

Intégration optimale de la micro-cogénération au sein des bâtiments



- Contexte et objectifs
- Panorama des travaux
 - Calibration d'un modèle pour un moteur à combustion interne
 - Etude expérimentale d'une micro-turbine à gaz sur un banc semi-virtuel
- Perspectives de travail

- **Contexte et objectifs**
- **Panorama des travaux**
 - Calibration d'un modèle pour un moteur à combustion interne
 - Etude expérimentale d'une micro-turbine à gaz sur un banc semi-virtuel
- **Perspectives de travail**

Le consortium Efficacity

- Des acteurs de référence aux compétences complémentaires :

- 6 industriels leaders dans leur domaine :



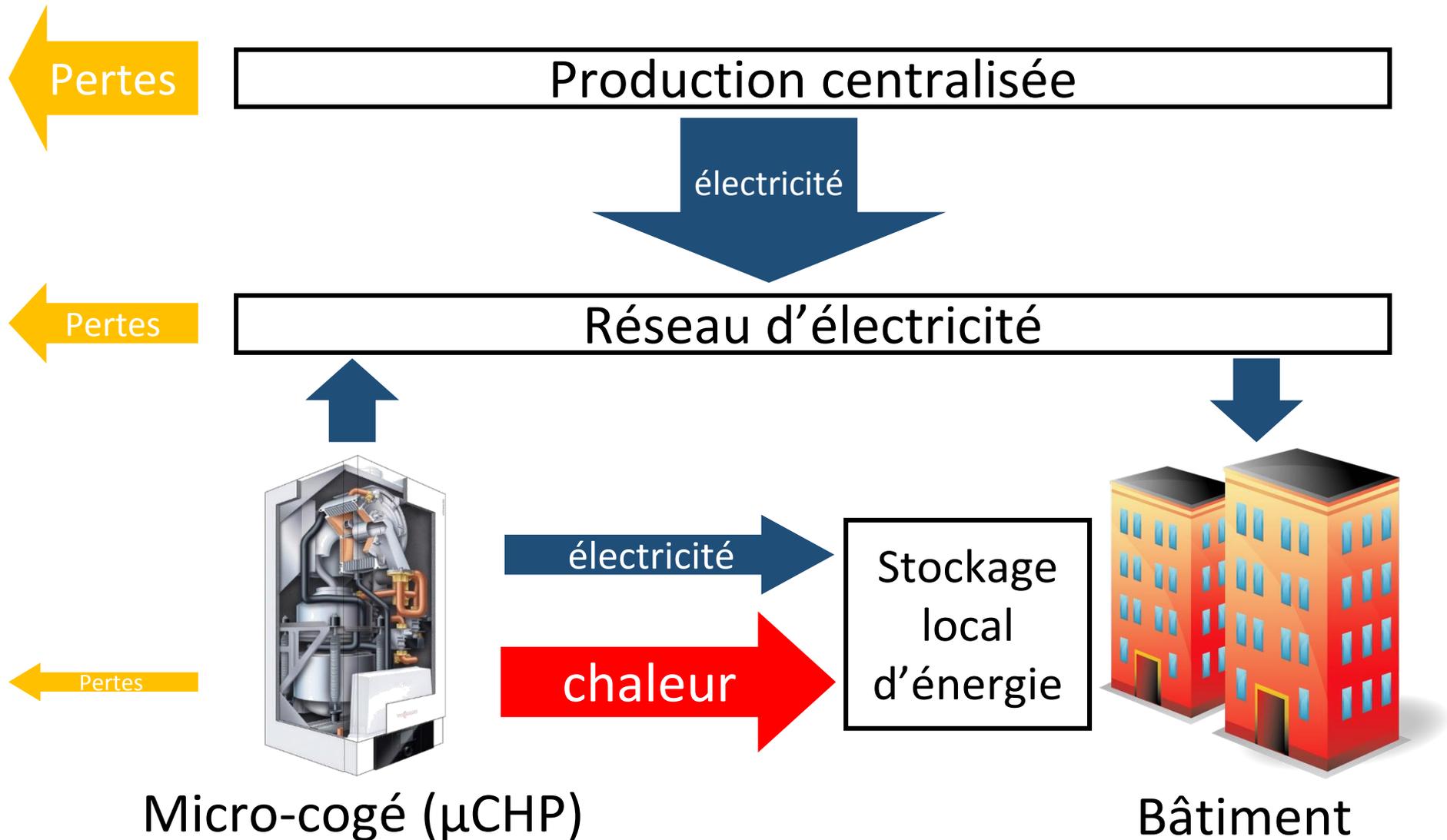
- 7 sociétés d'ingénierie :



- 15 structures académiques d'excellence :



- Systèmes de cogénération au sein des « smart-networks »



- Des travaux à l'INSA de Strasbourg et aux Mines

- Développement d'un modèle orienté simulation énergétique bâtiment annuelle

→ Historique : IEA Annexe 42

$$P_{fuel} = P_{fuel}^{nom} + a (T_{cw,i} - T_{cw,i}^{nom}) + b (\dot{m}_{cw} - \dot{m}_{cw}^{nom}) + k \cdot (1 - C_{load})$$

$$\dot{Q}_{HX} = \begin{cases} 0 & \text{if } t < t_{start} + \Delta t_{start}^Q \\ \dot{Q}_{HX}^{nom} \left(1 - e^{-\frac{t - (t_{start} + \Delta t_{start}^Q)}{\tau_{start}^Q}} \right) & \text{if } t \geq t_{start} + \Delta t_{start}^Q \end{cases}$$

- Essais en régime stationnaires et dynamiques



- Ecogénérateur Stirling gaz

→ Andlauer, 2011

→ Bouvenot, 2014



- Moteur vapeur à combustible bois

→ Bouvenot, 2014



- Plateforme de simulation de micro-cogénération

→ Modèles de besoins probabilistes

→ Tests de stockages électriques/thermiques

Objectifs du projet

- Fournir des outils pour étudier les couplage micro-cogénération/bâtiment

Equipement	Secteur			
	Résidentiel individuel	Résidentiel collectif	Tertiaire	Mini-réseau
Stirling	x	x		
Rankine	x	x	x	x
Combustion interne	x	x	x	x
Micro-turbine	x	x	x	
Pile à combustible	x	x	x	x

Identifier les conditions optimales d'intégration

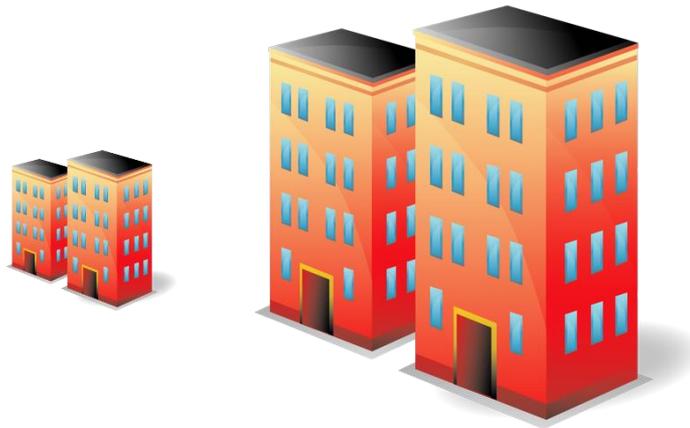
- Fournir des outils pour étudier les couplage micro-cogénération/bâtiment

Equipement	Secteur			
	Résidentiel individuel	Résidentiel collectif	Tertiaire	Mini-réseau
Stirling	x	x		
Rankine	x	x	x	x
Combustion interne	x	x	x	x
Micro-turbine	x	x	x	
Pile à combustible	x	x	x	x

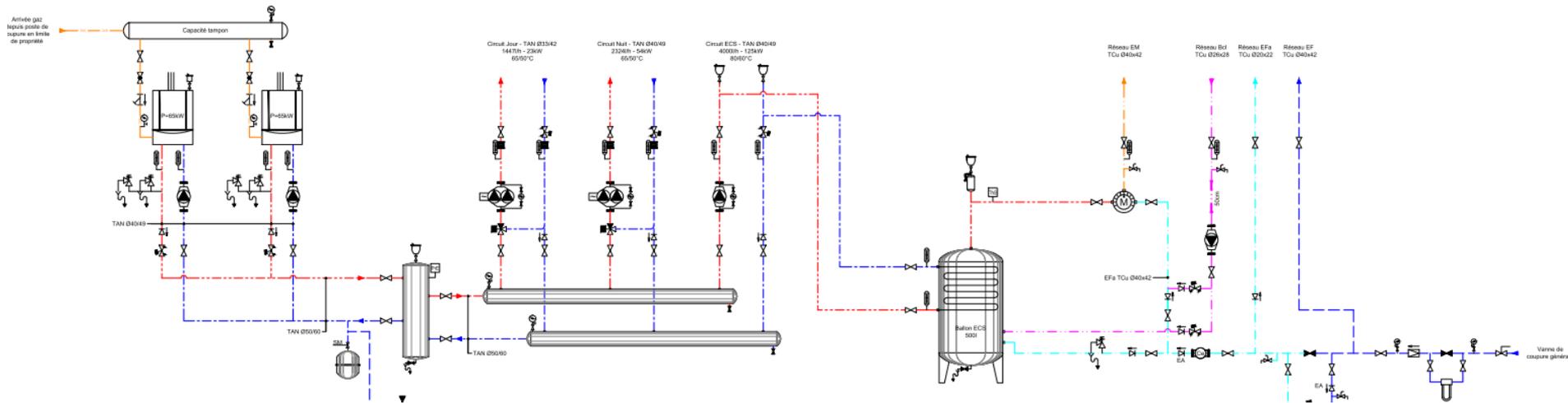
- Exemple
 - Installation d'un Stirling en maison individuelle
 - Installation d'une micro-turbine dans des logements collectifs

Exemples d'application des travaux de recherche

- Installation d'une micro-cogénération dans une chaufferie
 - Besoins du bâtiment adaptés et choix du type de production



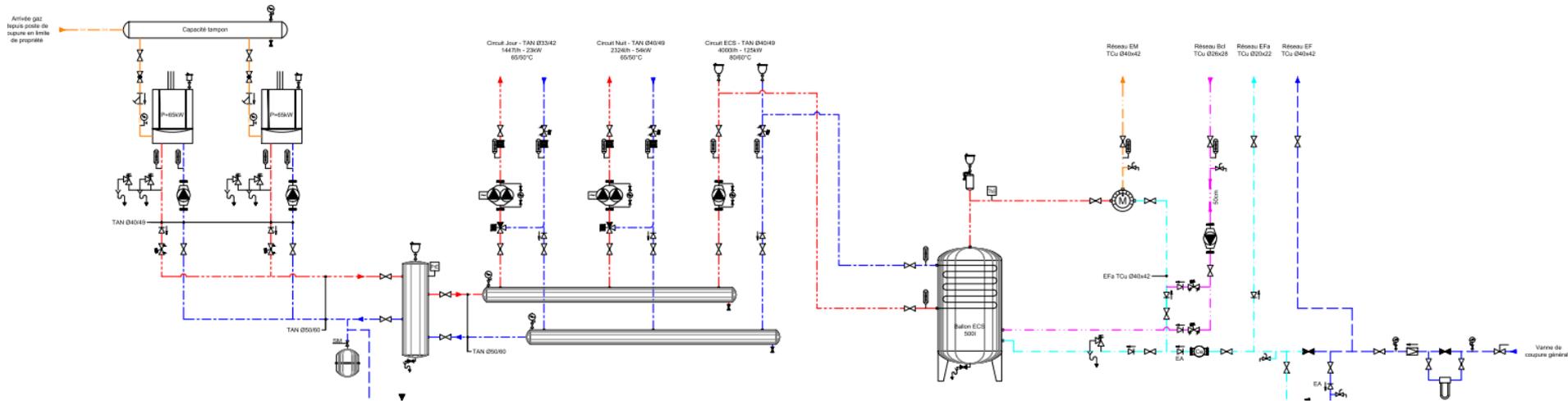
Modélisation des besoins



Exemples d'application des travaux de recherche

- Installation d'une micro-cogénération dans une chaufferie
 - Besoins du bâtiment adaptés et choix du type de production
 - **Choix de la technologie**

Modélisation des micro-cogénérateurs



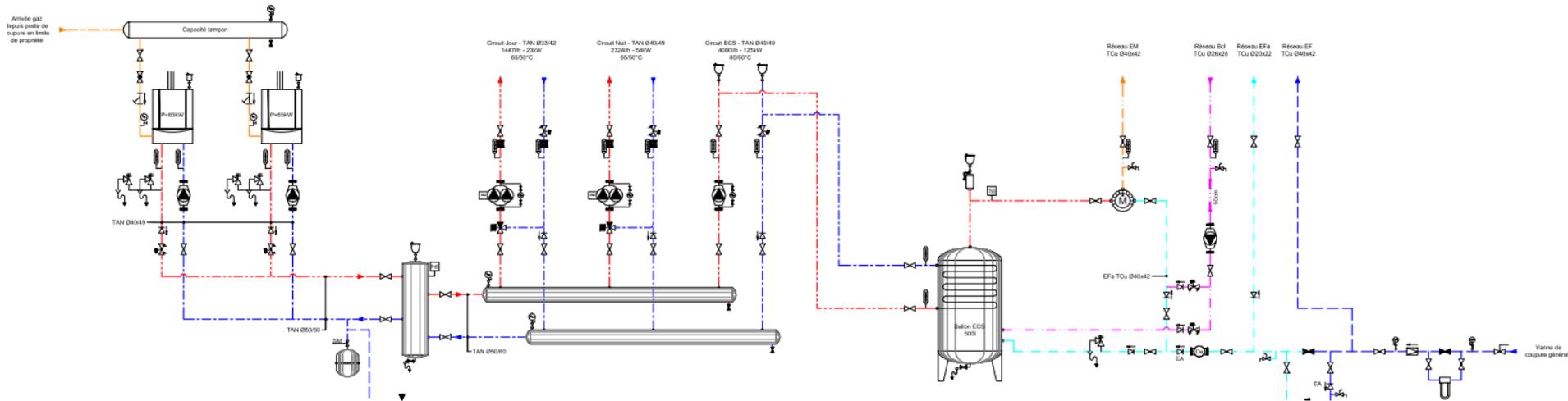
?

- Dynamique
- Rapport chaleur/force
- ...

Exemples d'application des travaux de recherche

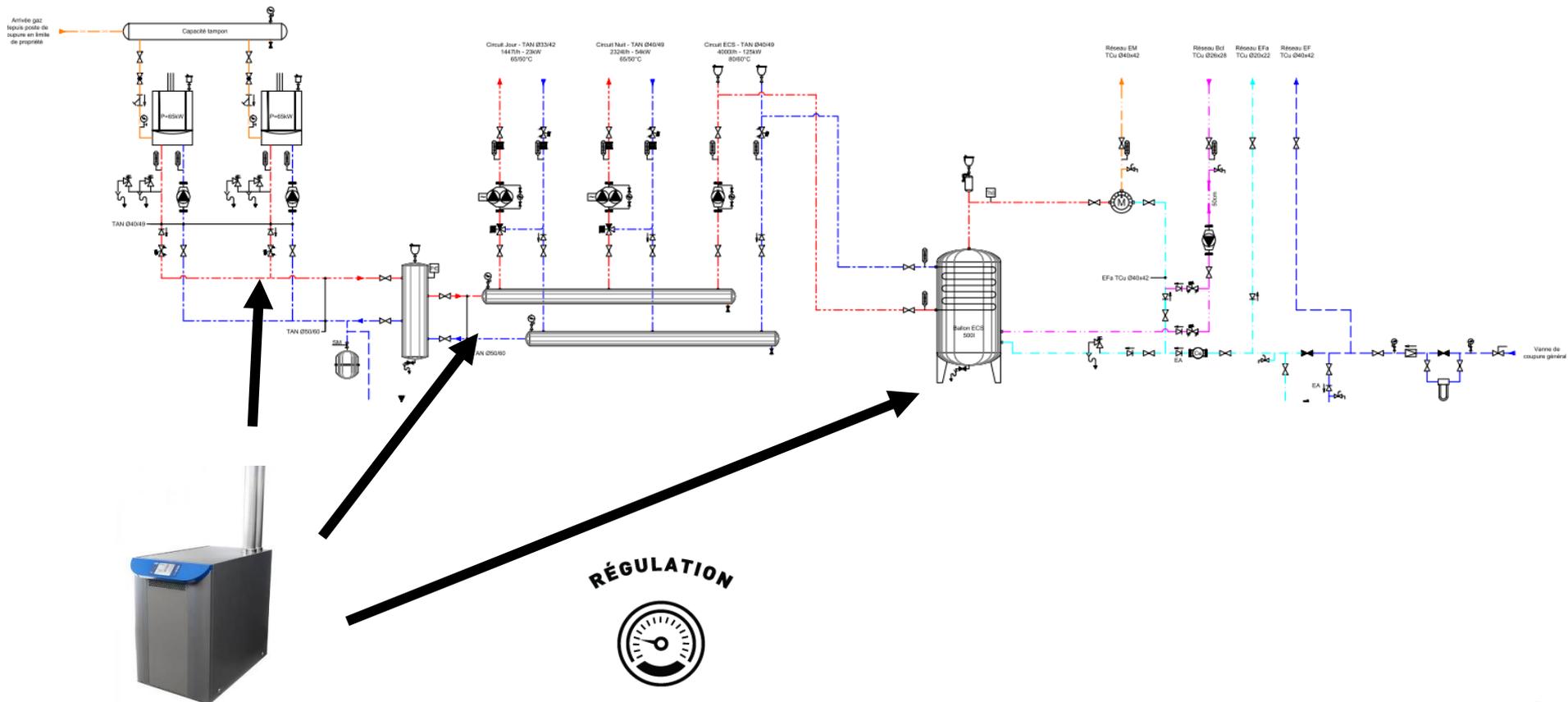
- Installation d'une micro-cogénération dans une chaufferie
 - Besoins du bâtiment adaptés et choix du type de production
 - Choix de la technologie
 - Dimensionnement

Modélisation des micro-cogénérateurs



Exemples d'application des travaux de recherche

- Installation d'une micro-cogénération dans une chaufferie
 - Besoins du bâtiment adaptés ?
 - Choix de la technologie
 - Dimensionnement
 - Intégration hydraulique

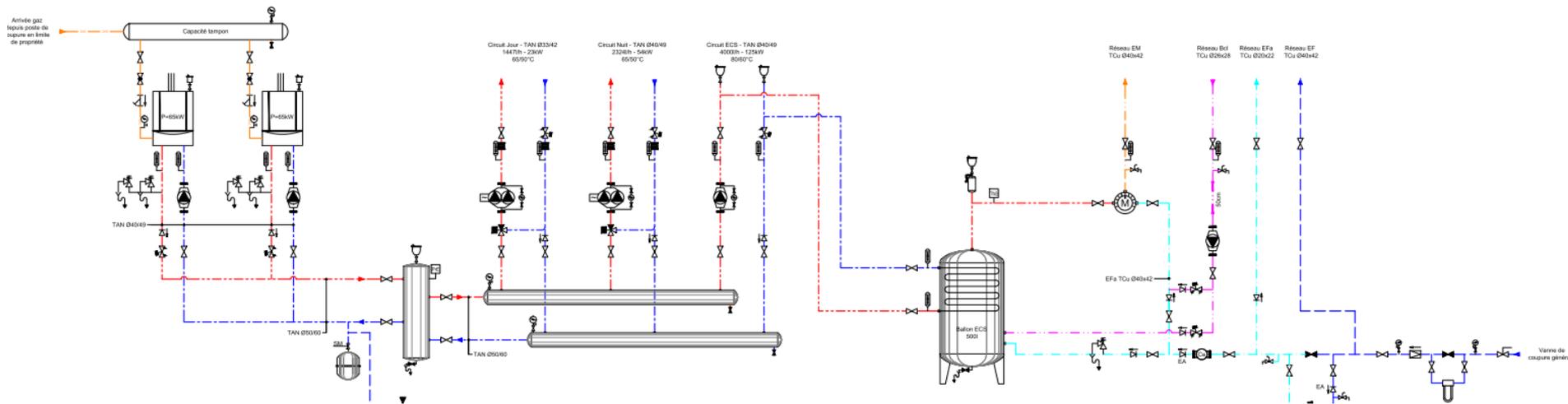


Exemples d'application des travaux de recherche

- Installation d'une micro-cogénération dans une chaufferie

- Besoins du bâtiment adaptés ?
- Choix de la technologie
- Dimensionnement
- Intégration hydraulique
- **Stockage**

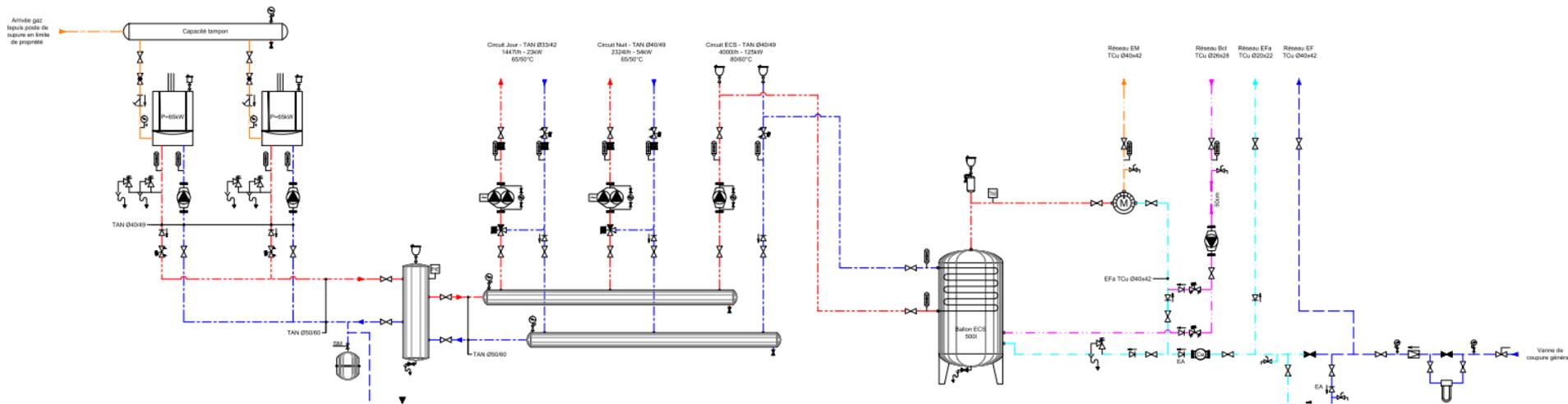
Modélisation distribution et régulation



Exemples d'application des travaux de recherche

- Installation d'une micro-cogénération dans une chaufferie

- Besoins du bâtiment adaptés ?
- Choix de la technologie
- Dimensionnement
- Intégration hydraulique
- Stockage
- **Contexte tarifaire**



Contrat de revente

C13 – PI puis C16

Autoconsommation

Base - HP/HC -TEMPO

- Contexte et objectifs
- **Panorama des travaux**
 - Calibration d'un modèle pour un moteur à combustion interne
 - Etude expérimentale d'une micro-turbine à gaz sur un banc semi-virtuel
- Perspectives de travail

Panorama des travaux

- Essais réalisés pour calibration du modèle

Equipement	Essais normatifs	Essais de caractérisation	Essais caractérisation + banc semi-virtuel	Commentaire
Stirling				Bouvenot 2014
Rankine				Bouvenot 2014
Combustion interne				2015
Micro-turbine				2016
Pile à combustible				2016/2017

- **Essais normatifs** : 2 points d'essais en stationnaire, pertes à l'arrêt (NF EN 50465)
 - **Essais de caractérisation** : carte de performance détaillée, essais démarrage/arrêt et transitoires
 - **Semi-virtuel** : banc couplé à un modèle de besoin simulant des conditions réalistes et dynamiques de fonctionnement
- In fine → bibliothèque de micro-cogénérateurs comparables

- Contexte et objectifs
- Panorama des travaux
 - **Calibration d'un modèle pour un moteur à combustion interne**
 - Etude expérimentale d'une micro-turbine à gaz sur un banc semi-virtuel
- Perspectives de travail

Etude expérimentale micro-cogénérateur à combustion interne

- **Objectif** : Caractériser les performances d'une micro-cogénération à condensation à moteur à combustion interne ($7,5 \text{ kW}_{el}$)
- **Méthode** :
 - Essais statiques et dynamiques
 - Calibration du modèle numérique
 - Validation du modèle
- **Résultats** : Carte de performance et modèle validé



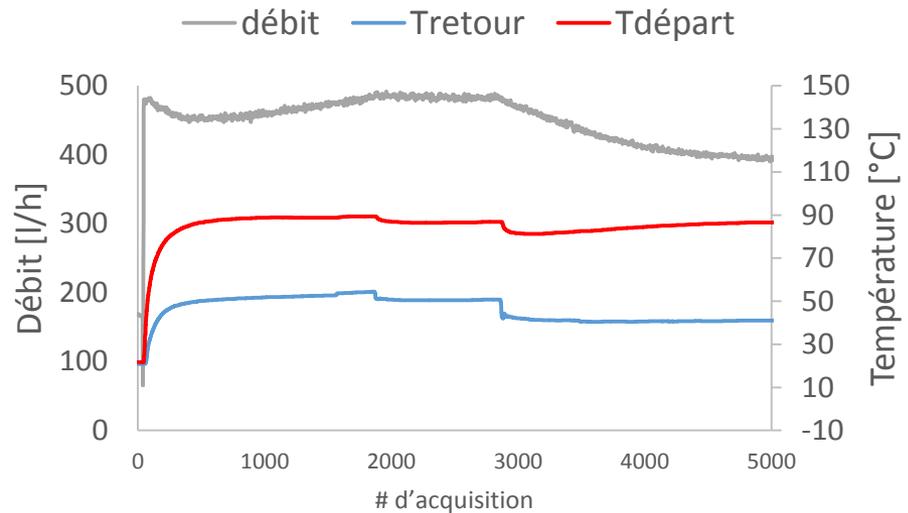
Etude expérimentale micro-cogénérateur à combustion interne

- Présentation du moteur

- Puissance électrique : $7,5 \text{ kW}_{el}$
- Puissance thermique : 21 kW_{th}
- Puissance gaz : 30 kW_{gaz}

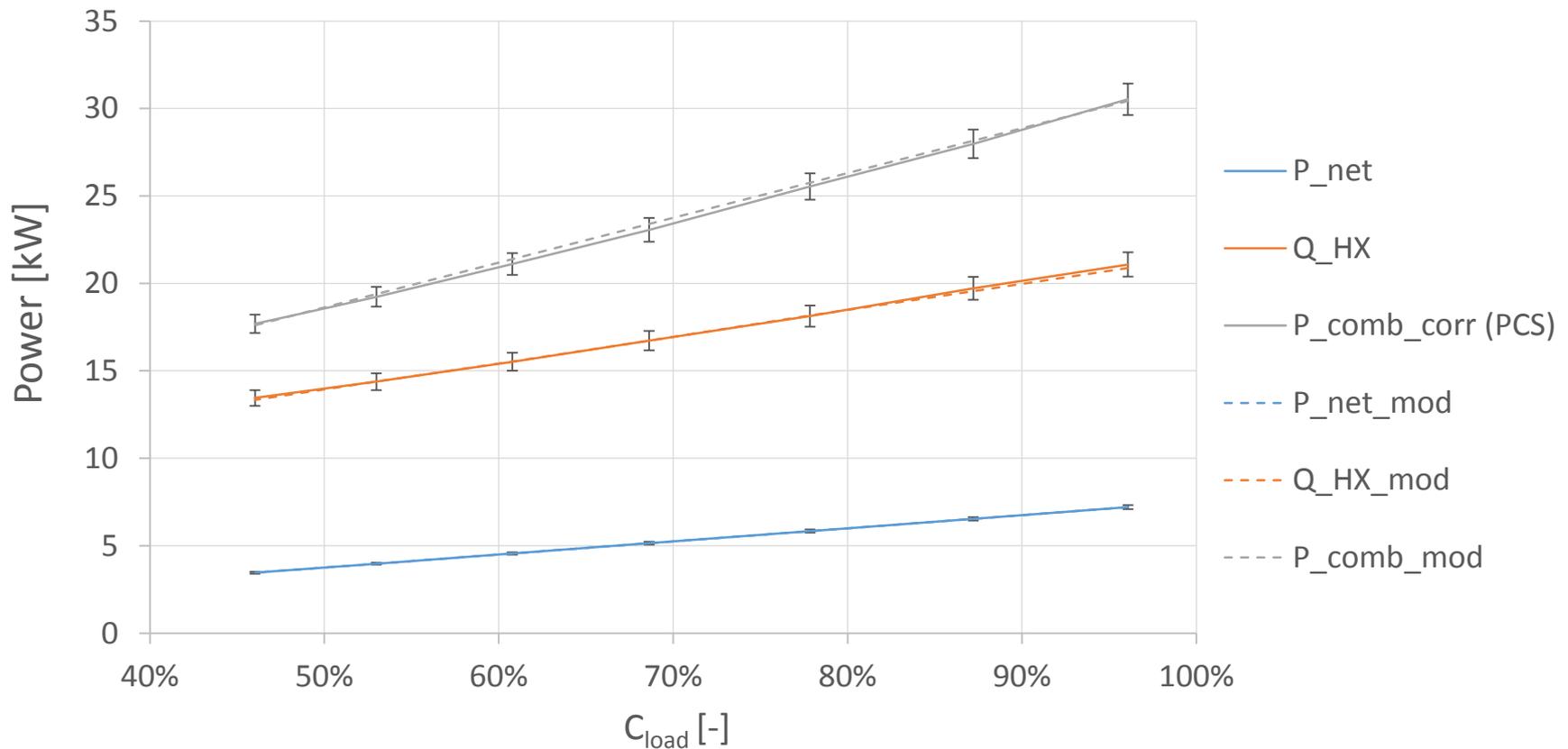
- Caractéristiques

- Echangeur à condensation
- Température de départ maintenue à 85 °C → pompe à vitesse variable
- Modulation de puissance (50 à 100 %)
- Régulation sur puissance thermique (sonde ballon) ou sur électrique



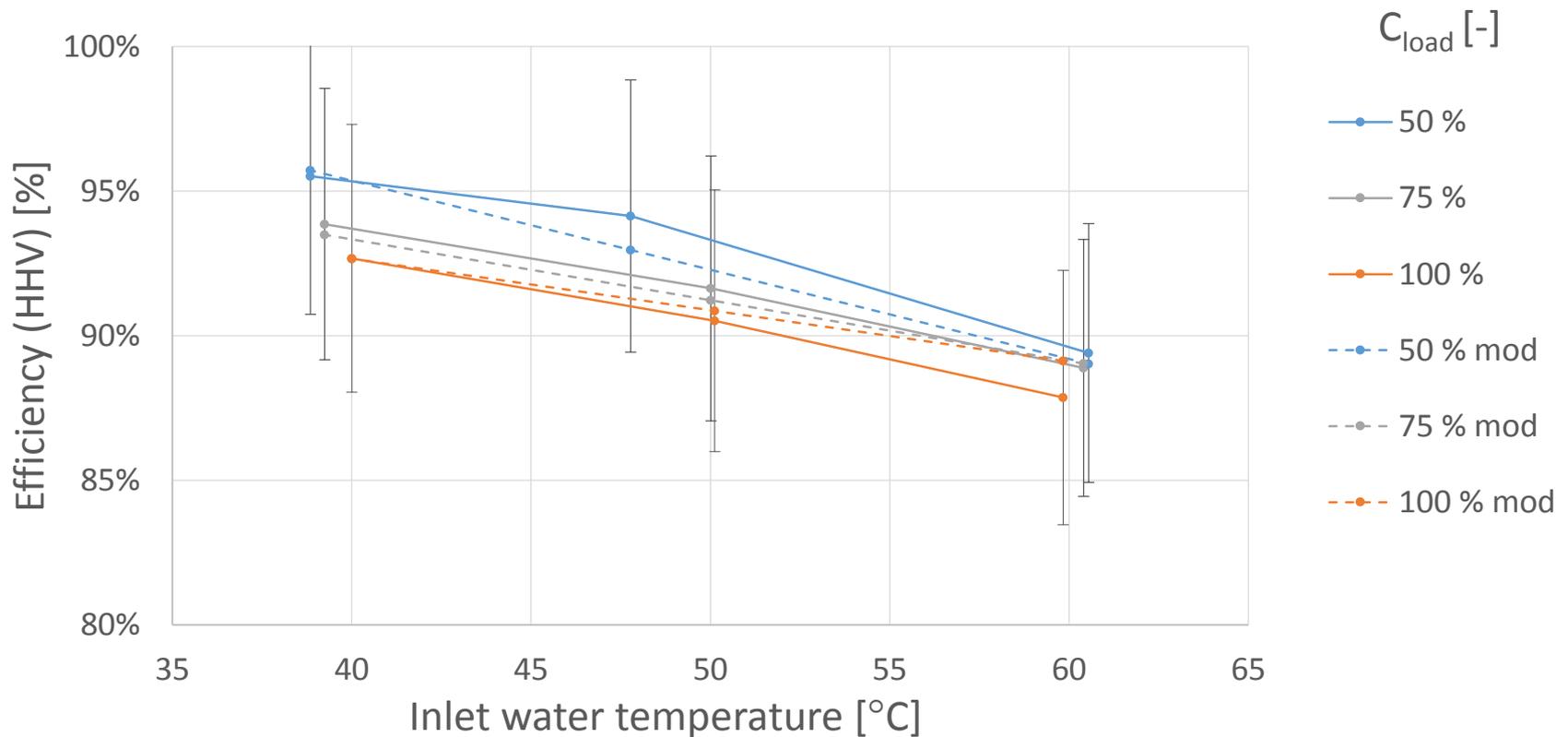
Etude expérimentale micro-cogénérateur à combustion interne

- Essais en régime stationnaire à 60 °C (température retour)
 - Comparaison modèle et mesures

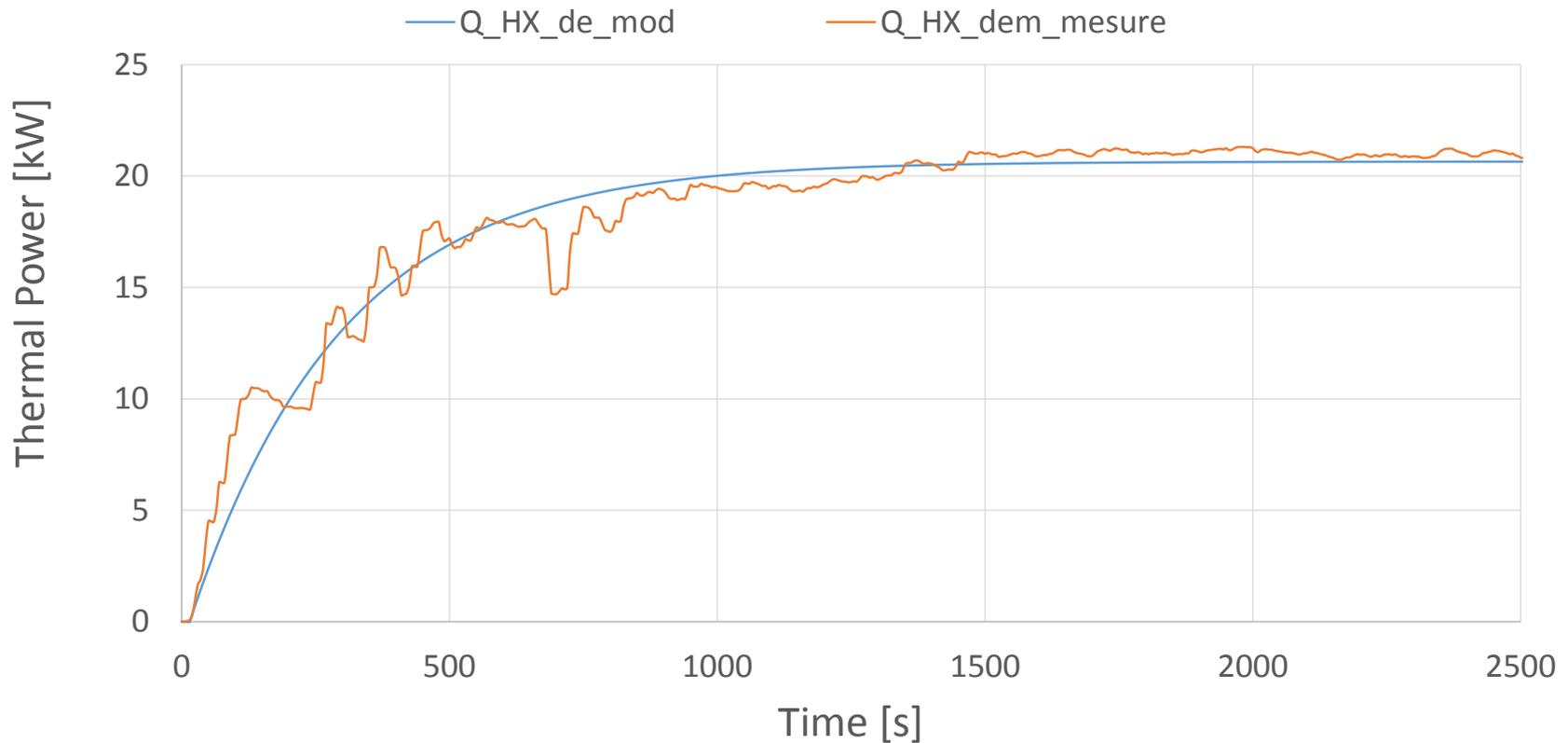


Etude expérimentale micro-cogénérateur à combustion interne

- Essais en régime stationnaire
 - Comparaison modèle et mesures



- Essais en régime dynamique
 - Comparaison modèle et mesures

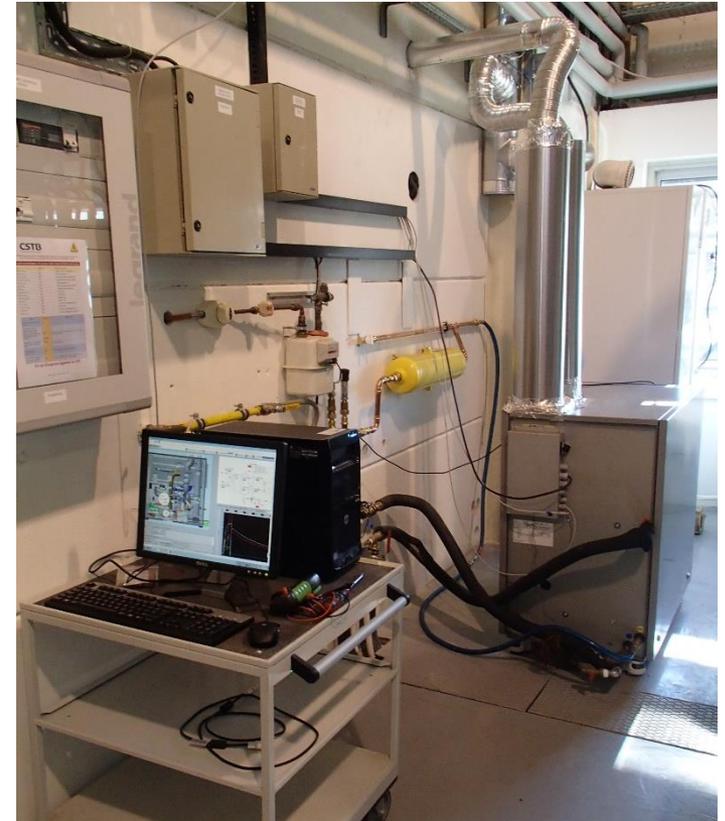


- Contexte et objectifs
- Panorama des travaux
 - Calibration d'un modèle pour un moteur à combustion interne
 - **Etude expérimentale d'une micro-turbine à gaz sur un banc semi-virtuel**
- Perspectives de travail

Etude expérimentale sur un banc semi-virtuel

Micro-turbine à gaz

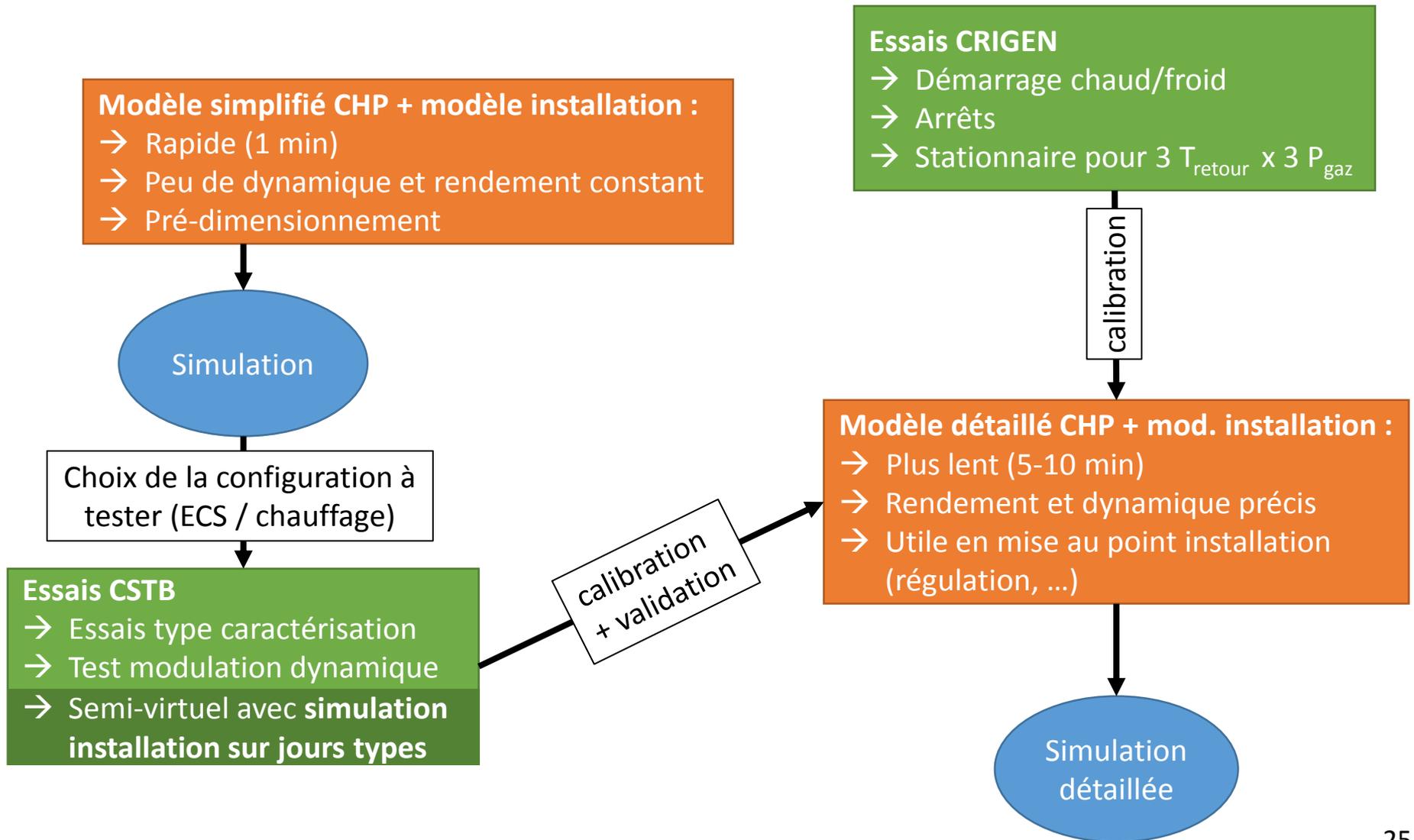
- **Objectif** : Identifier la cible de marché (type de bâtiment) adaptée
- **Méthode** :
 - Modélisation dynamique des systèmes
 - Banc essai semi-virtuel (CSTB)
 - Comparaison simulations/essais
- **Résultats attendus** :
 - Quels besoins couvrir en priorité ?
 - Amélioration du contrôle de la machine
 - Ajouter un modèle à la « bibliothèque »



Etude expérimentale sur un banc semi-virtuel

Micro-turbine à gaz

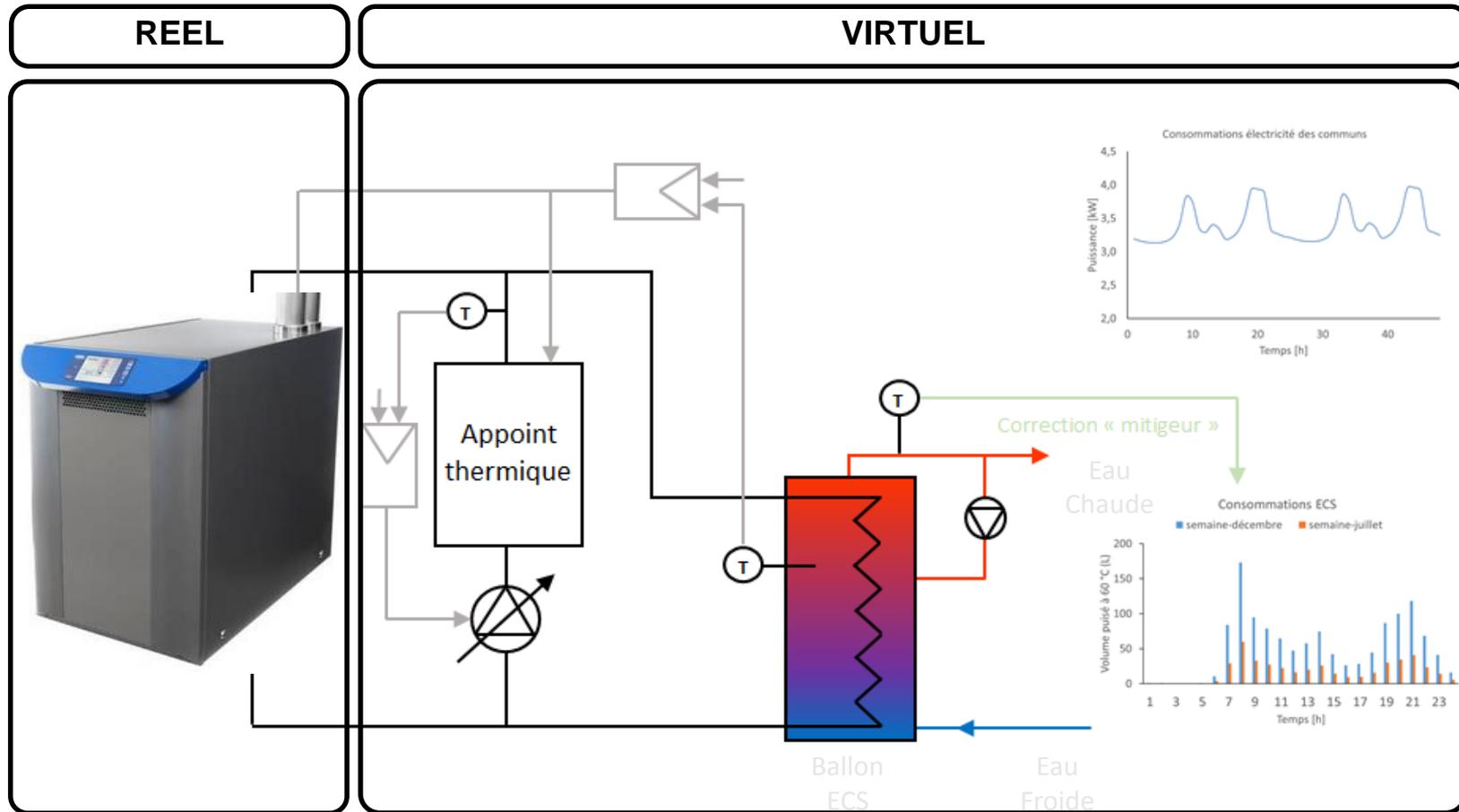
- Articulation entre essais et modélisation



Etude expérimentale sur un banc semi-virtuel

Micro-turbine à gaz

- Banc semi-virtuel



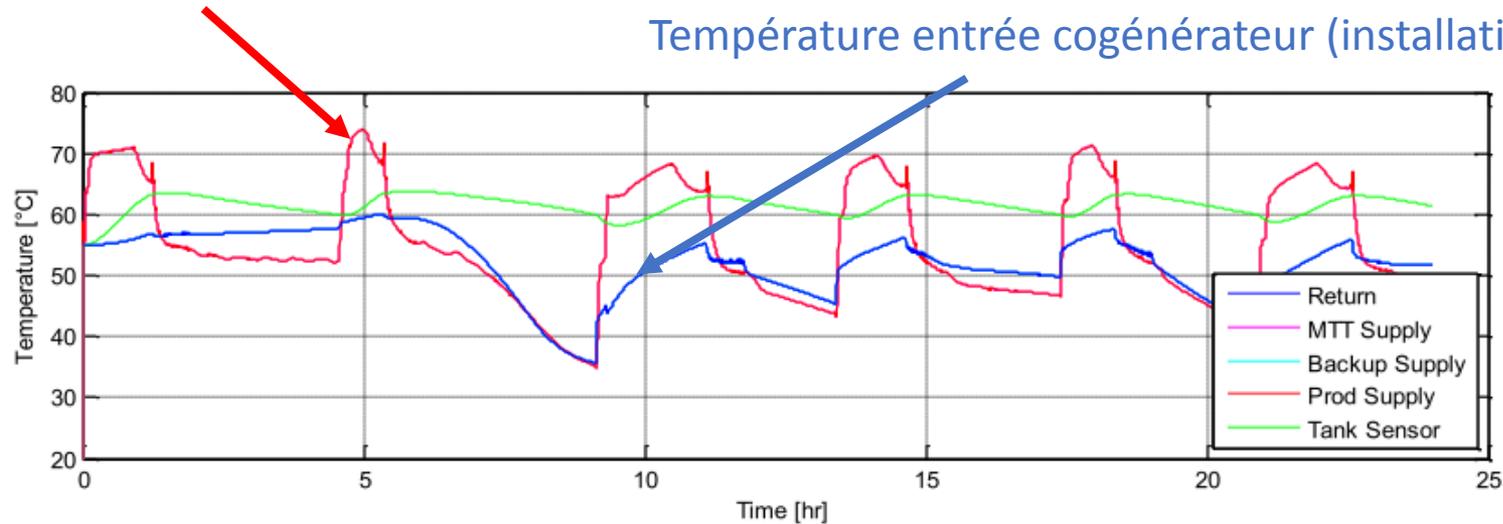
Etude expérimentale sur un banc semi-virtuel

Micro-turbine à gaz

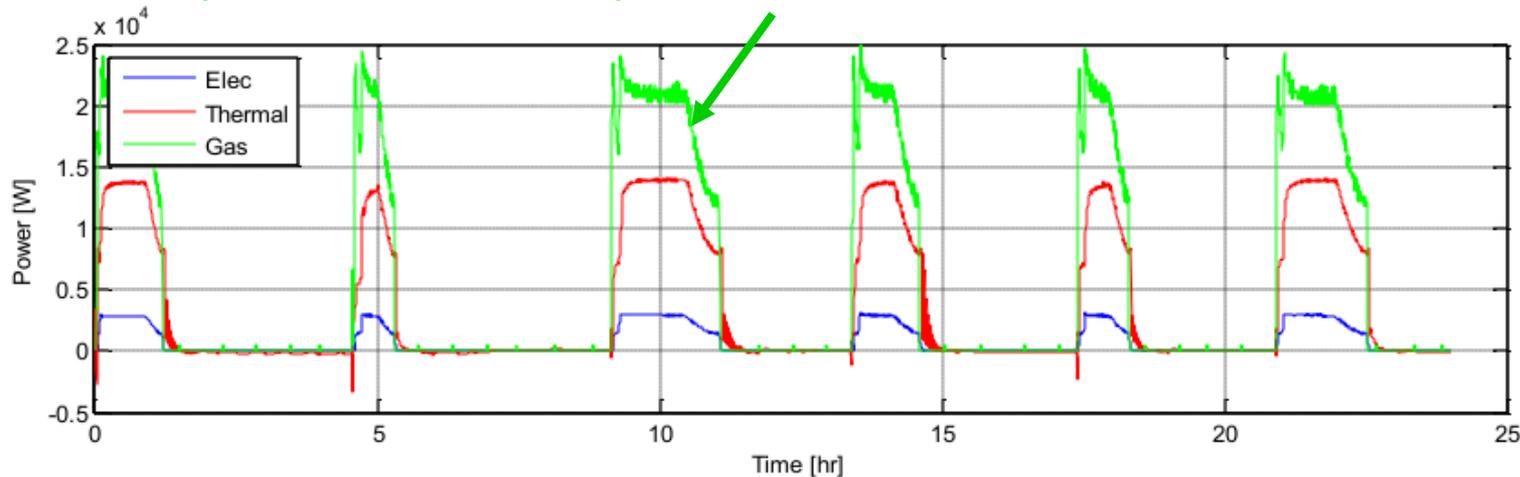
- Essai d'une journée en ECS pour un bâtiment de 10 logements + ballon 2000 L

Température sortie cogénérateur (réelle)

Température entrée cogénérateur (installation simulée)



Modulation de puissance (selon température ballon simulée)



- Contexte et objectifs
- Panorama des travaux
 - Etude expérimentale d'une micro-turbine à gaz sur un banc semi-virtuel
 - Calibration d'un modèle de micro-cogénération pour un moteur à combustion interne
- **Perspectives de travail**

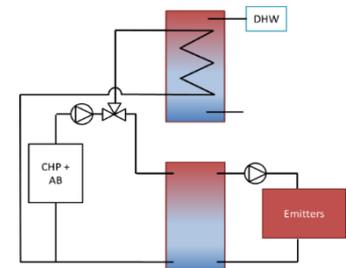
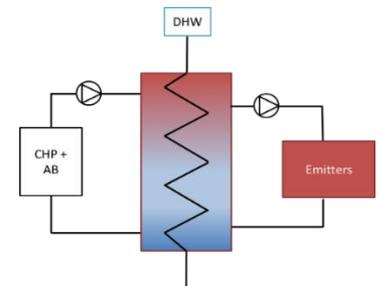
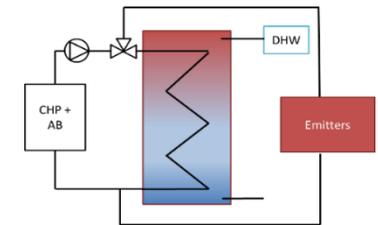
- Calibrer le modèle générique de micro-cogénération avec plus de technologies
 - Micro Turbines (CRIGEN + CSTB)
 - Piles à combustible (CRIGEN + littérature)
 - Valider la généricité du modèle
- Valider le comportement dynamique du modèle et son intérêt pour évaluer l'intégration de la micro-cogénération
 - Validation sur un banc semi-virtuel (CSTB)
- Quelle micro-cogénération pour quel bâtiment ?
- Impact sur la flexibilité des bâtiments et la demande des quartiers
 - Réduction de modèles/simplification (après analyse de sensibilité)
 - EFFICACITY District Modeling Tools : "Virtual Power Plants"

Merci de votre attention !

Questions ?

Comparaison de solutions d'intégration hydraulique d'un micro-cogénérateur Stirling dans un logement individuel

- **Objectif** : Comparer les solutions d'installation proposées par les constructeurs
- **Méthode** :
 - Modélisation dynamique des systèmes
 - Générateur de besoins stochastique
 - Simulations annuelles
- **Résultats** : Choix d'un schéma d'installation selon le bâtiment visé



“High” consumption building case

“Low” consumption building case

