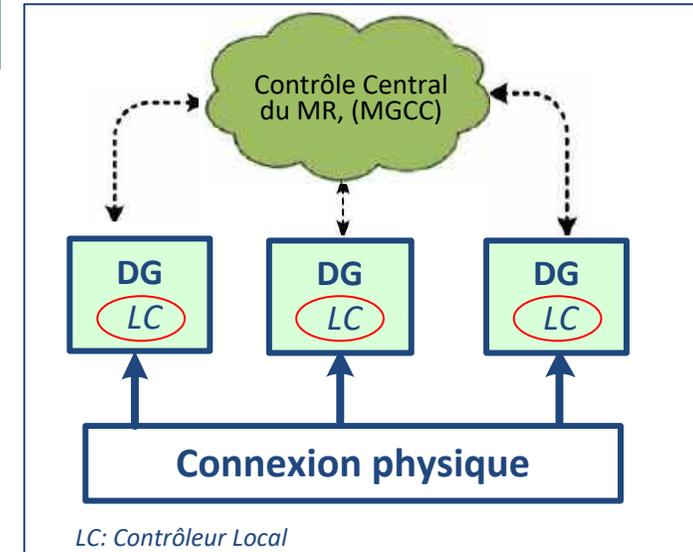


Centralisé

Un organe central de contrôle du MG (MGCC) génère les signaux de contrôle appropriés sur la base des données reçues des DGs et les transmet au contrôle primaire local de ces derniers.

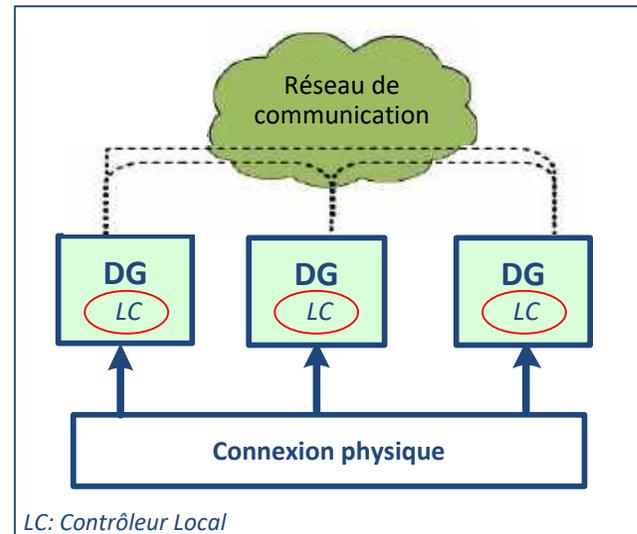
Décentralisé

Centralisé



Distribué ou coopératif

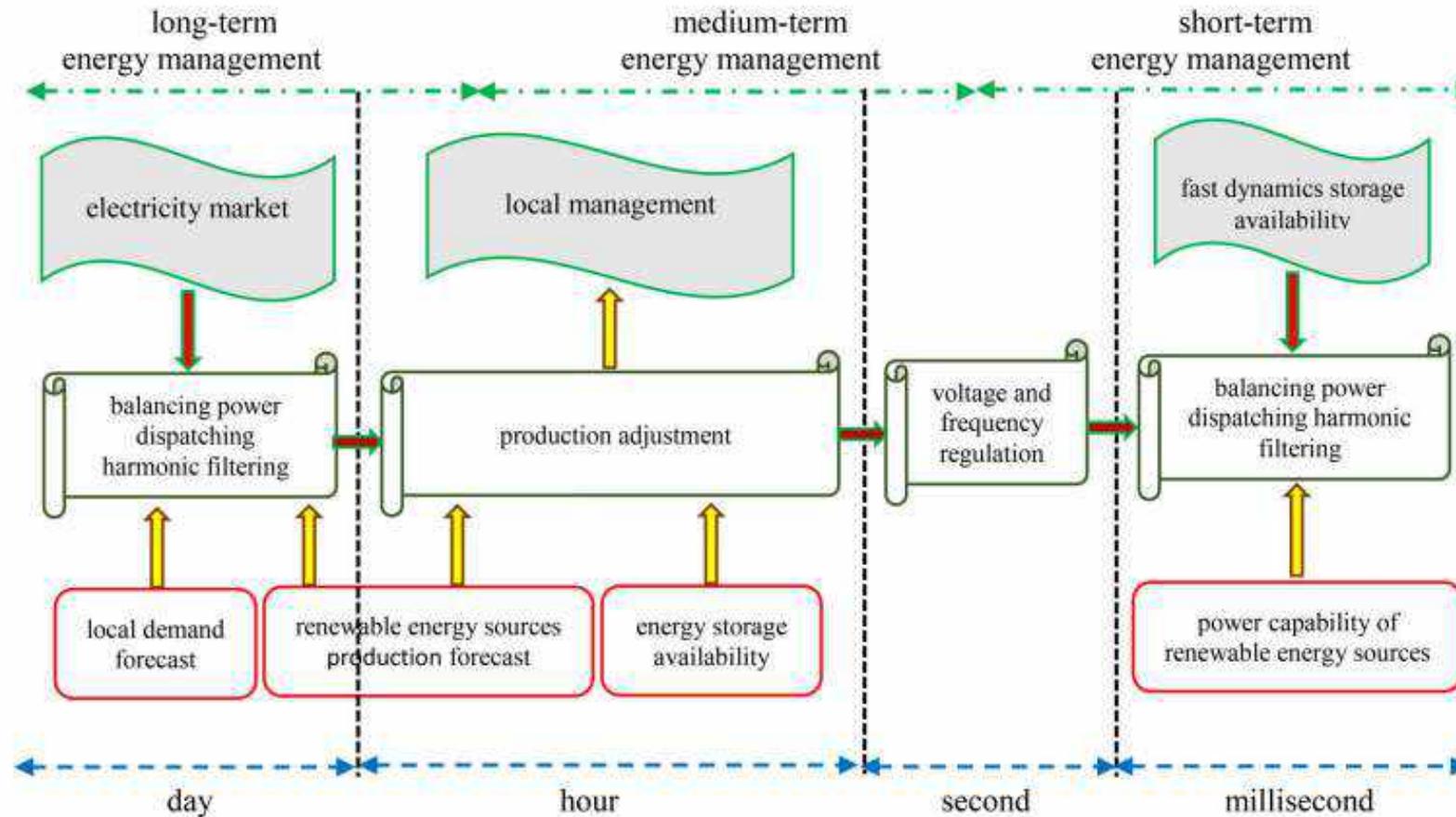
Il consiste en une communication à faible signal entre les DGs qui travaillent ensemble pour réaliser les objectifs du réglage secondaire.



Distribué ou coopératif

ÉCHELES DE TEMPS POUR L'EMS DANS MICRO-RESEAU

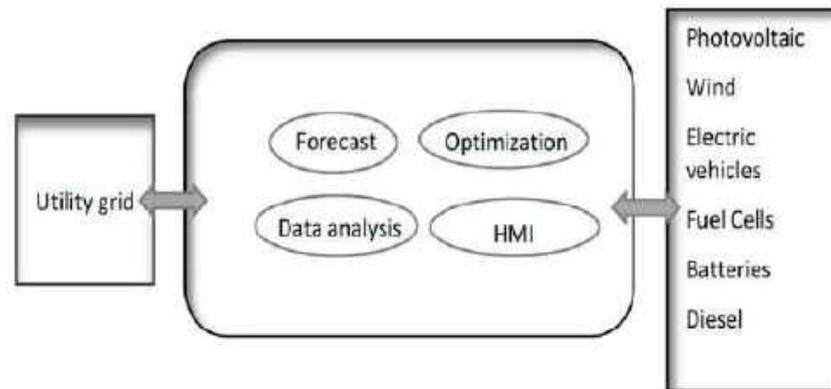
La classification des fonctions dans un micro-réseau selon les différentes échelles de temps



Shahgholian, G. (2021). *A brief review on microgrids: Operation, applications, modeling, and control. International Transactions on Electrical Energy Systems, 31(6).*

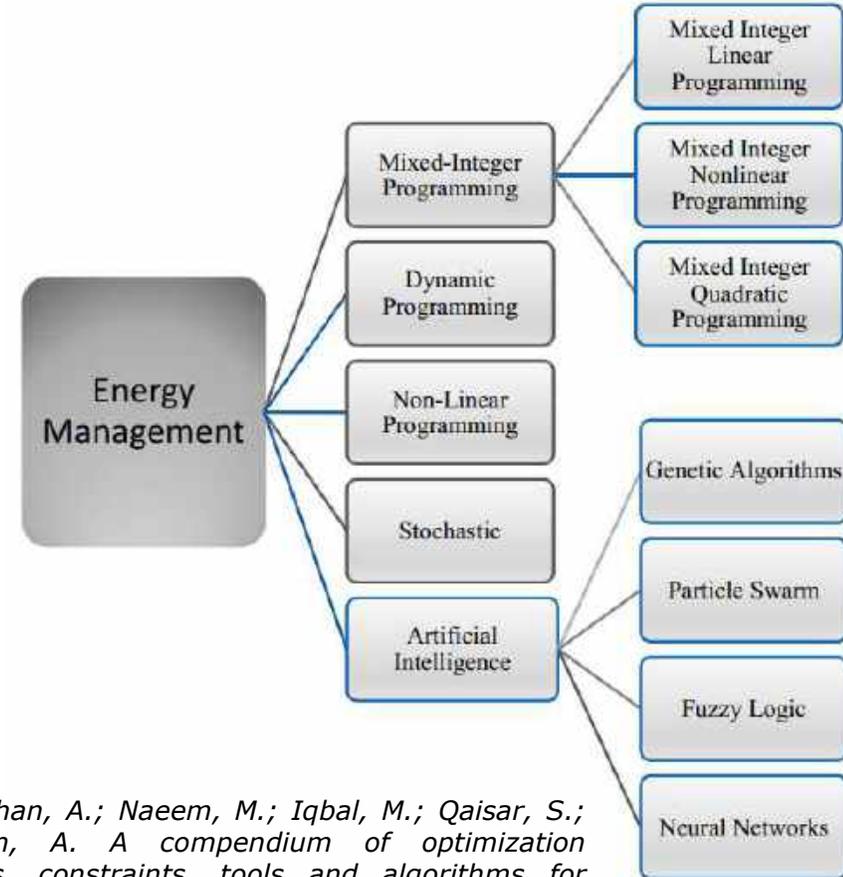
EMS DANS UN MICRO-RÉSEAU

Gestion de l'énergie des micro-réseaux



Lee, E.K.; Shi, W.; Gadh, R.; Kim, W. Design and implementation of a microgrid energy management system. *Sustainability* 2016, 8, 1143.

Méthodes & Algorithmes



Ahmad Khan, A.; Naeem, M.; Iqbal, M.; Qaisar, S.; Anpalagan, A. A compendium of optimization objectives, constraints, tools and algorithms for energy management in microgrids. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016.

SOMMAIRE

- ❑ Micro-réseaux : concepts de base
- ❑ Stratégies de contrôle et de gestion des micro-réseaux AC
- ❑ Plateformes expérimentales

LES PLATEFORMES MICRO-RÉSEAUX : PROGRAMMES DE RECHERCHE



Logo of Pla-NeTE Platform: "Platform for investigations of New Technologies of the Energy".

Partners and sponsors:

- جامعة تونس المنار (University of Tunis)
- laboratoire des Systèmes Electriques (LSE)
- Qehna: Power quality research with power electronics and advanced control
- الجامعة الوطنية للعلوم والتقنية (National University of Science and Technology)
- SUPPORTING AFRICA'S FUTURE GENERATIONS: A Attributikl Corporation Initiative
- COLLABORA
- USAID: FROM THE AMERICAN PEOPLE
- MEDREC
- GAMDO
- SACEM
- NRSOL
- Appcon TECHNOLOGIES

<https://www.qehna.com/platefomes/pla-nete>



Logo of SMARTNESS Platform: "Smart Micro-grid PLATfoRm with an Energy management SyStem".

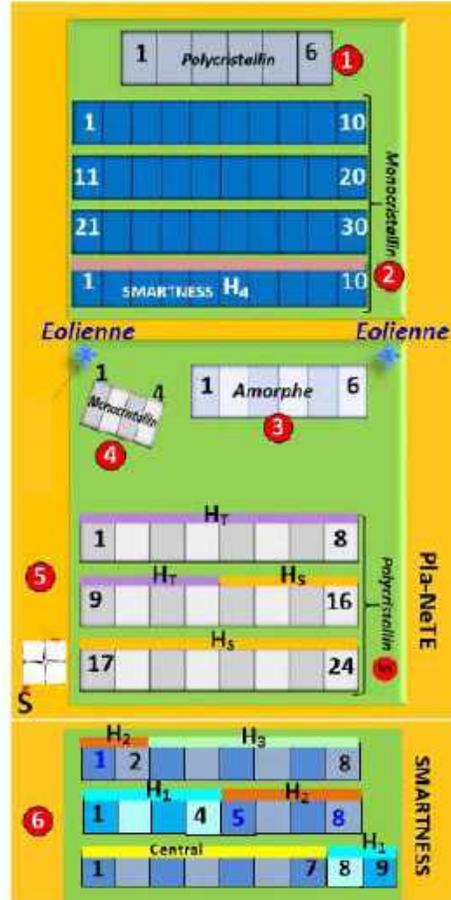
Partners and sponsors:

- ENI CBCMED: Copassending across borders in the Mediterranean
- Project funded by the EUROPEAN UNION
- REGIONE AUTONOMA DE SARDEGNA: REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
- Med-EcoSuRe: Mediterranean University as Catalyst for Eco-Sustainable Renovation
- الجامعة الوطنية للعلوم والتقنية (National University of Science and Technology)
- MEDREC
- جامعة تونس المنار (University of Tunis)
- جامعة فينيزيا (University of Venice)
- DIDA
- جامعة تونس المنار (University of Tunis)
- amea
- SOLARITYS
- V: University of Valencia
- جامعة تونس المنار (University of Tunis)

<https://www.qehna.com/platefomes/smarteness>

LES PLATEFORMES MICRO-RÉSEAUX À L'ENIT

Sur le toit

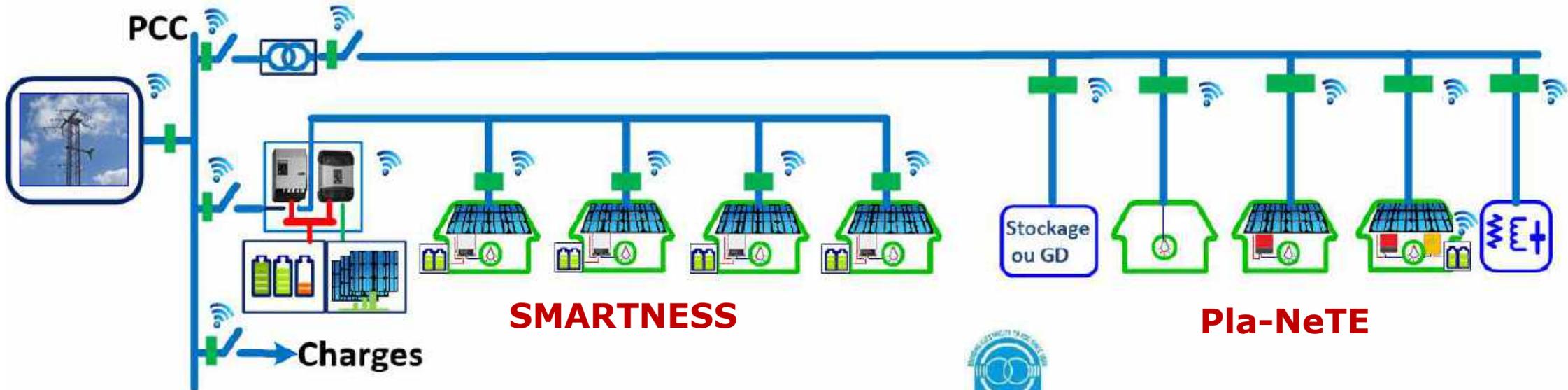


Dans la salle Qehna



LES PLATEFORMES DE MICRO-RÉSEAU

Réseau de Distribution Basse Tension , 220 V /380 V -50 Hz
Pour l'investigation des micro-réseaux résidentiels



Monophasé 15 kVA
Autoconsommation **collective**

- Gestion de l'énergie (EMS)
- Peer-to-Peer energy
- Transaction de l'énergie
- Blockchain



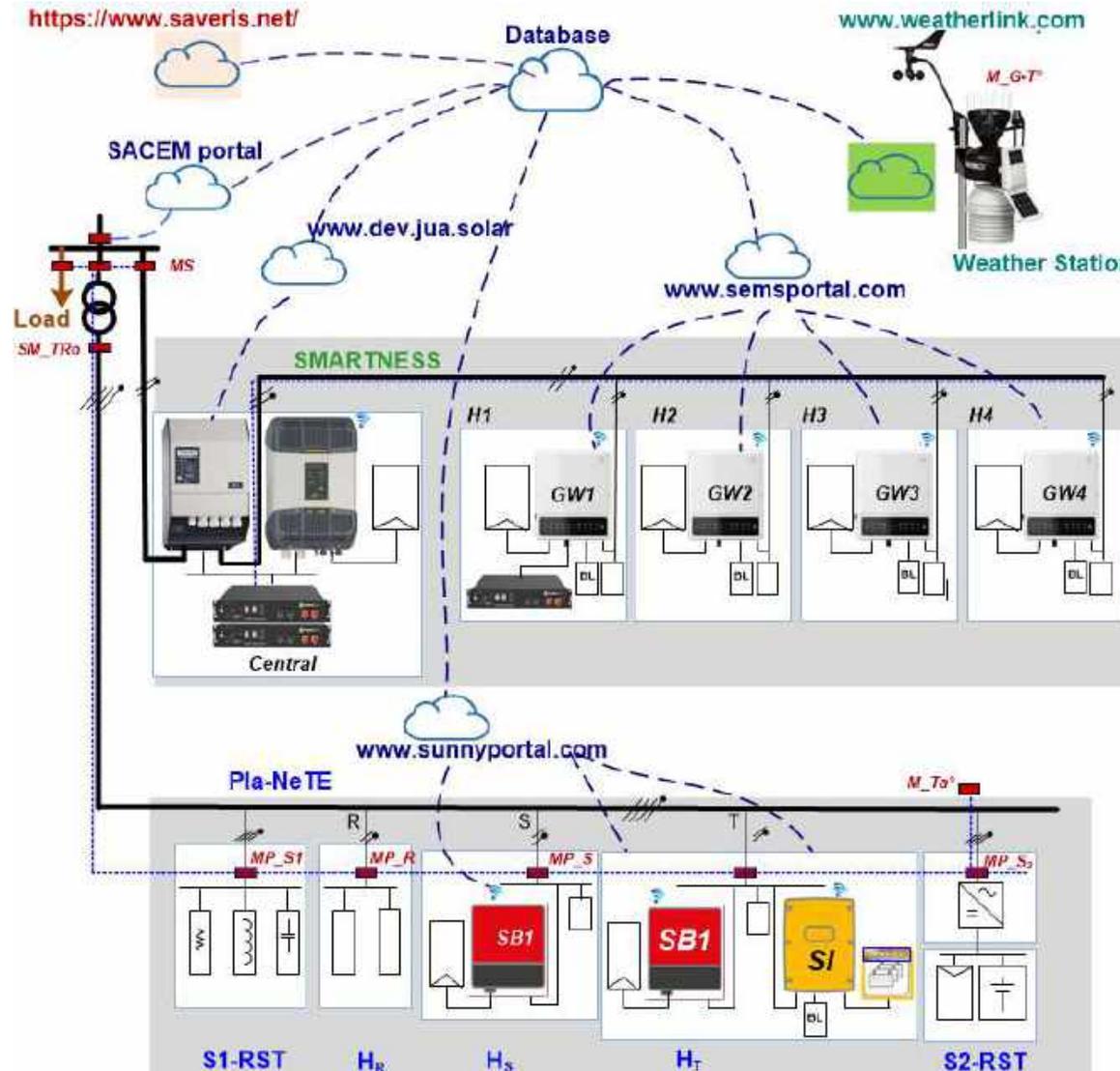
Pla-NeTE

Triphasé - 4 fils , 15 kVA
Autoconsommation **individuelle**

- Nouvelles technologies de l'énergie
- Systèmes de stockage (BESS)
- Qualité de l'énergie

MONITORING DES GRANDEURS ÉLECTRIQUES ET ENVIRONNEMENTALES

Indoor
environmental
monitoring system



Outdoor
environmental
monitoring system

Different portals



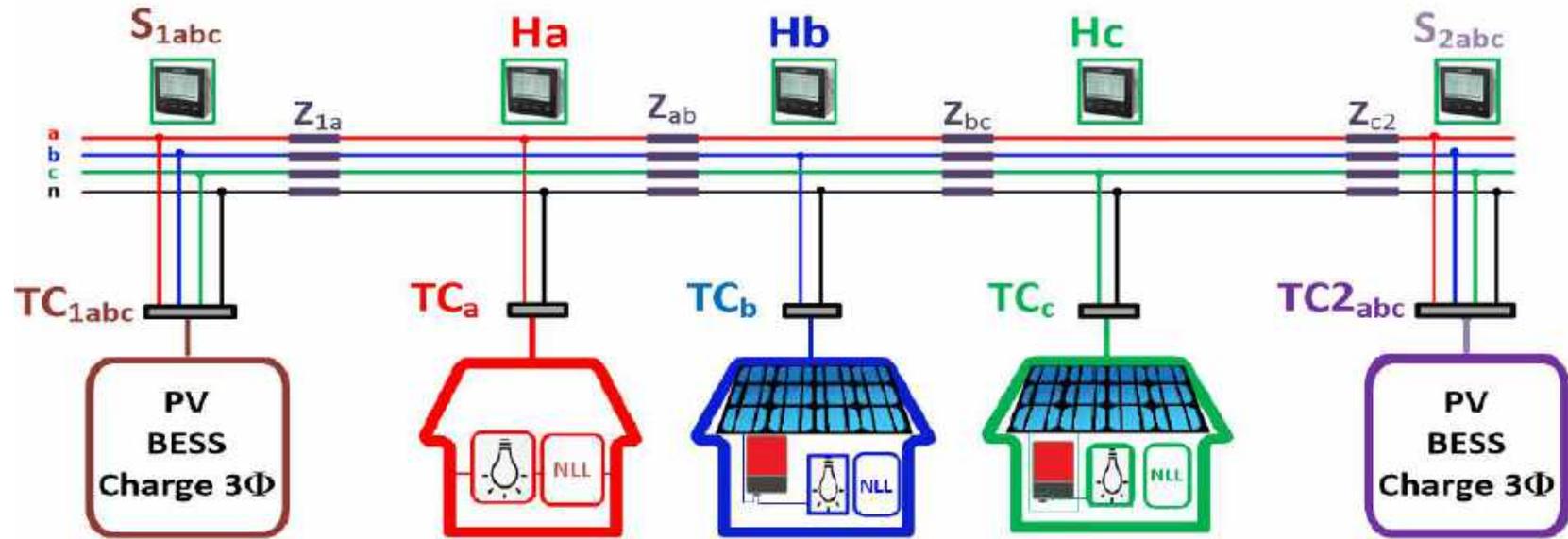
Each portal

- Authentication login
- Format
- Type
- Acquisition period

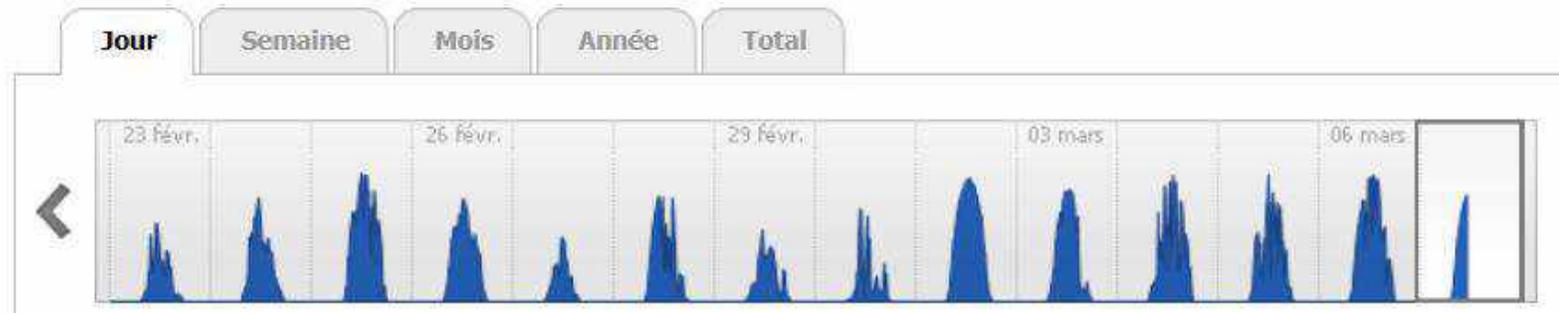


Single database

PLA-NeTE : LES COMPTEURS D'ENERGIE

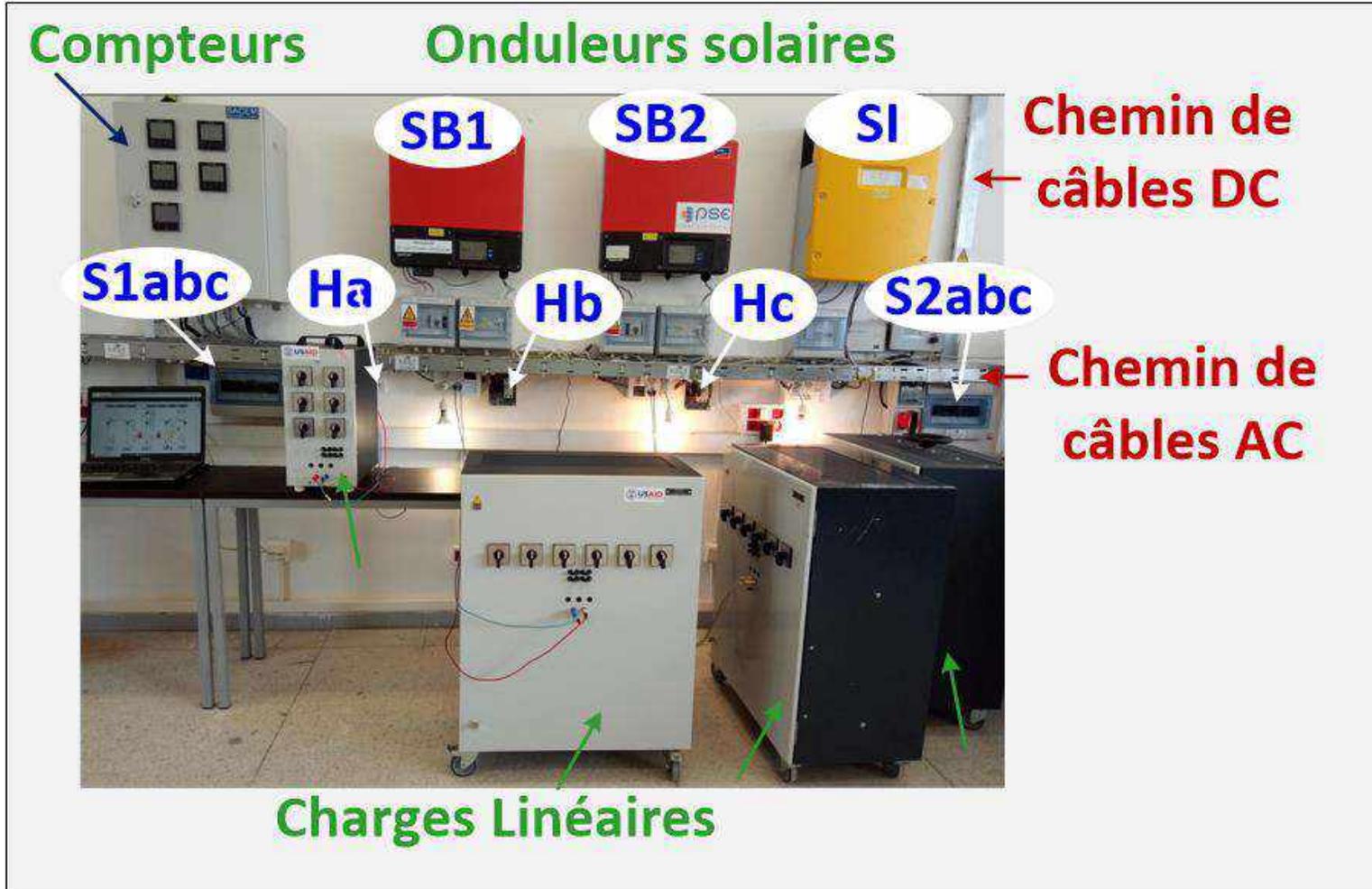


TC : Transformateur de courant

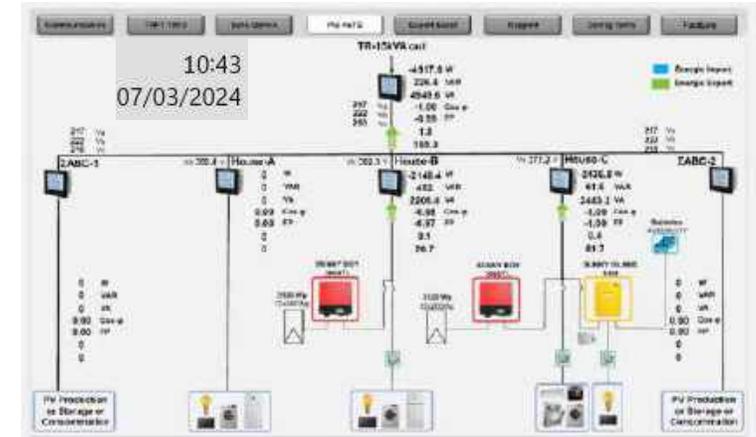


<https://www.sunnyportal.com/>

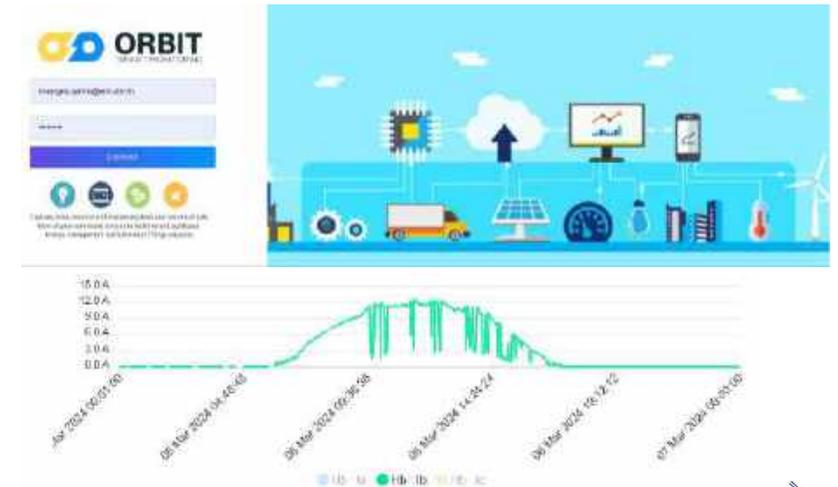
PLA-NeTE : DATA



Pour expérimentation « en direct »



Pour analyse des données



SMARTNESS : SCHÉMA DE PRINCIPE

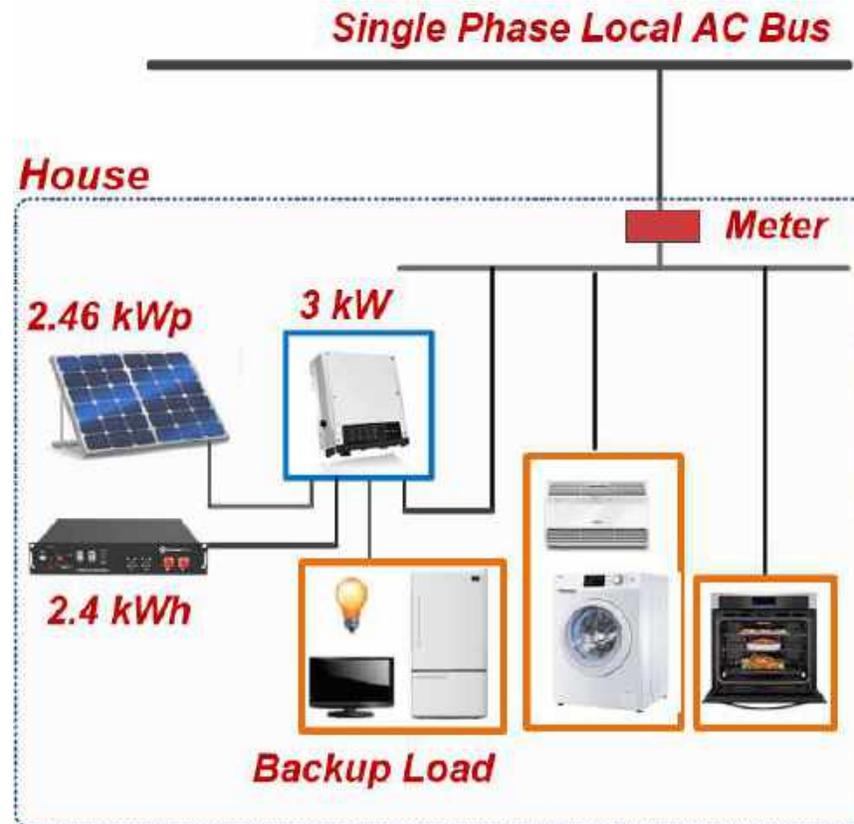


SMARTNESS : DANS LA SALLE QEHNA



ONDULEUR SOLAIRE HYBRIDE

- 2 entrées**
- PV
 - Batteries



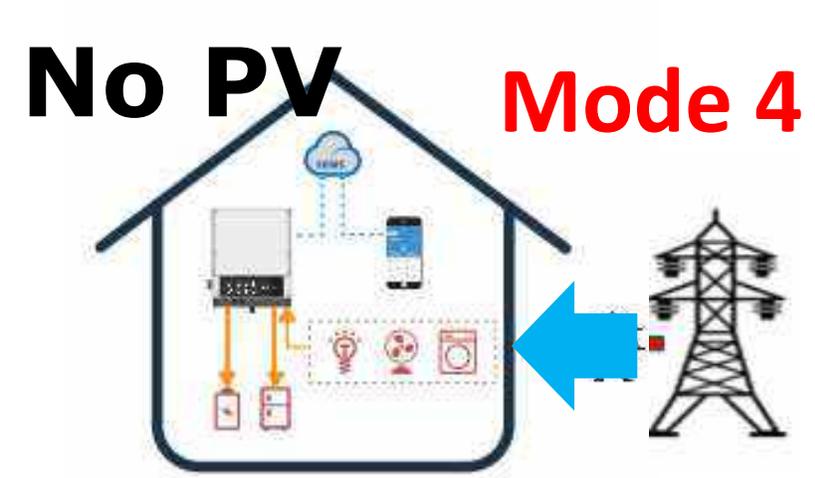
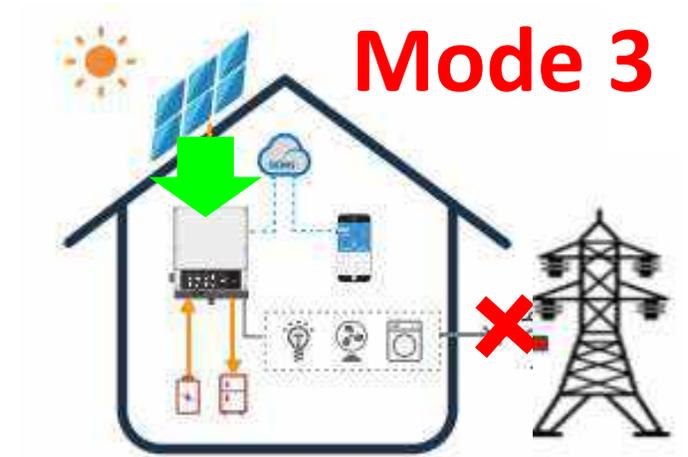
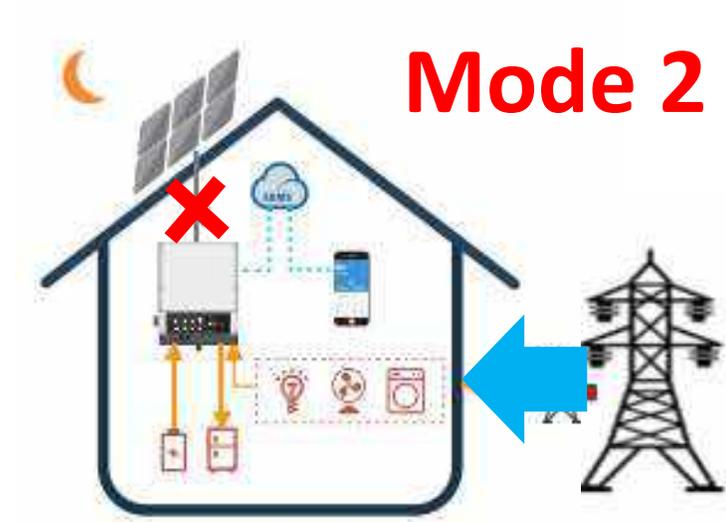
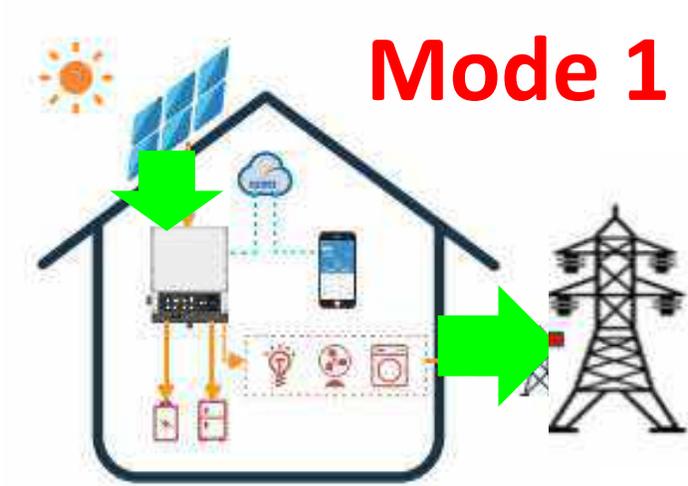
2 sorties AC

- Charges à alimenter en l'absence de réseau (Back-Up loads)
- Connexion au réseau

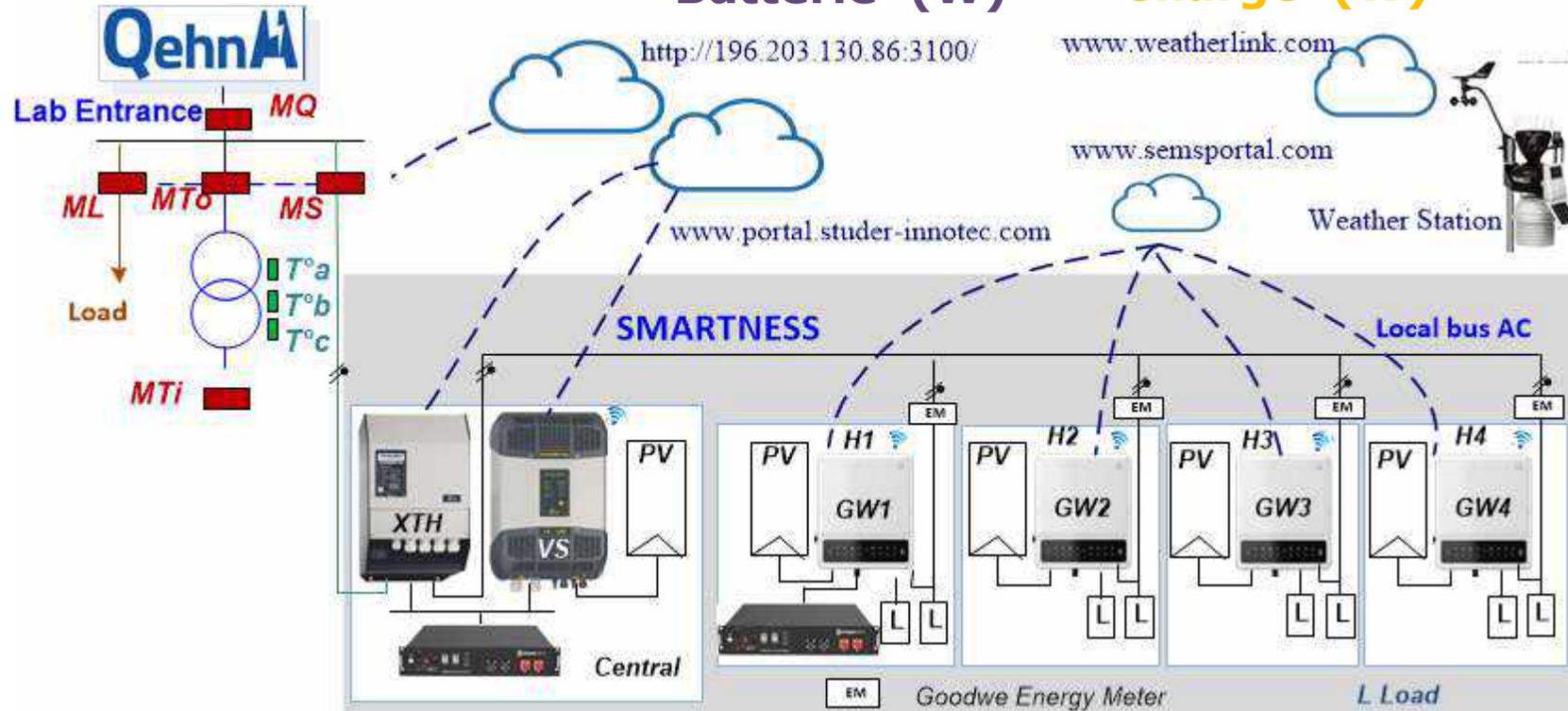
Back-Up loads

- **Autorisées :** Television, PC, réfrigérateur, Ventilateur, éclairage, four micro-ondes, etc.
- **Non Autorisées :** Charges avec appel de courant important au démarrage. Climatiseur, pompe à eau, etc

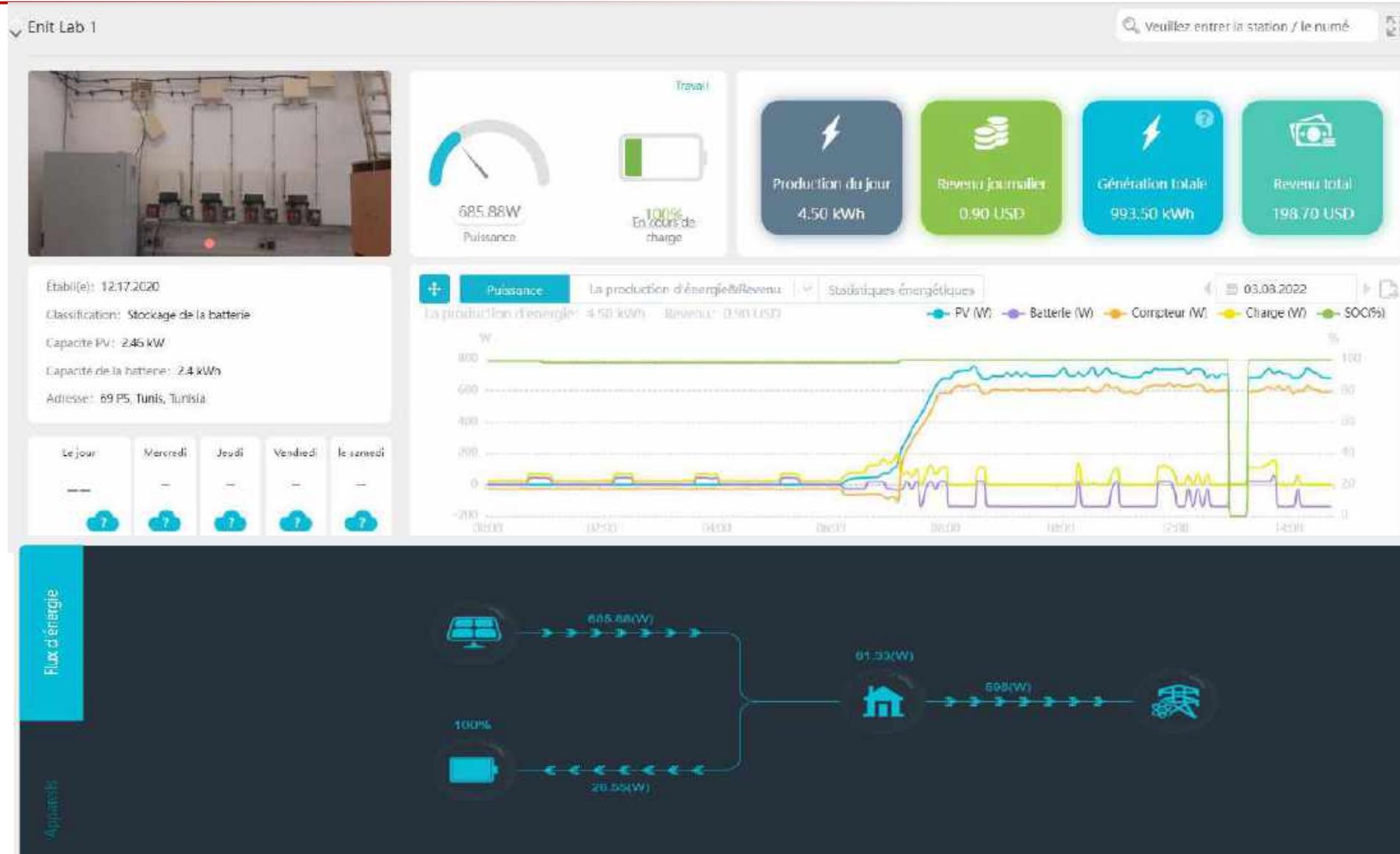
4 MODES DE FONCTIONNEMENT DE L'ONDULEUR HYBRIDE GW



DONNÉES DES ONDULEURS HYBRIDES

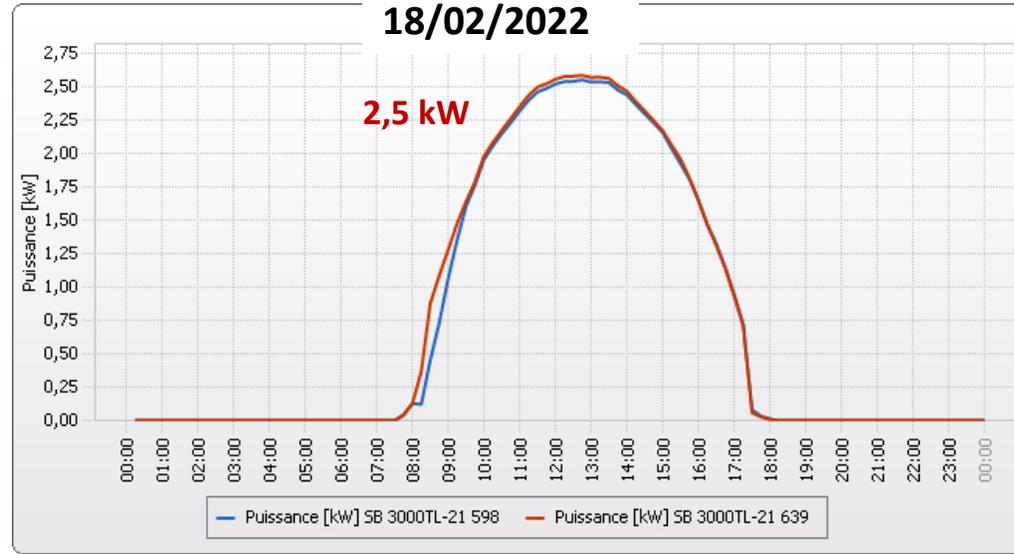


SMARTNESS: PLATEFORME DES DONNÉES DES ONDULEURS SOLAIRES HYBRIDES



COMPARAISON DES DONNÉES PLA-NeTE & SMARTNESS : 18 /02/2022

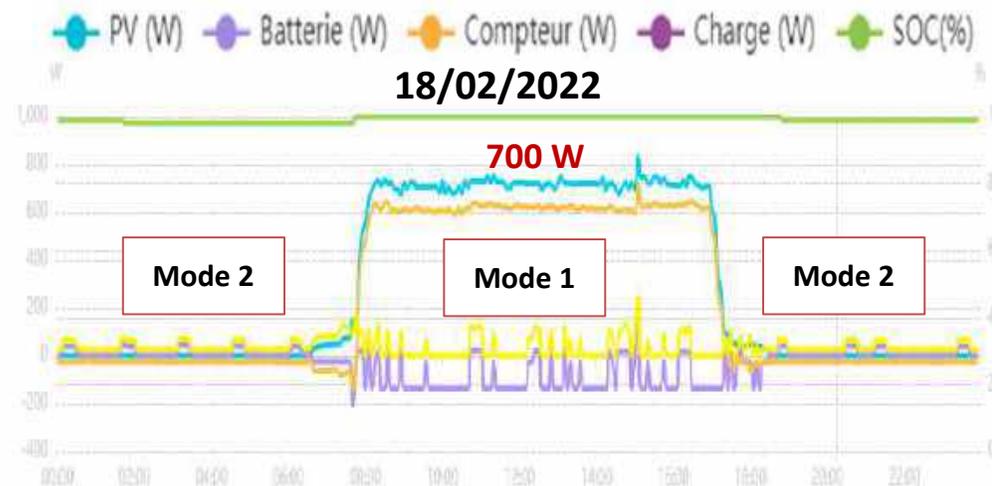
Pla-NeTE
3 kW Sunnyboy



PV installed
3,125 kWp

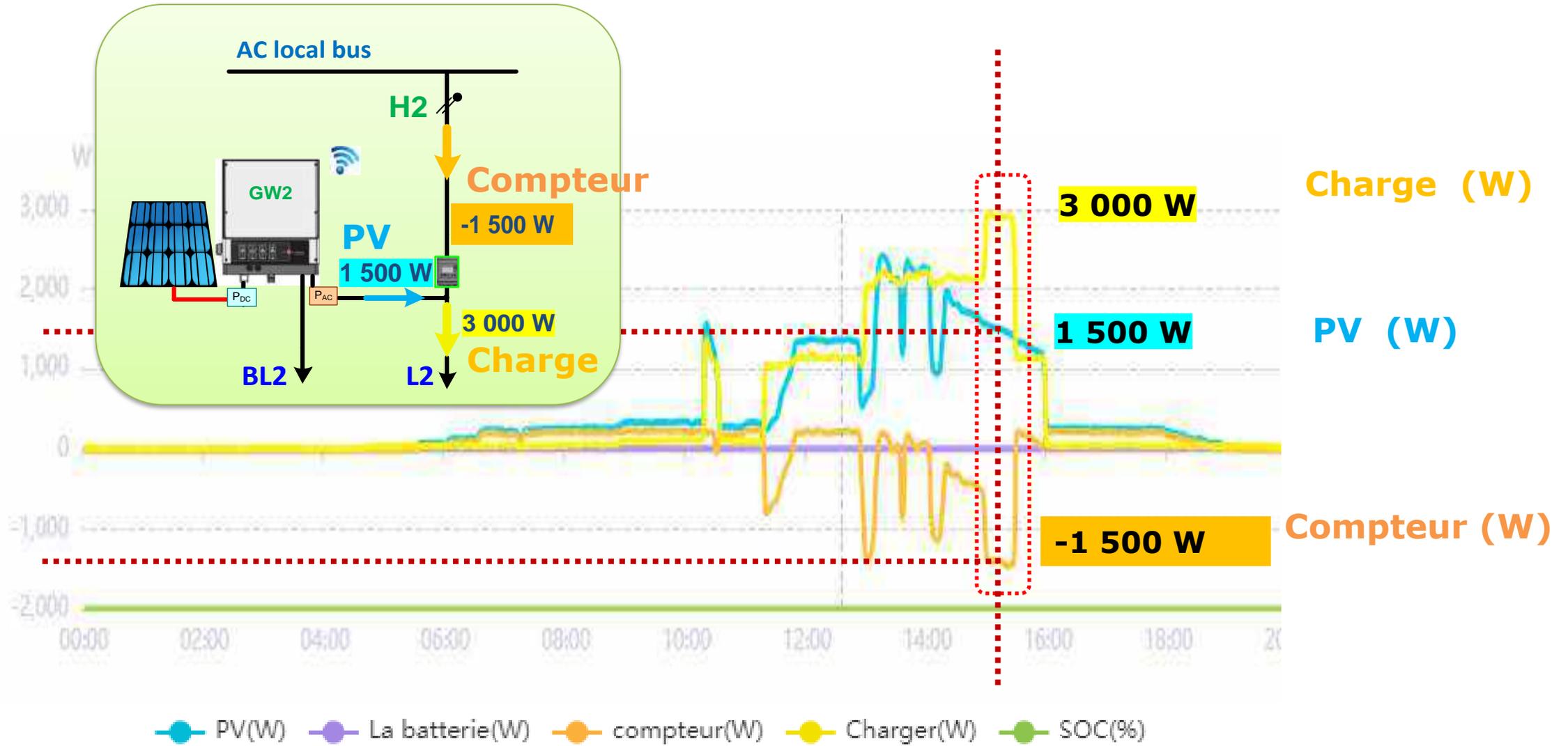
SMARTNESS
3kW Goodwe

Expected : **1,97 kW**
 $2,5 * (2,46/3,125)$ kW

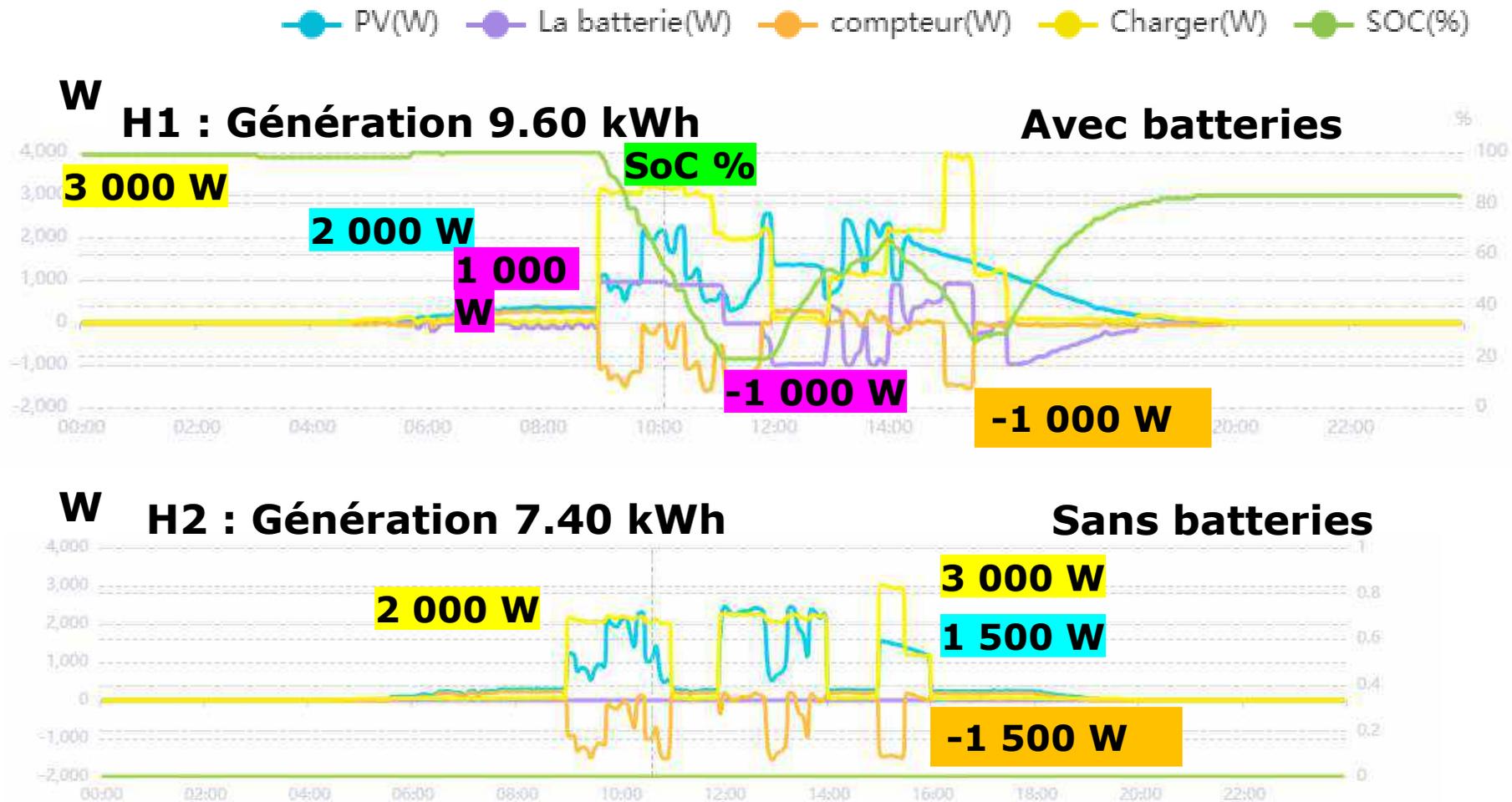


PV installed
2,46 kWp

ONDULEUR HYBRIDE EN AUTOCONSOMMATION



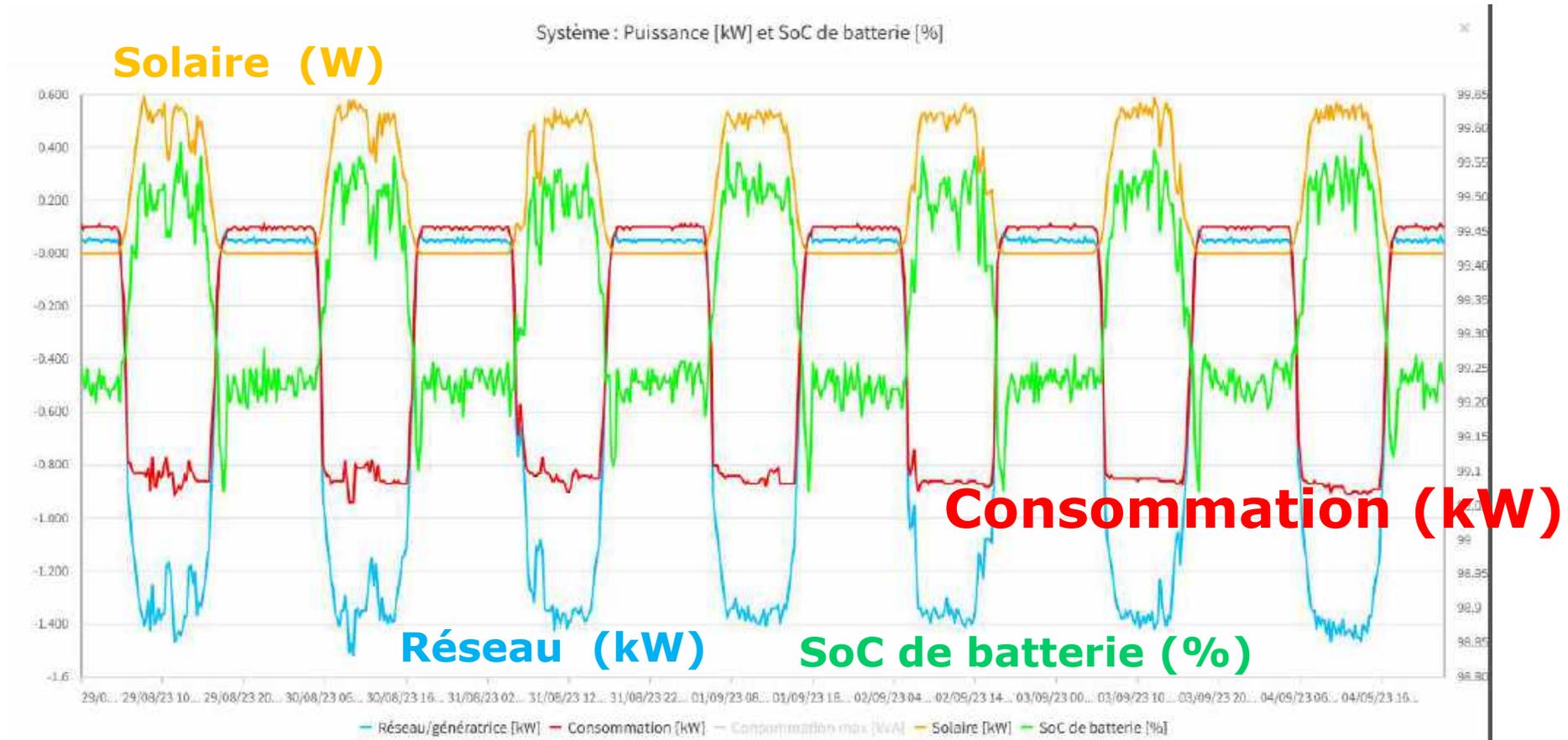
ONDULEUR HYBRIDE EN AUTOCONSOMMATION



LIMITATION DE LA GÉNÉRATION PV INJECTÉE AU RÉSEAU

Solaire (Chargeur DC) : 2.87 kWc → valeur max ≈ 500 W

Injection au réseau -1,4 kW

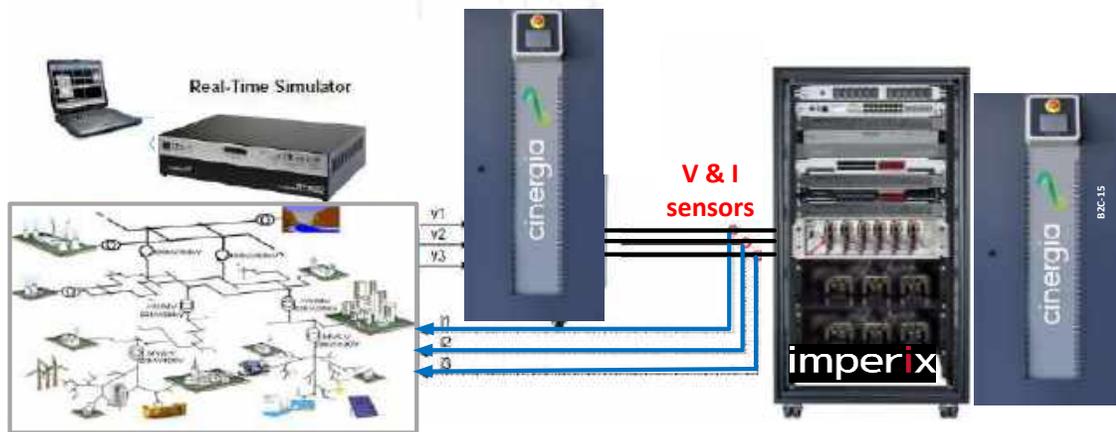


Consommation = Σ génération des Hx, injectée au réseau ≈ 800 W

USCR-MGP : UTILISATION DES RESSOURCES

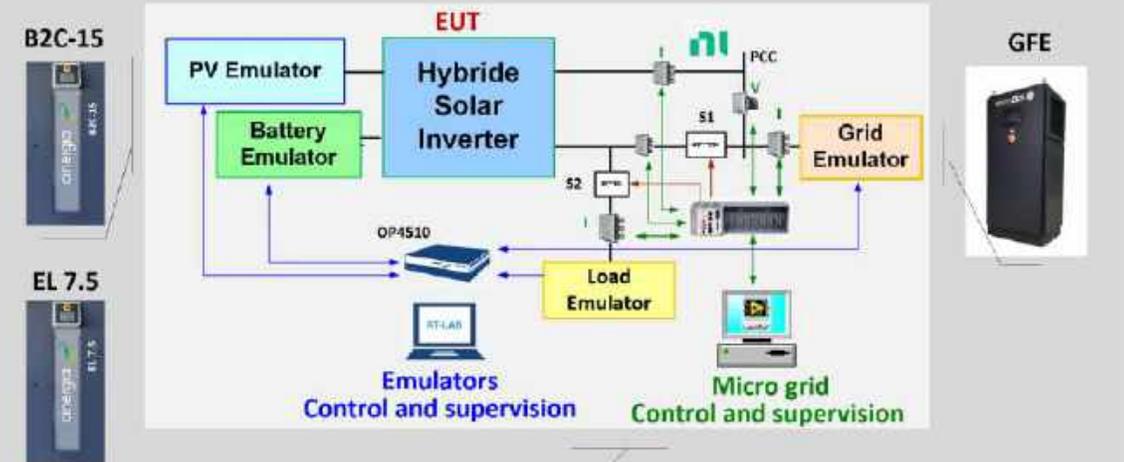
MICROGRID PLATFORM USCR-MGP

PHIL : Power-Hardware-In-the Loop approach



© QehnA 2024

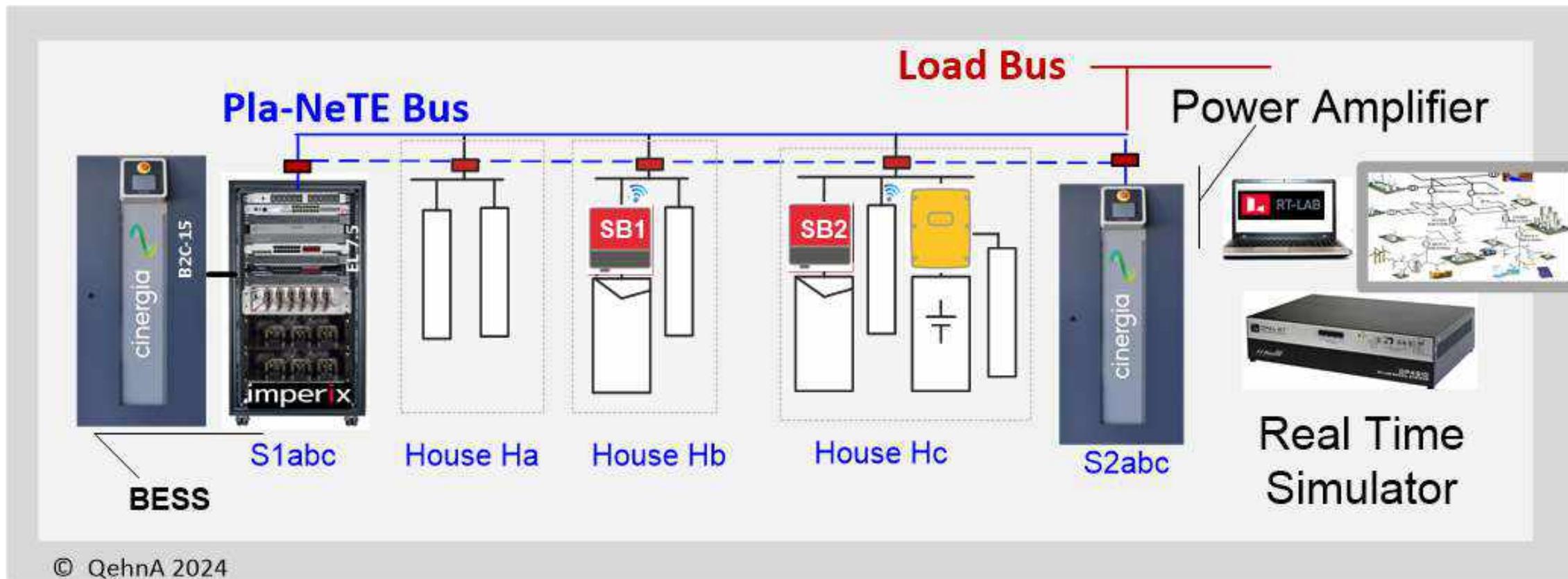
Microgrid



© QehnA 2024

USCR-MPG : UTILISATION DES RESSOURCES

MICROGRID PLATFORM USCR-MGP





Modules PV des plateformes
Micro-réseaux

<http://qehna.com/>

<http://microgrid-qehna.com/>

Merci pour votre attention