

PLATFORM-BASED DESIGN : QUAND LA SIMULATION DYNAMIQUE CORRIGE L'OPTIMISATION, AVANT DE CONSTRUIRE

Dr. Rémi Patureau, Unilasalle, ex-LBNL

PROJET

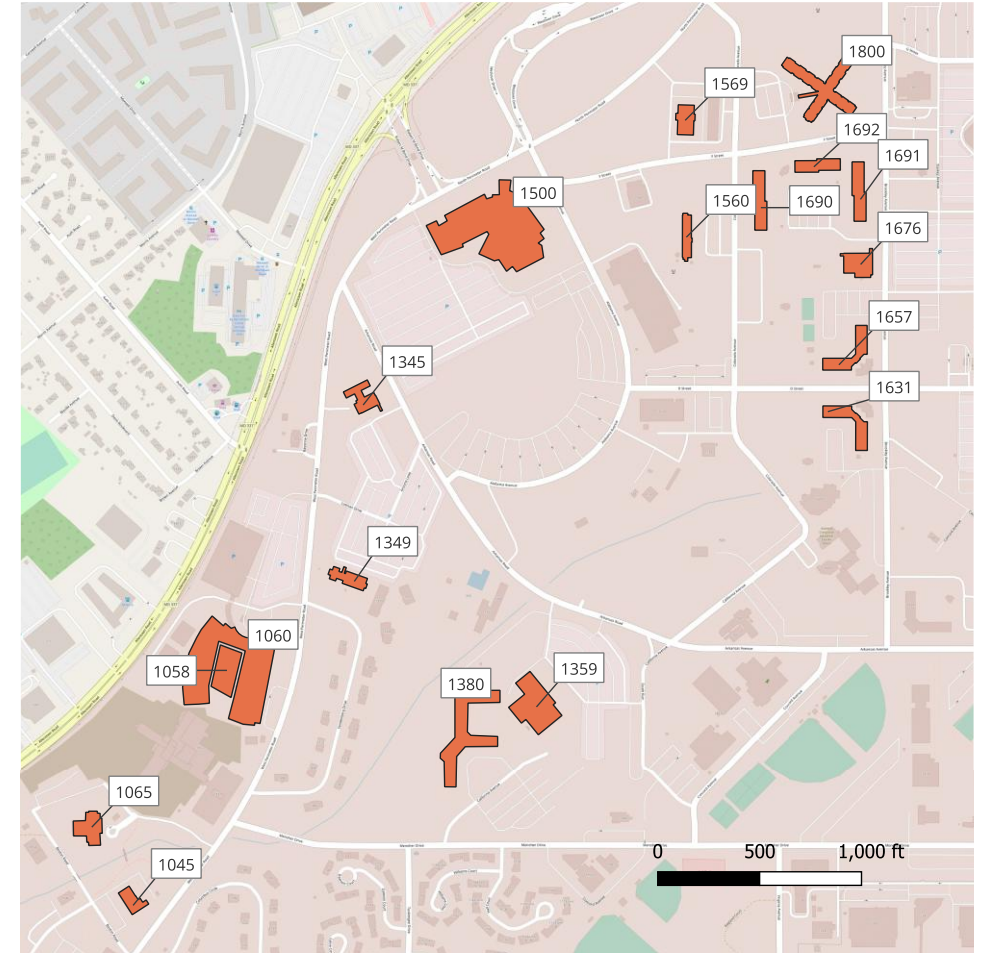
- Cette présentation est issue des travaux du projet ESTCP EW23-7686 « Thermal Reservoir Networks for Modularly Expandable Thermal Microgrids »
- Les contributeurs principaux sont :
 - LBNL: Michael Wetter, Matthias Sulzer, Jianjun Hu, Hongxiang Fu, Rémi Patureau
 - Southland Industries: Eric Nyenhuis, Virak Dee, Andrew Tech
- Rapport final et articles en fin de présentation
- Les illustrations sont issues de ces documents

OBJECTIFS

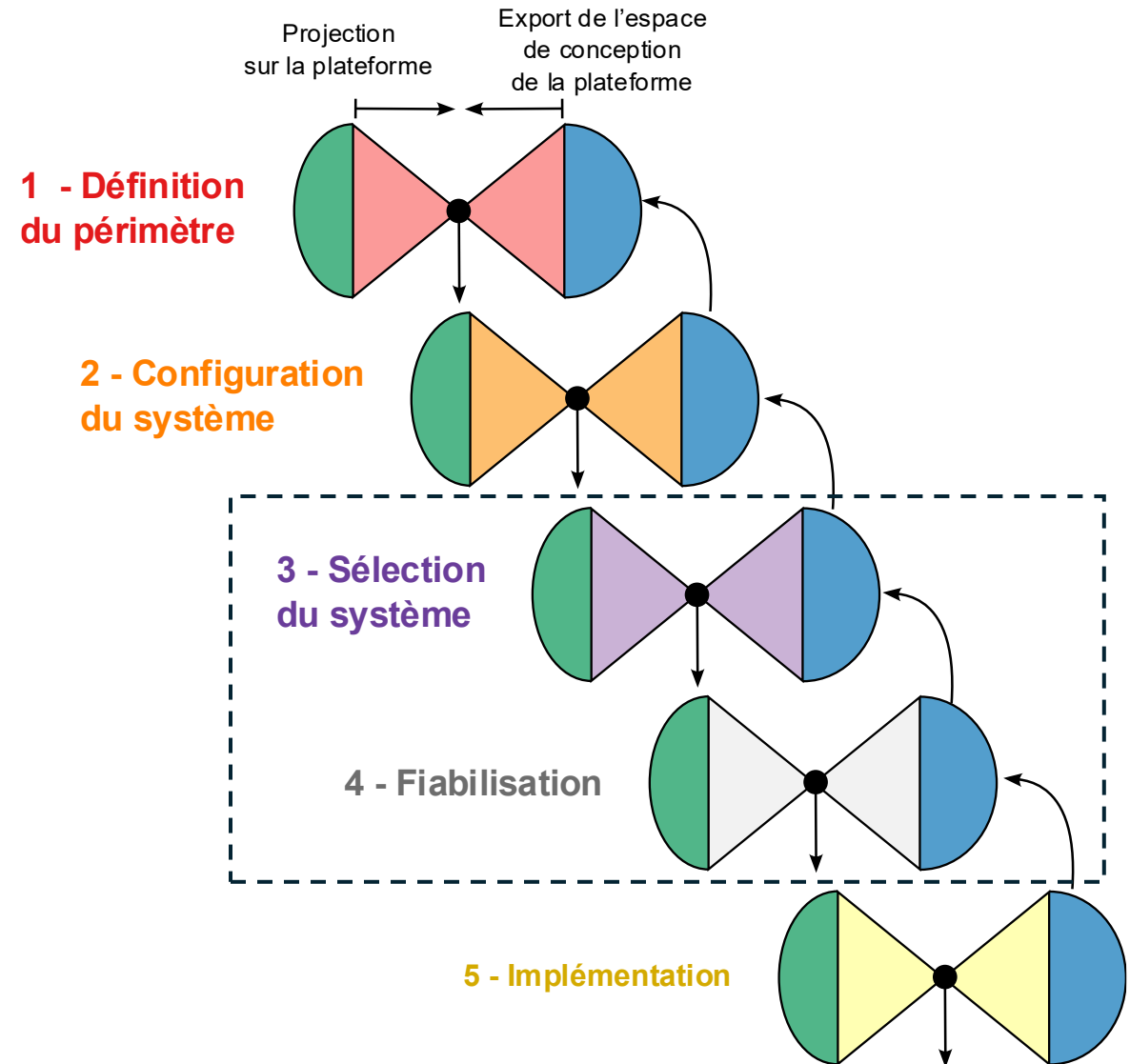
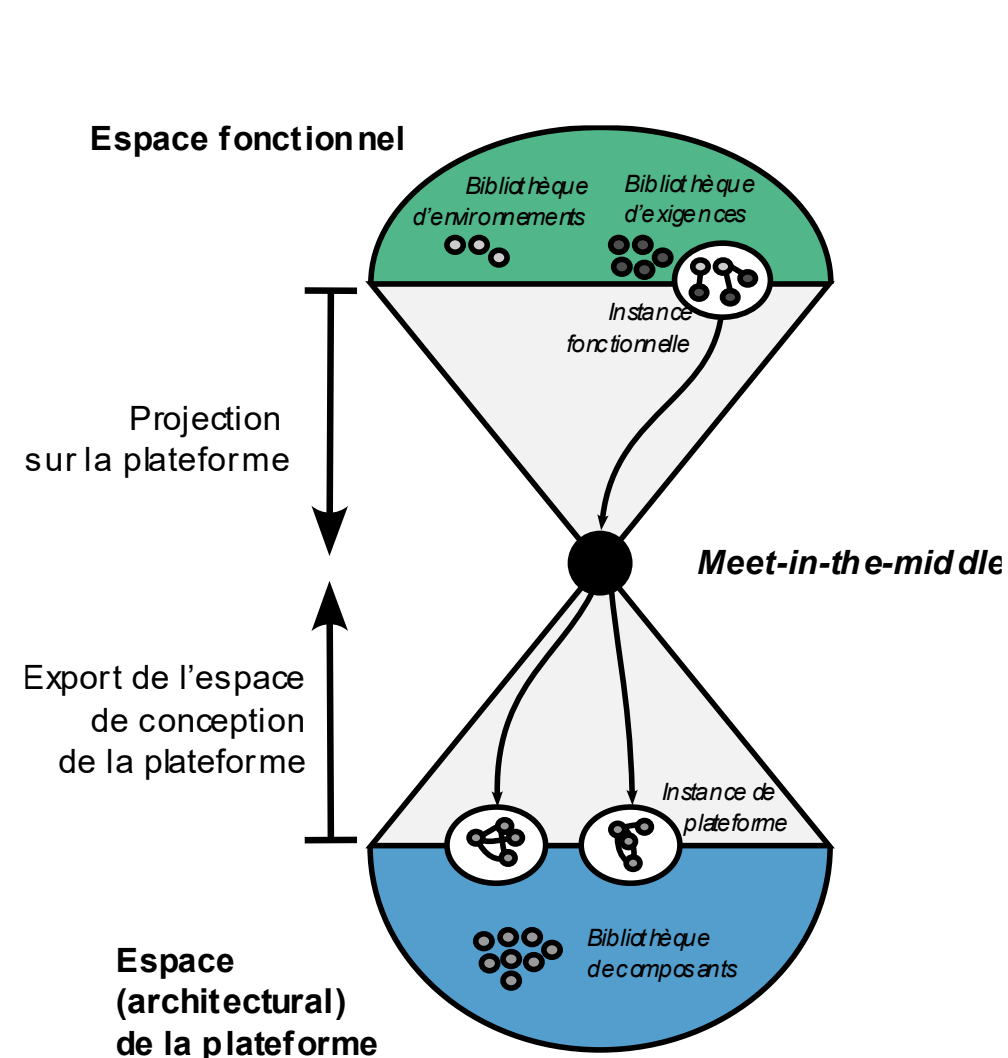
- Problème
 - Département de la Défense (DoD) (Etats-Unis) : **300 000 bâtiments** répartis sur **500 sites**, soit environ 33 % de la consommation d'énergie du DoD.
 - Rénover **1 à 2 sites par mois**, chacun de 1 000 bâtiments en moyenne.
 - Renovations : **fiables, résilientes**, et avec un **coût contrôlé**.
- Proposition
 - Évaluer rigoureusement la **viabilité technico-économique** des systèmes intégrés, et notamment des RDC, par rapport aux systèmes conventionnels.
 - **Démontrer l'intérêt** du PBD
 - **Transposer** à d'autres sites, pour un déploiement à grande échelle sur les installations du DoD.

PRÉSENTATION DU CAS D'ÉTUDE

- Site militaire : Joint Base Andrews
- 17 bâtiments
- Surface bâtie de 112 000 m²
- Besoins énergétiques des bâtiments calculés à partir d'eQuest (données d'entrée)
- Rénovation : choix du (des) système(s) énergétique(s)



PLATFORM-BASED DESIGN (CONCEPTION FONDÉE SUR LES PLATEFORMES)



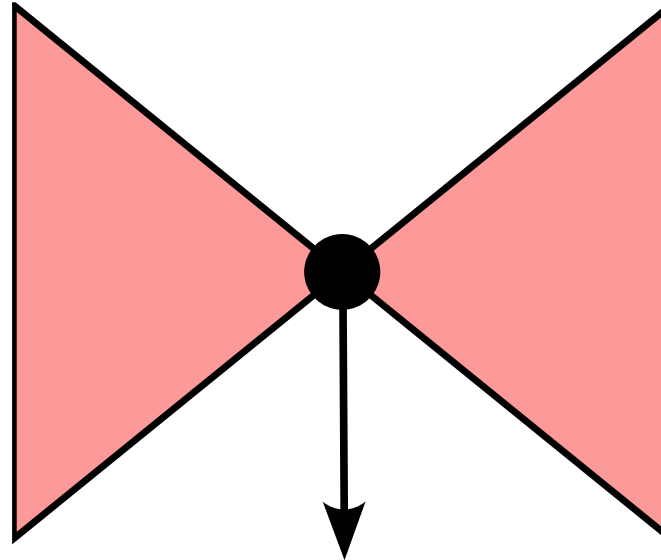
1 – DÉFINITION DU PÉRIMÈTRE : plateforme

Objectifs de performance quantitatifs

- Énergie importée: -50% / ref
- Pic d'énergie importée: -40% /ref
- Coût du cycle de vie: <120 % /ref
- Coût d'investissement: <200 % /ref
(ou <110 % /ref si privatisation des infrastructures)
 - $LCOE \leq 0,25$ USD/kWh

Objectifs de performance qualitatifs

- Complexité du système, de l'installation, de l'exploitation sur site, moyenne à élevée
- Boucles de régulation fonctionnant de manière stable



Bibliothèque de composants

Définir les technologies permettant de satisfaire les exigences fonctionnelles

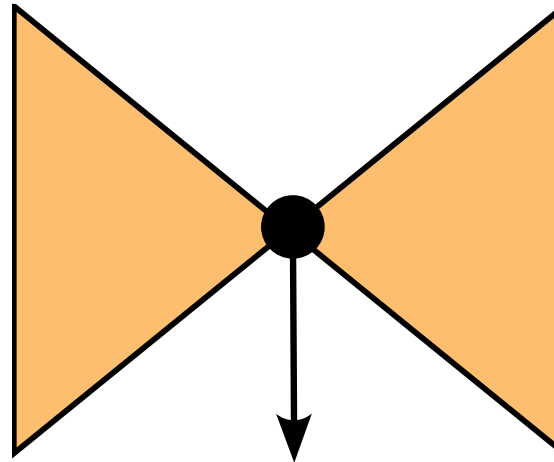
4 configurations :

- 1- Gas
- 2- PAC air-eau
- 3- PAC eau-eau
- 4- RDC décentralisé

*Appoint gaz en option pour 2 à 4
PV et batteries*

2 – CONFIGURATION DU SYSTÈME : plateforme

Exigences N-1
Boucles sans glycol
ECS sans risque de légionelle
Séparation hydraulique entre sous-stations
et réseau
Stockage court-terme (temporaire) et
saisonnier

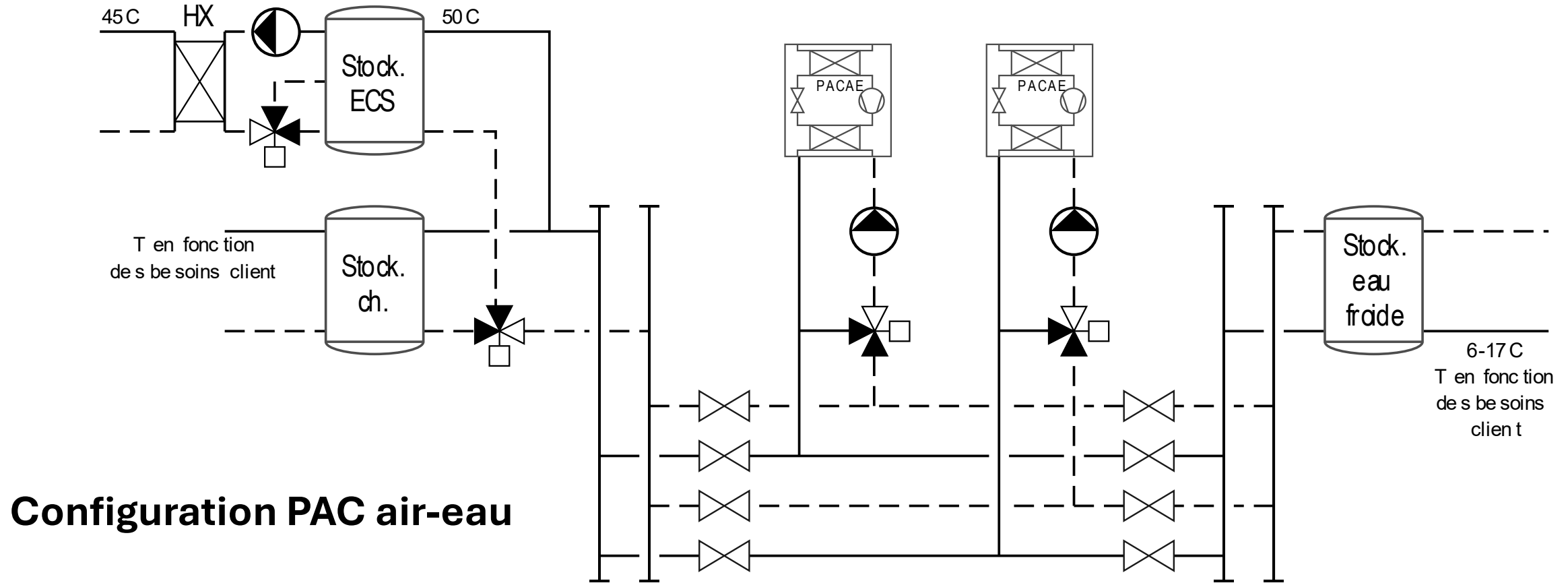


Composants schématisés, avec une
description des contrôles associés
- Conversion : chaudières, PAC air/eau et
eau/eau, groupes froids
- Stockage : sondes, ballons
- Distribution : topologies

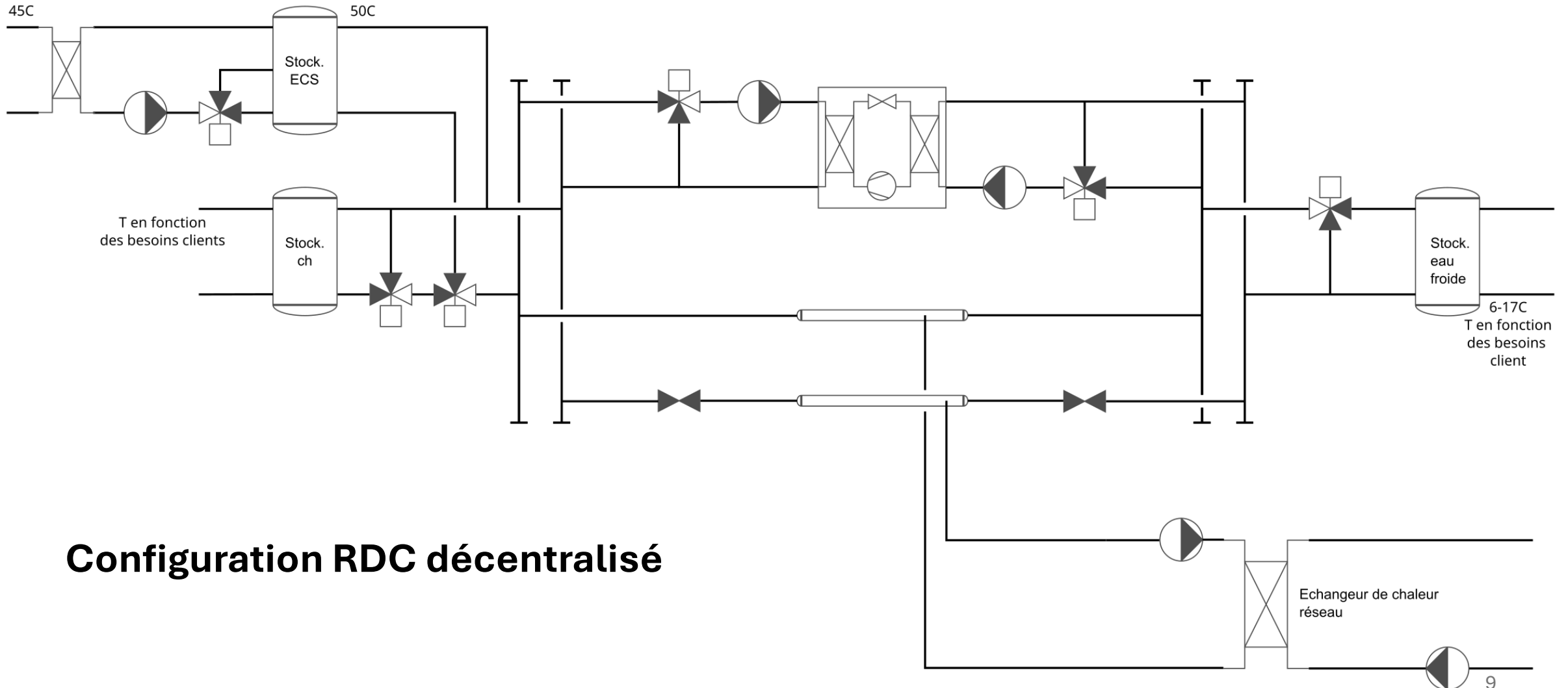
Schémas hydrauliques des 4 configurations

Pour le RDC: Tracé et emplacement de la centrale
17 bâtiments raccordés
Températures de conception
Description des contrôles
Rejet PAC 6 tubes
Revue avec le propriétaire pour validation

2 – CONFIGURATION DU SYSTÈME : schémas hydrauliques (*meet-in-the-middle*) (1/2)

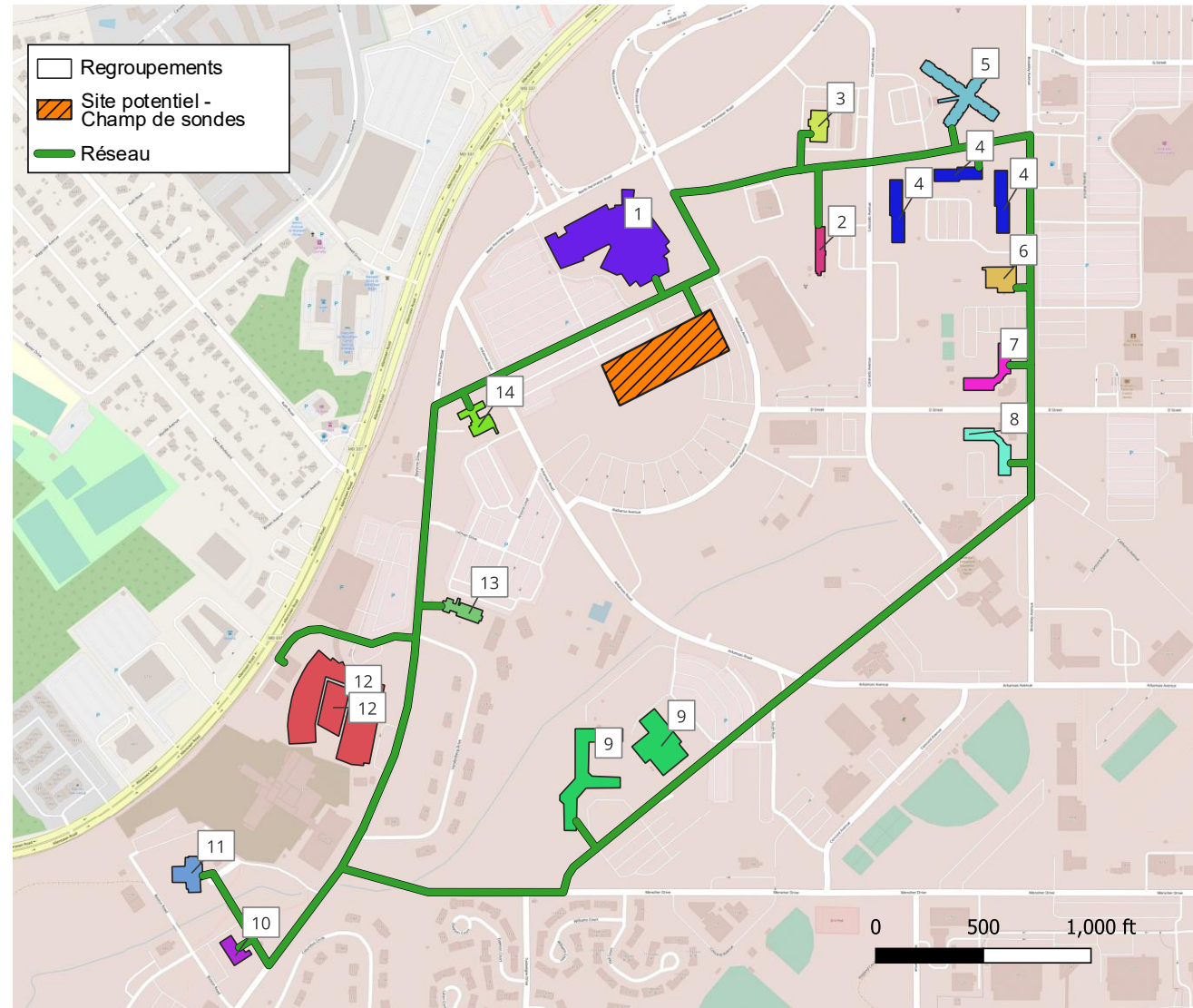


2 – CONFIGURATION DU SYSTÈME : schémas hydrauliques (*meet-in-the-middle*) (2/2)



Configuration RDC décentralisé

2 – CONFIGURATION DU SYSTÈME : Regroupements et tracé d'un réseau potentiel



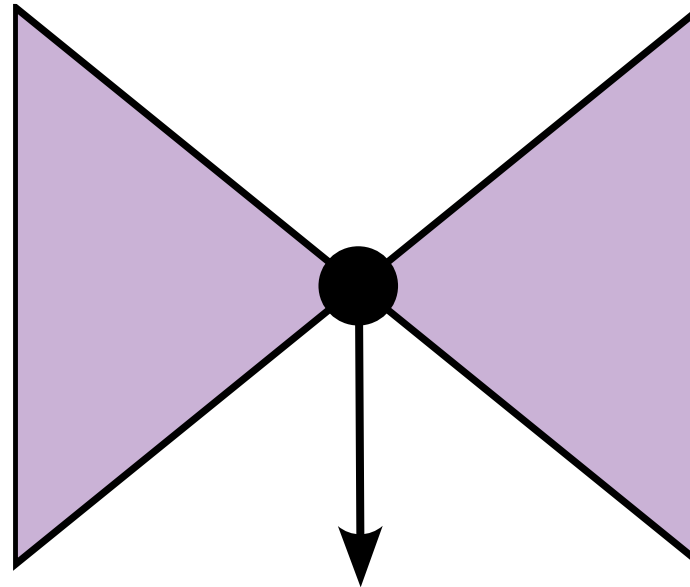
3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : plateforme

Exigences N-1

Demandes satisfaites à chaque pas de temps

Solution Pareto-optimale :

- Minimiser l'énergie importée
- Minimiser le coût de cycle de vie

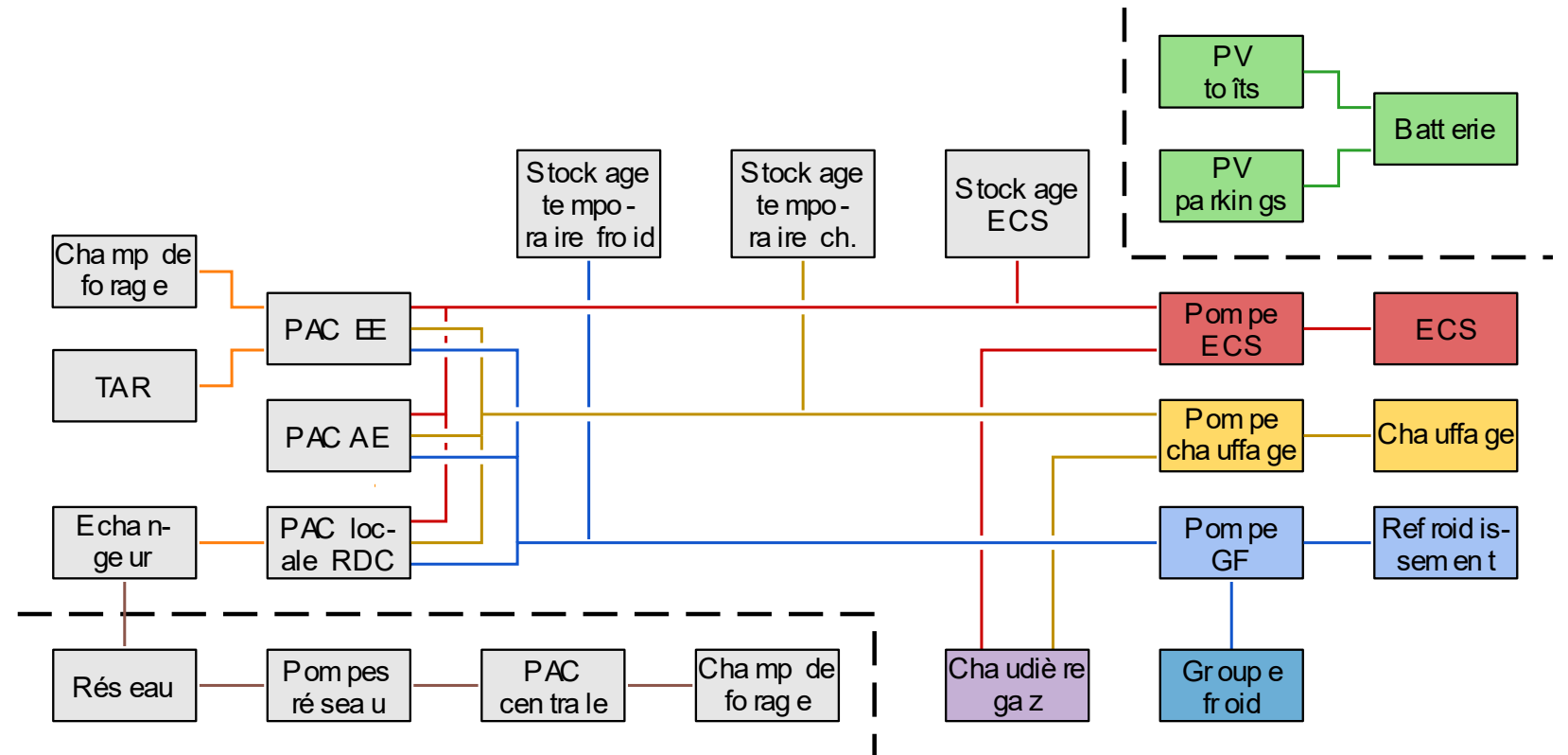


Composants MILP :

- rendements,
- capacités,
- investissement linéaire,
- coûts d'exploitation.
- COP mensuels
- rendements constants pour la chaudière, le PV et les batteries.
- Capacité max des sondes

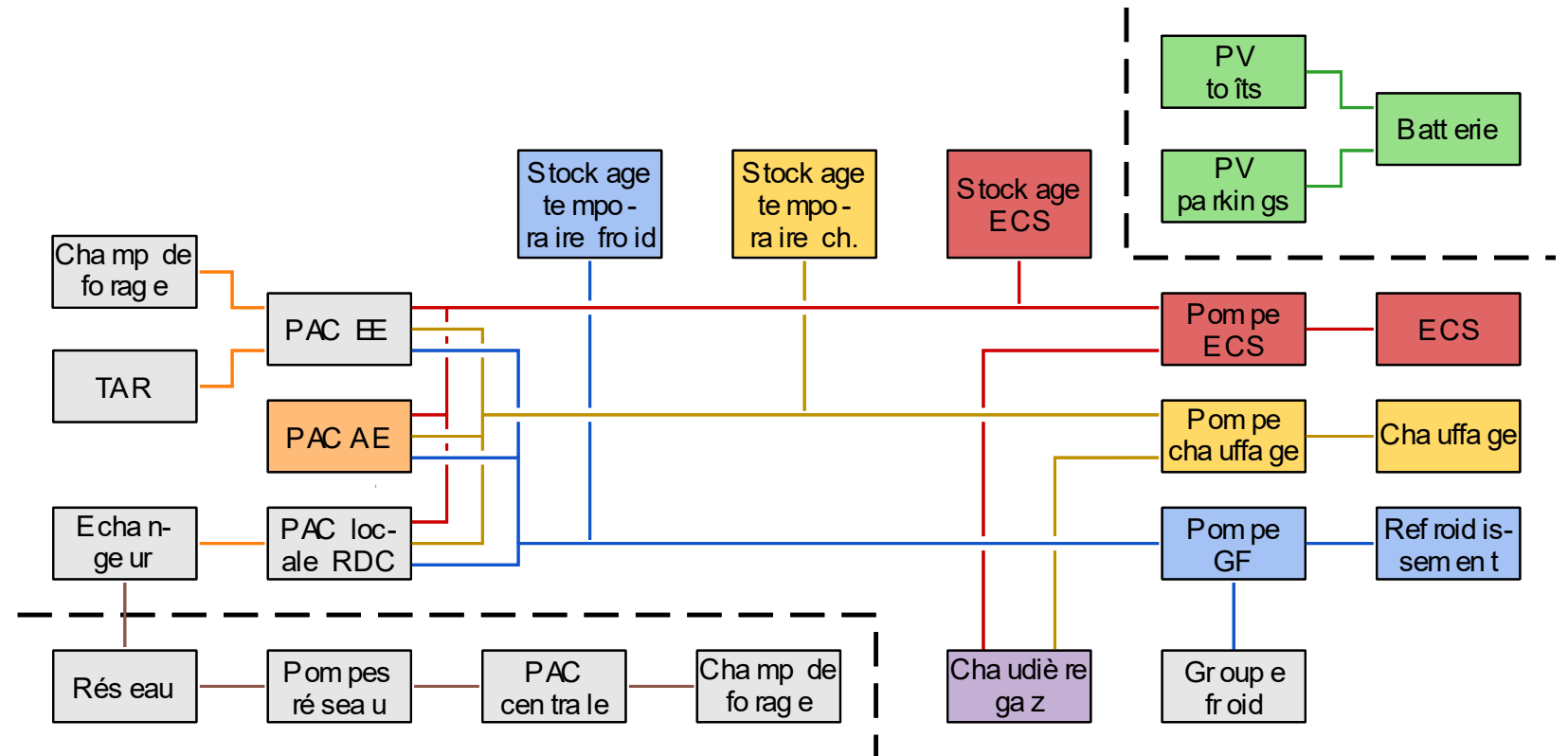
3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : configurations pour le MILP

- 1 – Gaz



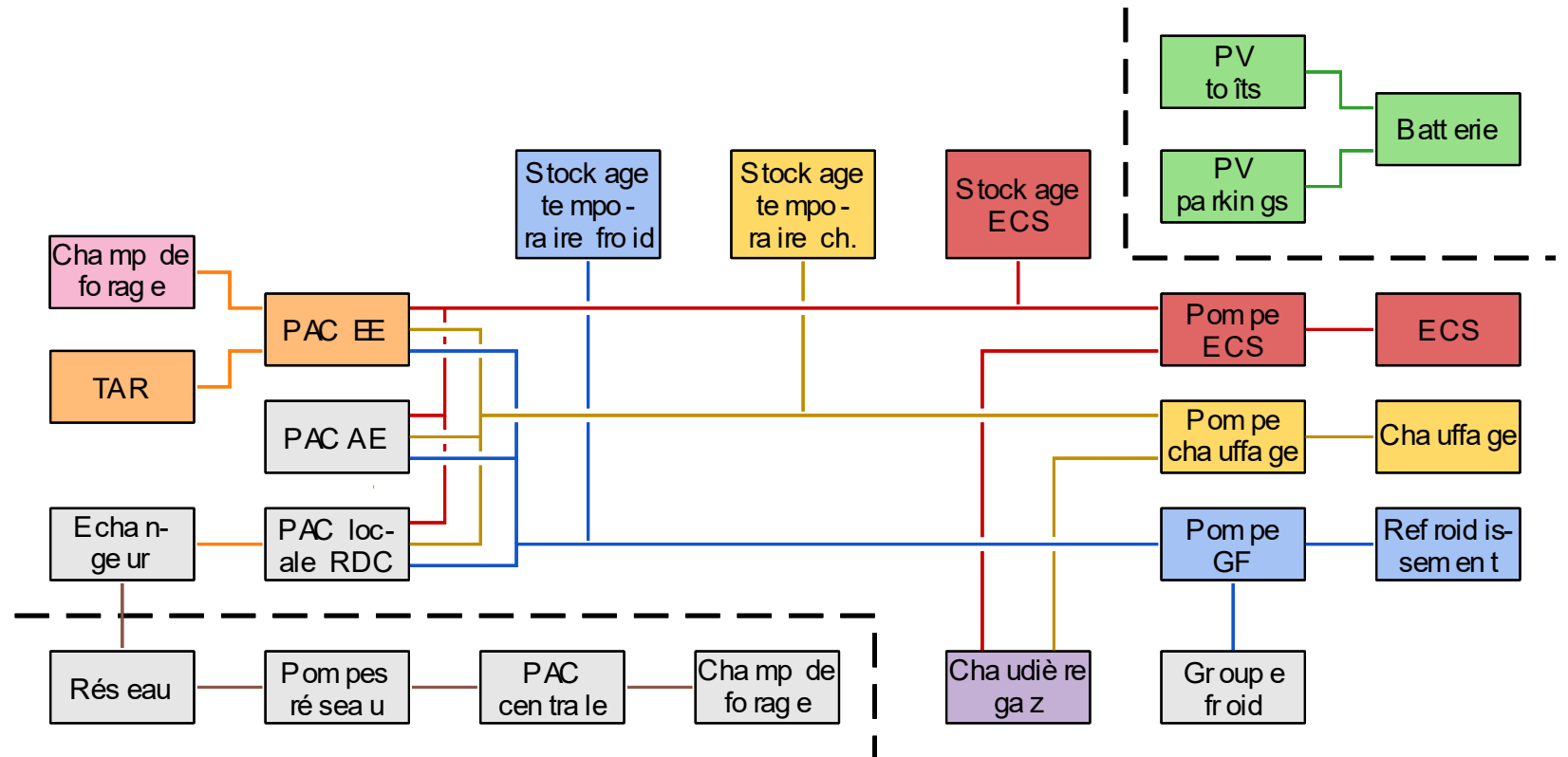
3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : configurations pour le MILP

- 2 – PAC air-eau



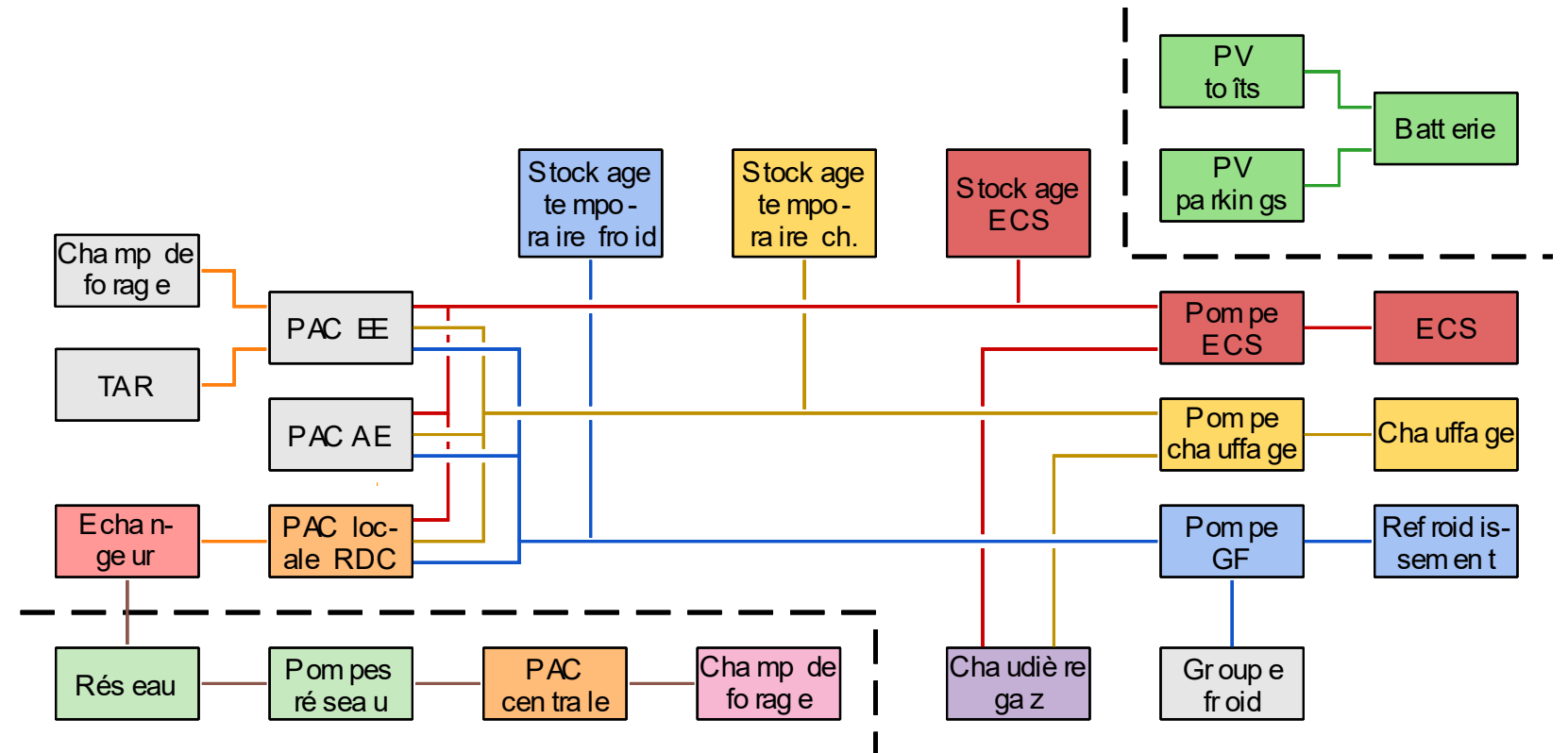
3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : configurations pour le MILP

- 3 – PAC eau-eau



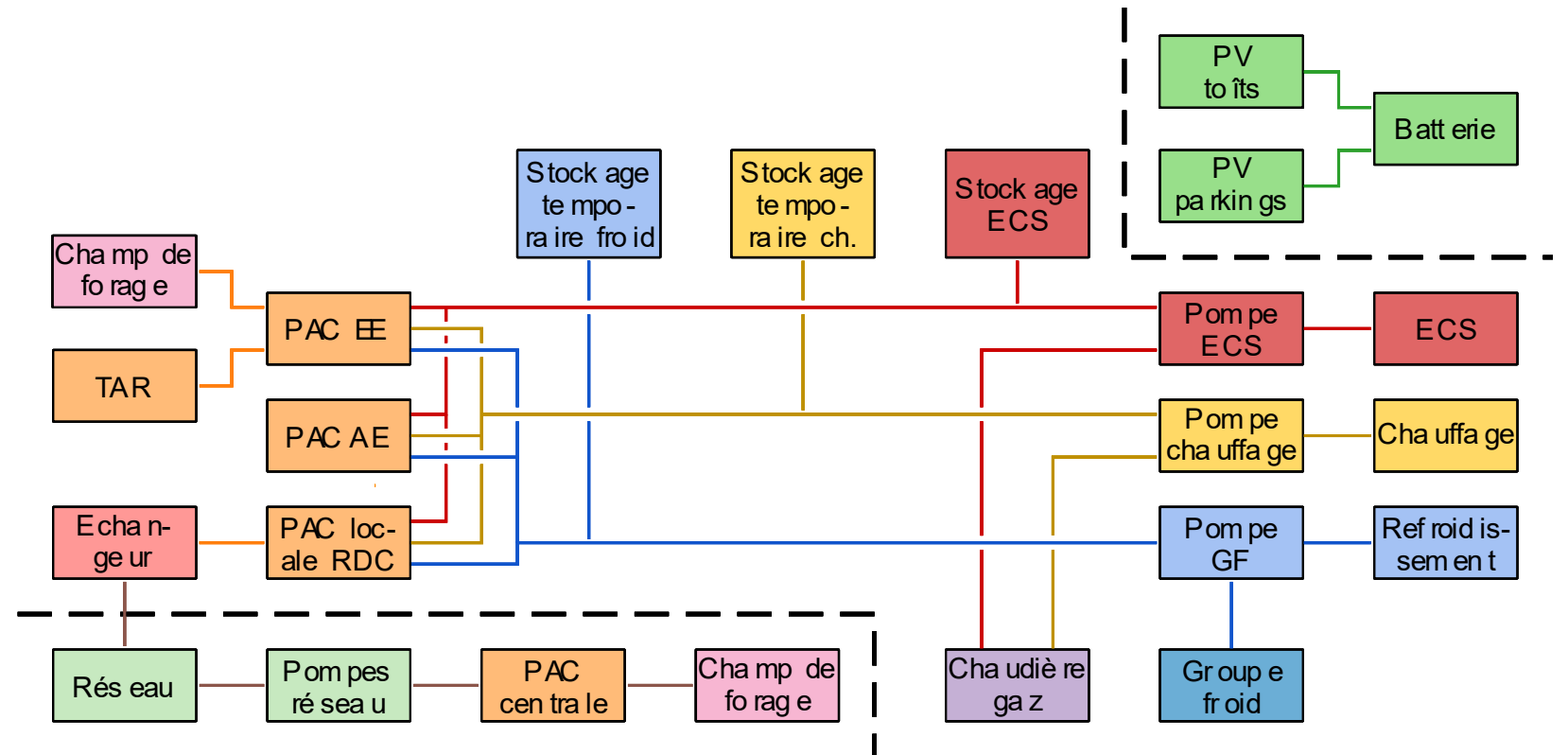
3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : configurations pour le MILP

- 4 – Réseau décentralisé

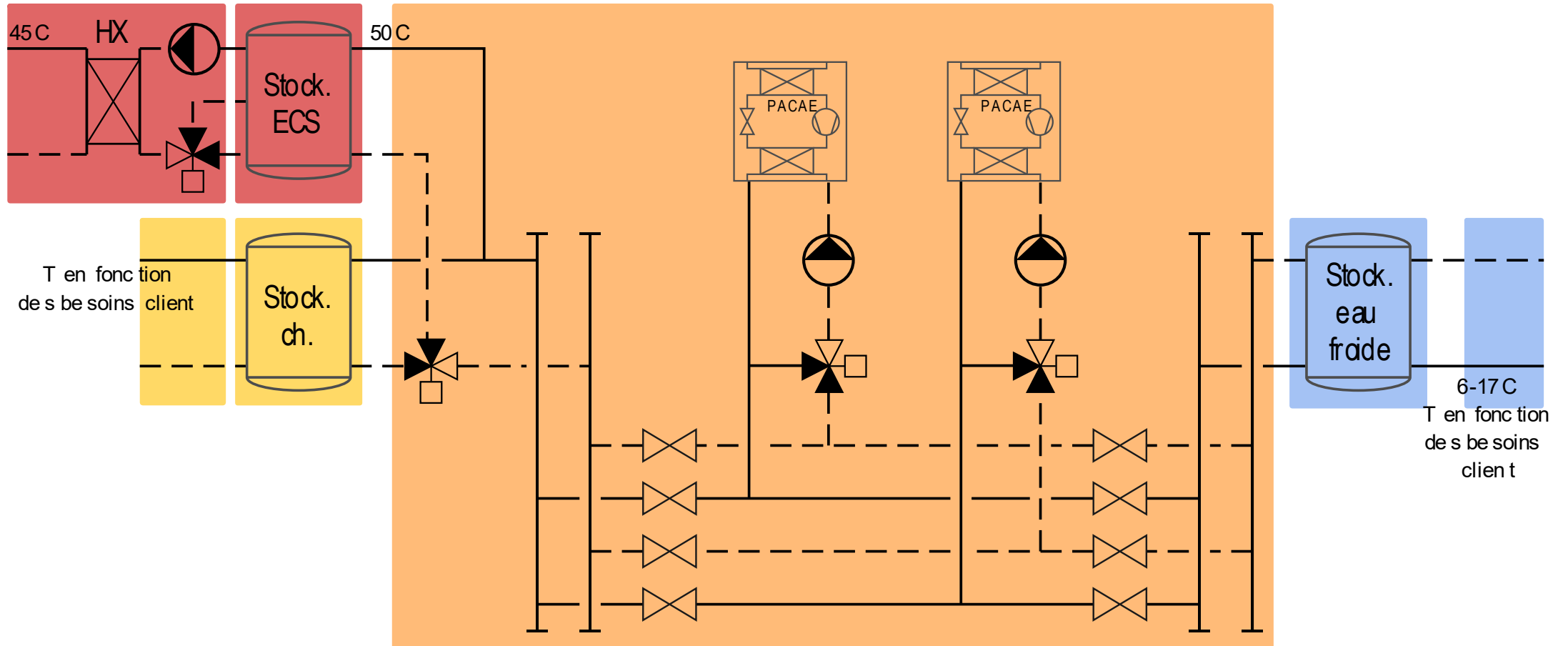


3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : configurations pour le MILP

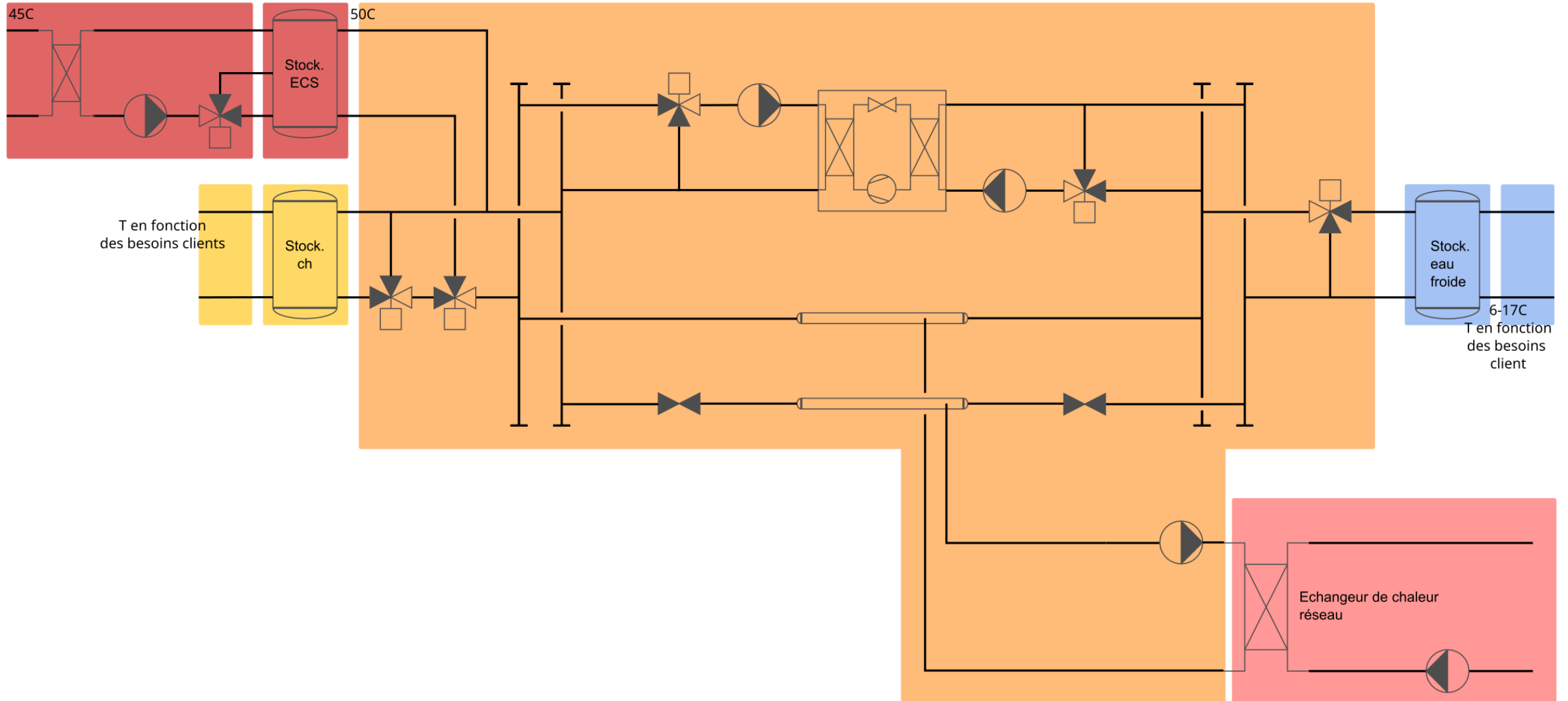
- 1 – Gaz
- 2 – PAC air-eau
- 3 – PAC eau-eau
- 4 – Réseau décentralisé



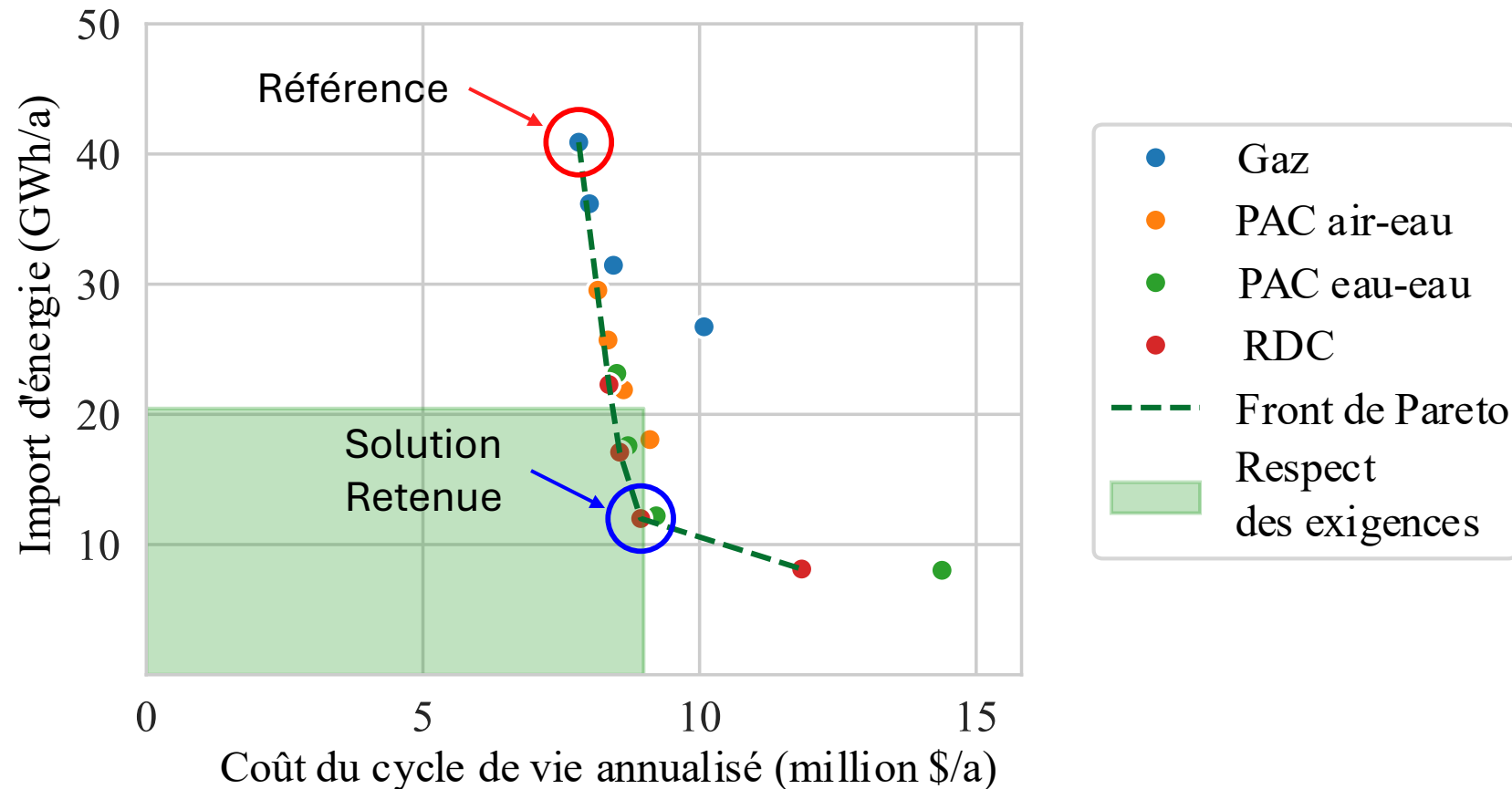
3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : lien MILP / schémas hydrauliques (1/2)



3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : lien MILP / schémas hydrauliques (2/2)



3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : résultats MILP



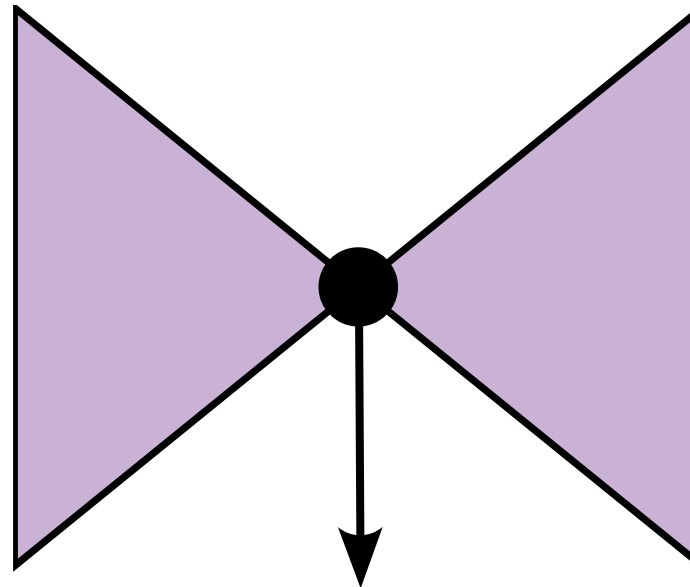
3 – SÉLECTION DU SYSTÈME : plateforme

Exigences N-1

Demandes satisfaites à chaque pas de temps

Solution Pareto-optimale :

- Minimiser l'énergie importée
- Minimiser le coût de cycle de vie



RDC + PV + Batterie :

-70,7 % d'énergie importée

Coût de cycle de vie = 114 % /ref

Composants MILP :

- rendements,
- capacités,
- investissement linéaire,
- coûts d'exploitation.
- COP mensuels
- rendements constants pour la chaudière, le PV et les batteries.
- Capacité max des sondes

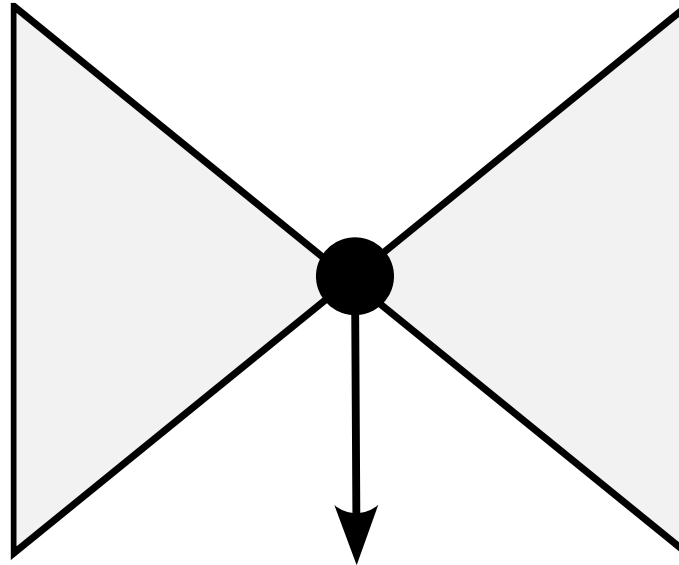
4 – FIABILISATION : plateforme

Exigences N-1

- PAC: 30 min de marche et 10 min d'arrêt minimum
 - Vannes stables
- T de consigne : SST, réseau, sondes, ECS

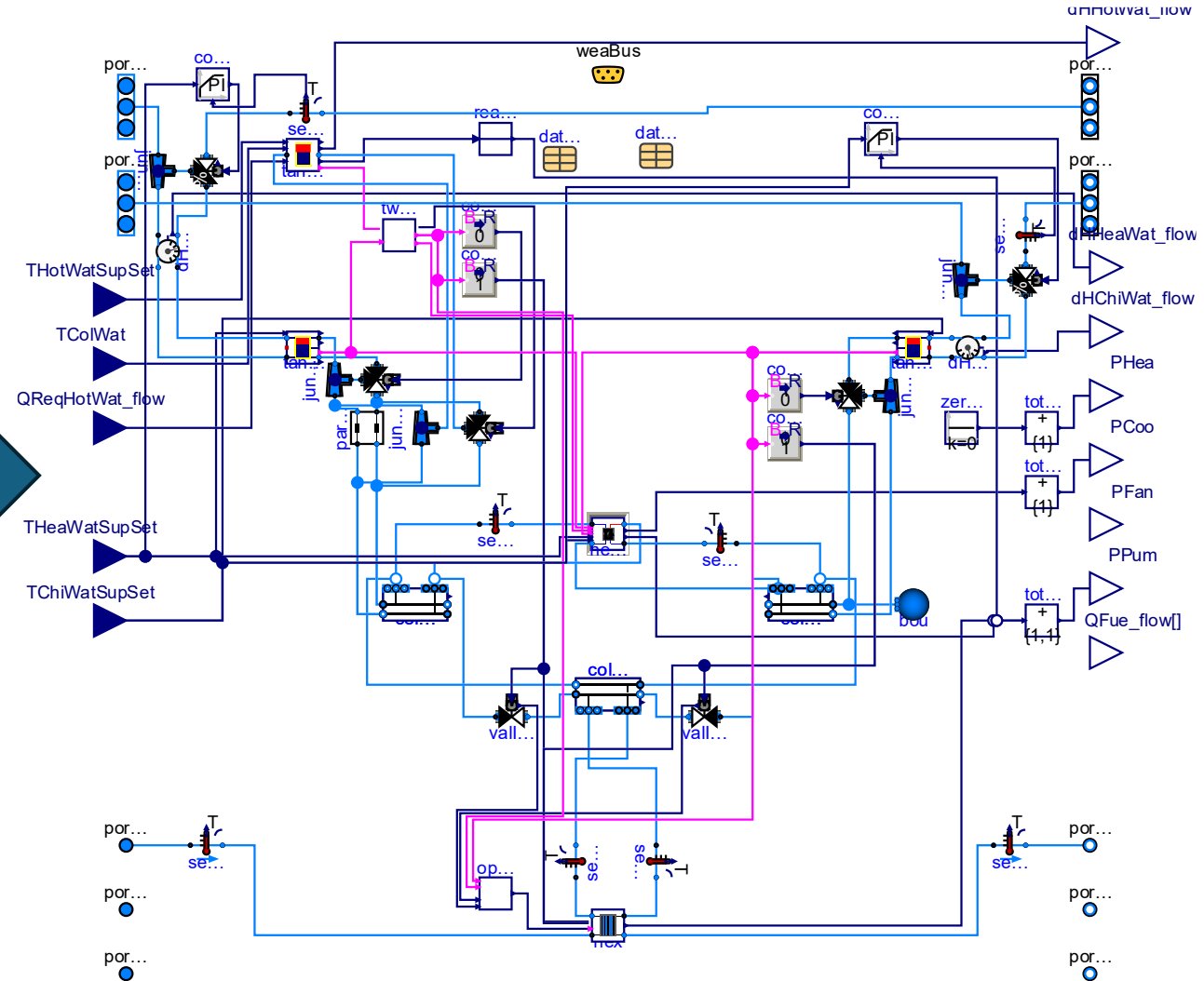
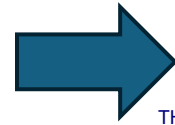
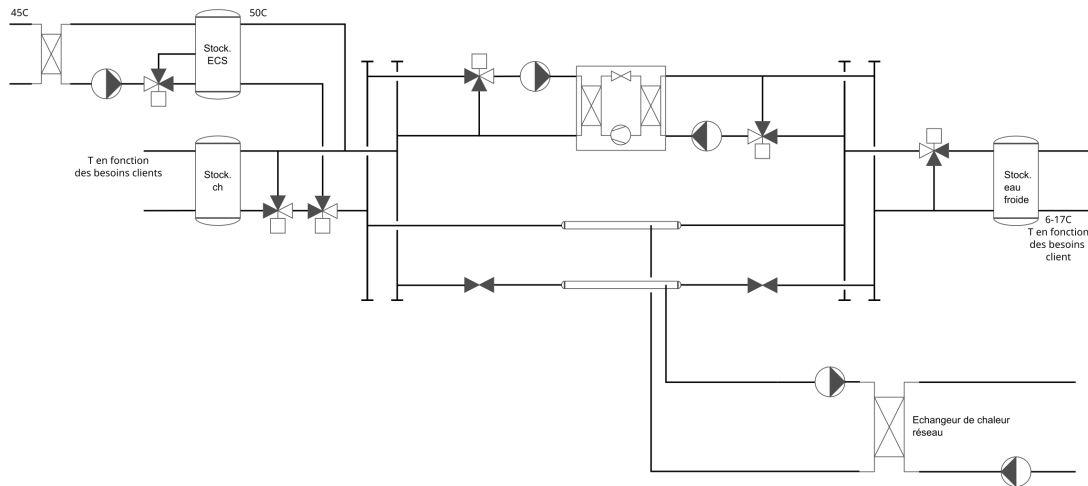
Environnement

- Canicule de 14 j
- Vague de froid de 14 j
 - Coupure de 7 j



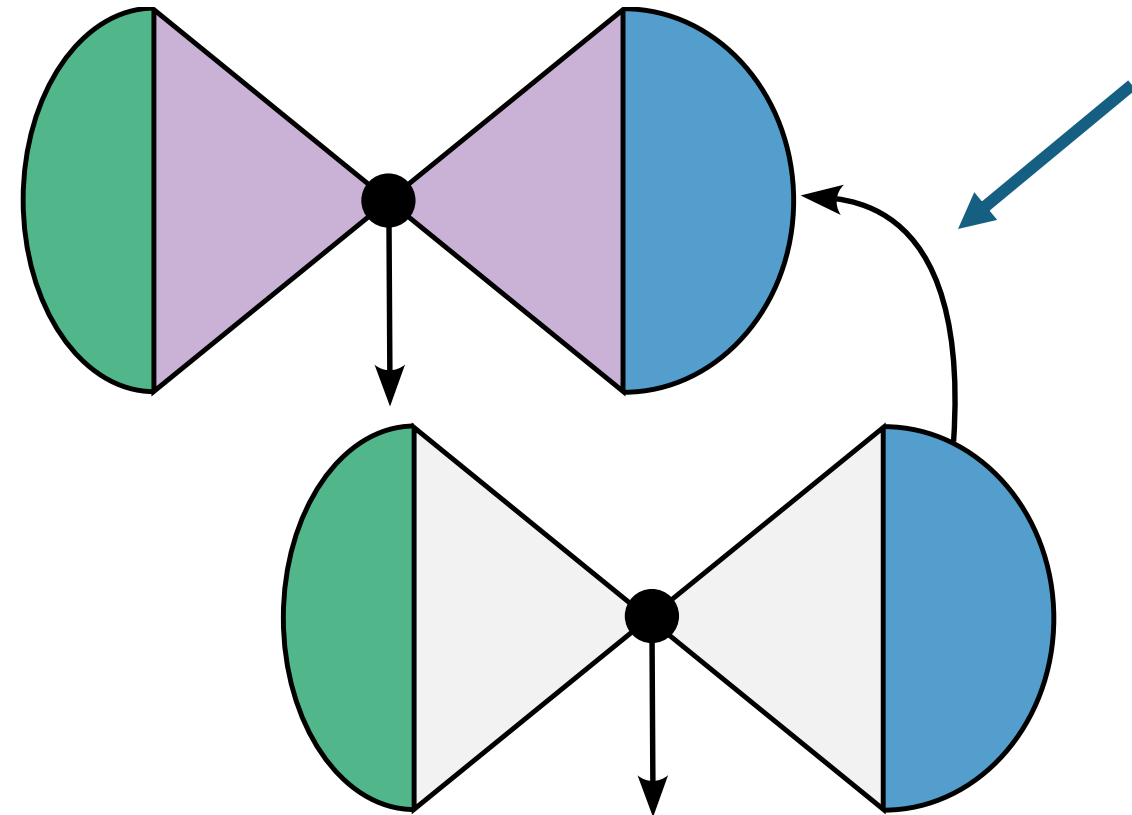
- Librairie Modelica Buildings
- Modèles développés pour le projet (sous-stations, boucles avec échange avec le sol, stockage géothermique).

4 – FIABILISATION : du schéma hydraulique au modèle



Modèles dynamiques des systèmes énergétique et des contrôles pour vérifier **le respect de la performance du système** et la **logique de contrôle**

4 – FIABILISATION : rôle du retour



Retour	Avant (MILP initial)	Après (MILP corrigé)	Origine dans Modelica
Puissance d'échange maximale des sondes	44 W/m (valeur standard)	10 W/m	L'écart de température entre les sondes et la boucle est souvent trop faible.
Capacité de stockage des sondes	9,5 GWh	4,75 GWh	Énergie réellement stockée dans la simulation couplée.
COP de la PAC centrale	Hypothèses initiales	COP mensuels à partir de Modelica	Itérations
Free cooling / free heating de la centrale	Pris en compte par un ajustement des COP	Ajustement supprimé	Contribution jugée marginale

4 – FIABILISATION : comparaison des résultats MILP / Modelica

Critères	MILP	Modelica
Énergie importée réduite d'au moins 50 % /ref	-70,7 %	-74 %
Coût du cycle de vie ≤ 120 % /ref	114,3 %	106 %
Coût d'investissement ≤ 200 % /ref	259 %	244 %
Coût d'investissement ≤ 110 % /ref (privatisation)	81,1 %	81.1 %
LCOE chauffage + refroidissement $\leq 0,25$ USD/kWh.	0,239 \$/kWh	0,21 \$/kWh
Les besoins en énergie (chauffage, refroidissement, ECS et électricité des auxiliaires) satisfaits à chaque pas de temps	✓	✓
Solutions Pareto-optimales.	✓	/

Ref: solution gaz issue du MILP

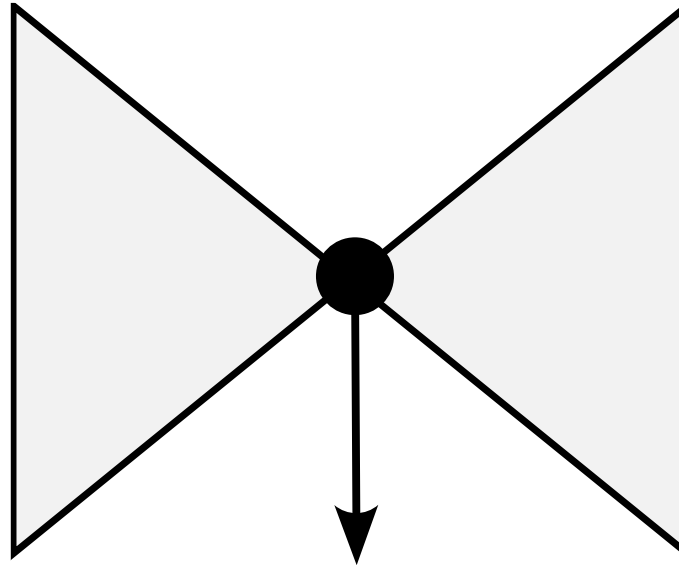
4 – FIABILISATION : plateforme

Exigences N-1

- PAC: 30 min de marche et 10 min d'arrêt minimum
 - Vannes stables
- T de consigne : SST, réseau, sondes, ECS

Environnement

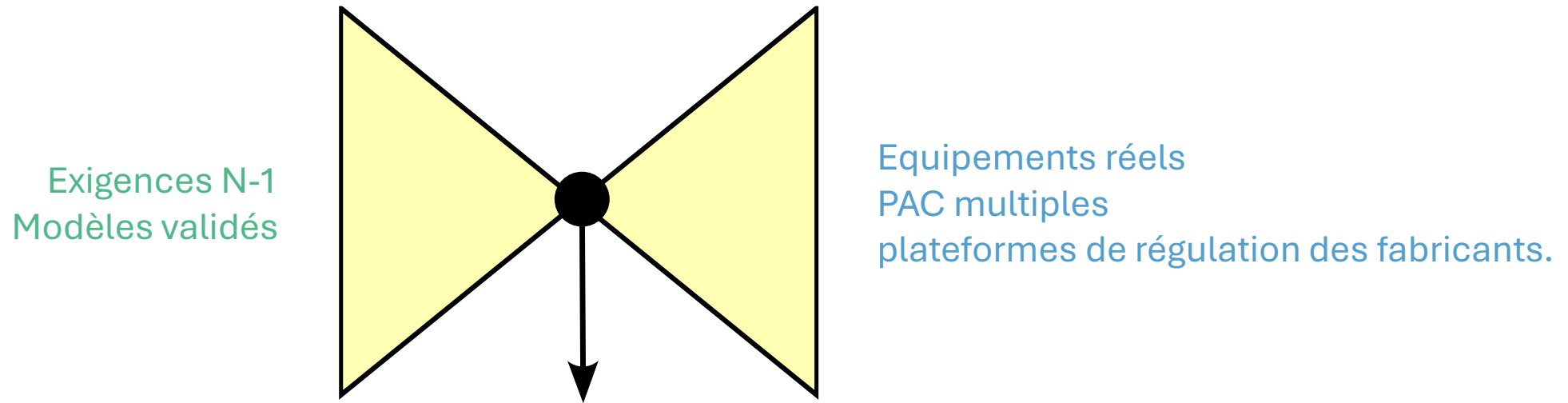
- Canicule de 14 j
- Vague de froid de 14 j
 - Coupure de 7 j



- Librairie Modelica Buildings
- Modèles développés pour le projet (sous-stations, boucles avec échange avec le sol, stockage géothermique).

- 17 bâtiments regroupés en 5 sous-stations.
 - Hydraulique et régulation conçues conjointement
 - Dimensionnement du champ de sondes
 - Comportement face aux climats extrêmes

5 – IMPLÉMENTATION (NON RÉALISÉ) : plateforme



- 5 sous-stations redécoupées en 17 bâtiments, avec des boucles séparées
- PAC supplémentaires pour la redondance et le mode de repli
 - Export vers plateforme de contrôle (**CDL – ASHRAE 231**)
 - Modèle sémantique, par exemple ASHRAE 223P

CONCLUSION

Pour le site considéré:

- 75% d'énergie importée en moins, ce qui améliore la sécurité de l'approvisionnement et la résilience, et contribue à la décarbonation
- Hausse du coût de cycle de vie maîtrisée (moins de 115 % par rapport à une solution gaz)

Pour la méthode *platform-based design*

- Optimisation MILP seule aurait entraîné une surestimation de la capacité du champ de sondes (x 2) sans simulation physique détaillée.
- Amélioration de la bibliothèque des modèles (MILP et Modelica)
- Création de modèles génériques réutilisables

Pour le DoD

- Généralisation de la méthode pour rénover plus de 500 bases militaires (1 à 2 bases par mois) pour améliorer la résilience, réduire la consommation énergétique et améliorer la sécurité d'approvisionnement

RÉFÉRENCES

- Michael Wetter, Virak Dee, Hongxiang Fu, Jianjun Hu, Eric Nyenhuis, Remi Patureau, Matthias Sulzer, Andrew Tech (2026). “Thermal Reservoir Networks for Modularly Expandable Thermal Microgrids”. Final Report. Project # EW23-7686. ESTCP, [10.20357/B7SG7K](#).
- Michael Wetter, Matthias Sulzer, Eric Nyenhuis, Jianjun Hu, Hongxiang Fu, Remi Patureau, Virak Dee, Andrew Tech (2026). “Design, Verify, Deploy: The New Platform-Based Design Paradigm for Large-Scale Energy System Retrofits”. *Applied Energy*, [10.2139/ssrn.6557422](#)
- Matthias Sulzer, Michael Wetter, Robin Mutschler, Alberto Sangiovanni-Vincentelli (2023) “Platform-based design for energy systems”. *Applied Energy*, [10.1016/j.apenergy.2023.121955](#)
- Modèles : <https://github.com/lbl-srg/thermal-grid-jba>