

FORMATION BATIMENT DURABLE

ENERGIES
RENOUVELABLES

PRINTEMPS 2024

Réseau de chaleur Principes et technologies possibles

Yannick Léonard

TRACTEBEL




- ▶ Expliquer les grands principes d'un réseau de chaleur
 - Typologie
 - Acteurs
- ▶ Lister les avantages et inconvénients d'un réseau de chaleur
- ▶ Présenter les types de réseaux Intégrant des énergies renouvelables
- ▶ Présenter un exemple d'étude

⇒ **Conclusions**



GRANDS PRINCIPES D'UN RÉSEAU DE CHALEUR

- ▶ **Typologie**
- ▶ **Acteurs**
- ▶ **Contexte juridique**
- ▶ **Pourquoi faire un réseau ?**
- ▶ **Analyse des possibilités**

RÉSEAU HAUTE TEMPÉRATURE

RÉSEAU BASSE TEMPÉRATURE

EXEMPLE



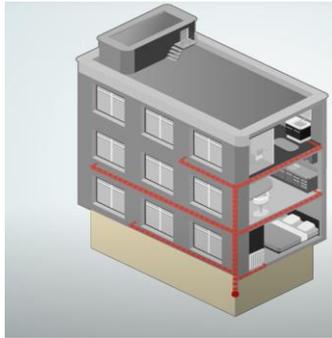


Source / Bron : Engie

[Fonctionnement d'un réseau de chaleur \(youtube.com\)](https://www.youtube.com/watch?v=...)



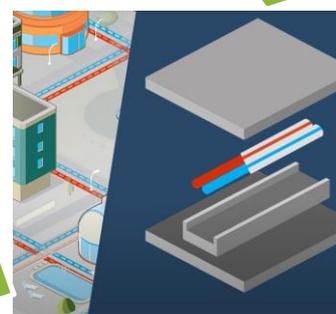
Réseau secondaire



Producteur de chaleur



Sous-Station



Réseau primaire



Source / Bron : Engie



Le réseau primaire



Source / Bron : Luminus, réseau de chaleur de Gand



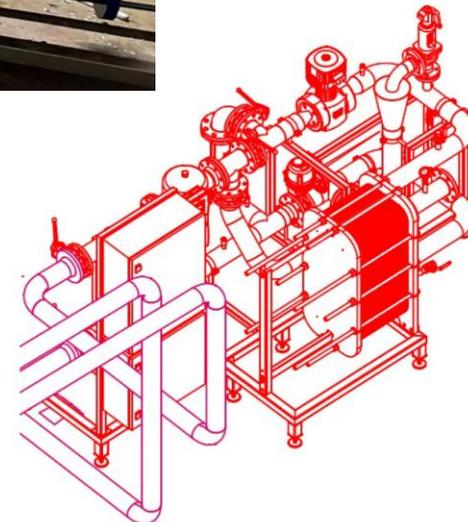
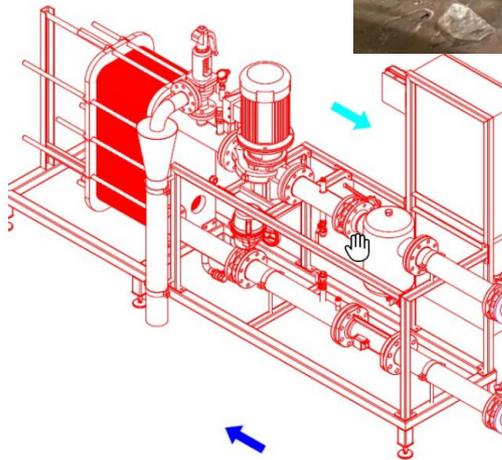
Source / Bron : Ville de Charleroi, futur réseau de chaleur



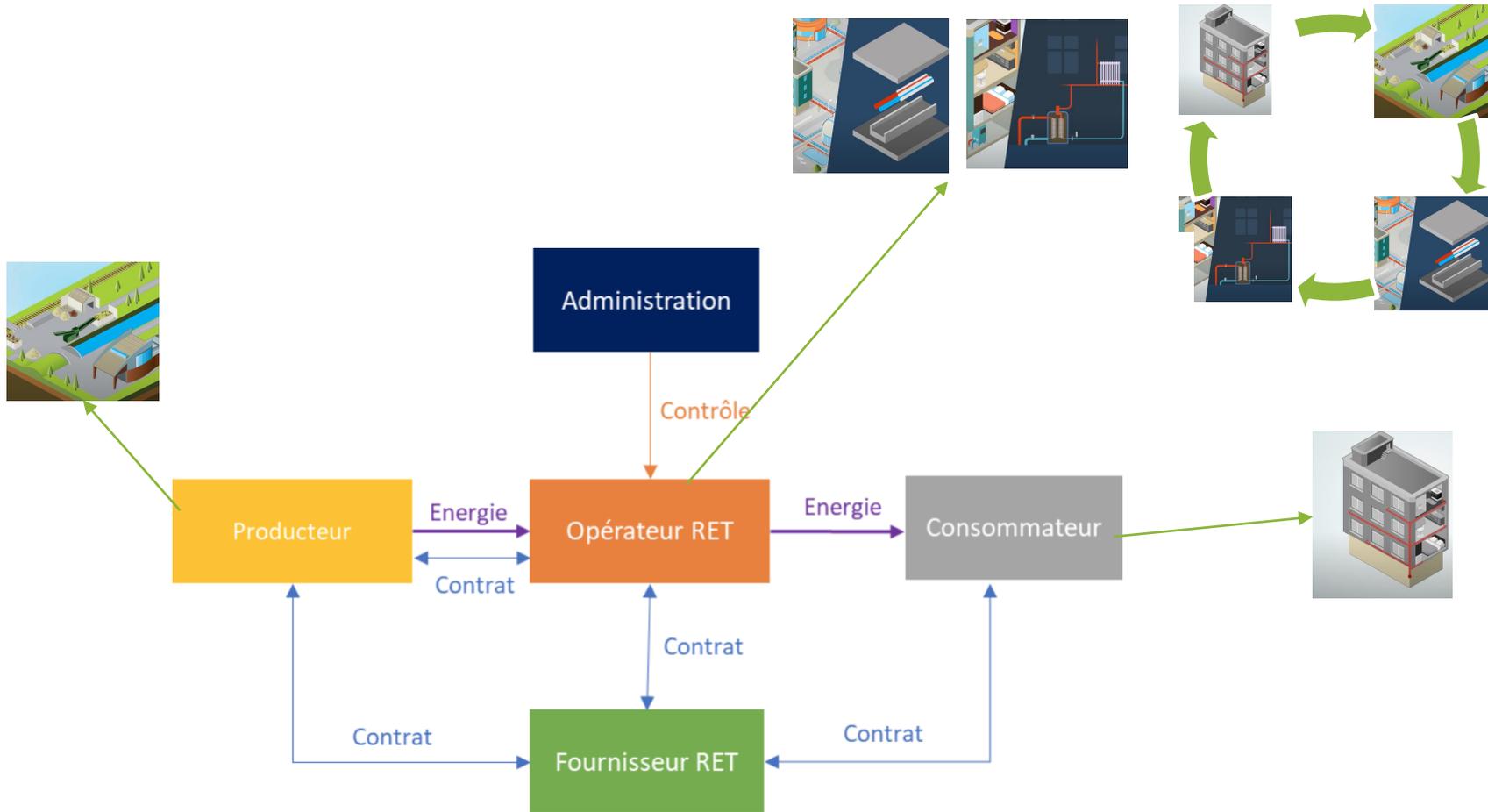
Une sous-station



Source / Bron : Brussels Energy,
réseau de chaleur depuis l'incinérateur



ACTEURS



Source / Bron : Engie



9 CONTEXTE JURIDIQUE À BRUXELLES

Une nouvelle ordonnance « thermique » ou réseau de chaleur

- ▶ Transposition d'une directive européenne (reconnait le rôle prépondérant de l'énergie thermique + informations relatives à la facturation)
- ▶ Première étape réglementaire sur la chaleur (l'électricité et le gaz étaient déjà bien réglementés)
- ▶ Encadrer les tâches et obligations des acteurs (protection consommateur)

Les lignes directrices de la nouvelle ordonnance « thermique »

- ▶ Laisser le marché opérer – liberté d'innovation
- ▶ Ne pas déstabiliser les micro-réseaux existants
- ▶ Pas d'obligation contraignante sur la part du renouvelable : mécanisme de garantie d'origine & mise en place d'un soutien financier
- ▶ Protection des données personnelles
- ▶ Protection des consommateurs (pas de coupure en hiver càd 1er octobre au 31 mars si impayés)

La révision de l'ordonnance gaz pour intégrer le biogaz



Inconvénients

- ▶ Multiples acteurs
 - Fournisseur RET + Opérateur RET

- ▶ Installation d'un réseau primaire
 - Déperdition

- ▶ Perte de flexibilité
 - Température fixe, Panne possible ...

- ▶ Coût
 - CAPEX supérieur
 - OPEX pas nécessairement inférieur
 - Combustible fossile forte demande
 - Energie renouvelable fonction des températures



POURQUOI FAIRE UN RÉSEAU ?

Avantages

- ▶ Economie d'échelle
 - Puissance installée beaucoup plus faible

- ▶ Résilience
 - Utilisation d'énergies renouvelables
 - Multiplication des sources d'énergie
 - Valorisation d'énergie fatale
 - Encombrement minimal client final

- ▶ Echange d'énergie possible

- ▶ Fiabilité
 - Suivi régulier et professionnel



Maximiser les avantages (Break-even)

- ▶ Source de chaleur à très faible coût d'utilisation
 - Chaleur fatale
 - Géothermie (nappe chaude à faible profondeur)

- ▶ Profil de consommation
 - Décalage dans le temps de la puissance demandée
 - Tertiaire / Résidentiel
 - Effet du nombre

- ▶ Coïncidence dans le temps de puissance chaude et froide
 - Froid industriel / Piscine
 - Froid / ECS



Analyse fine des besoins et des productions possibles



GRANDS PRINCIPES D'UN RÉSEAU DE CHALEUR

RÉSEAU HAUTE TEMPÉRATURE

- ▶ **Analyse des possibilités haute température**
- ▶ **Réseau eau chaude**
- ▶ **Réseau Turn over**

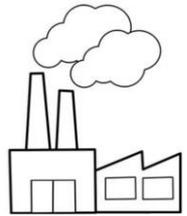
RÉSEAU BASSE TEMPÉRATURE

EXEMPLE



Opportunités de production et distribution haute température

Producteur de chaleur haute température

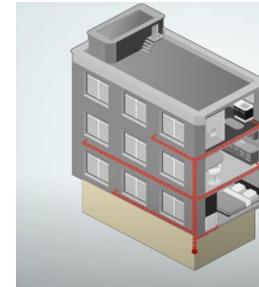


Chaleur fatale



Géothermie profonde

Besoin haute température



ECS



Chauffage HT

Complément ou Producteur de chaleur Haute température



Solaire thermique



Biomasse



Cogénération

Producteur de chaleur Haute température



ANALYSE DES POSSIBILITES HAUTE TEMPÉRATURE

Identification des besoins

Quantité dynamique + température

Besoin chaud / froid

Chauffage résidentiel	neuf 15 kWh/m ² /an	rénovation 30 / 45 kWh/m ² /an	ancien 150 kWh/m ² /an
ECS résidentiel	15 kWh/m ² /an		
Chauffage Tertiaire classique	neuf 15 - 30 kWh/m ² /an	rénovation 30 / 45 kWh/m ² /an	ancien 50 - ... kWh/m ² /an
ECS Tertiaire	5 kWh/m ² /an		
Process			

Rafrachissement	neuf 5 kWh/m ² /an		
Climatisation Tertiaire classique	neuf 50 - 70 kWh/m ² /an	rénovation 40 / 60 kWh/m ² /an	ancien 30 - 50 kWh/m ² /an
Process			



Identification des besoins

Quantité dynamique + température

Nom projet N° projet	AREBS - Smart District (Seraing) BE0120-000096	N°Bâtiment Nom Bâtiment	TR-5 Polyclinique	
Date	16-06-2021	Fonction	Soin de santé	
Révision	Rev 0	Surface	762 m²	
		Profil énergétique Distribution	Passif Décentralisé	

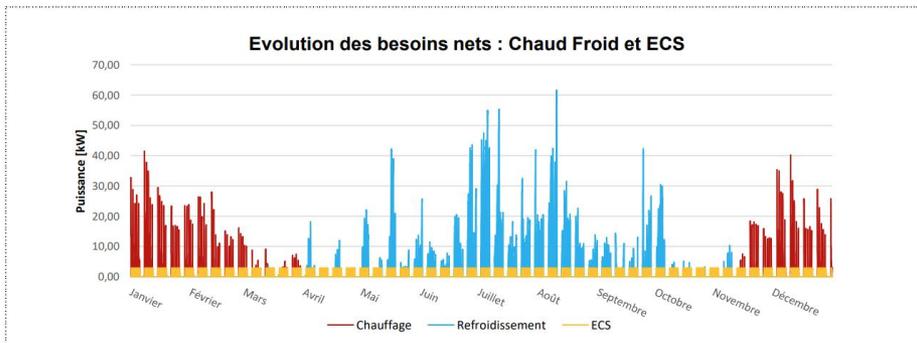
Nom projet N° projet	AREBS - Smart District (Seraing) BE0120-000096	N°Bâtiment Nom Bâtiment	TR-10 Habitat privé	
Date	16-06-2021	Fonction	Logements résidentie	
Révision	Rev 0	Surface	7.560 m²	
		Profil énergétique Distribution	PEB Décentralisé	

ANALYSE DES BESOINS | BESOINS NETS EN ENERGIE

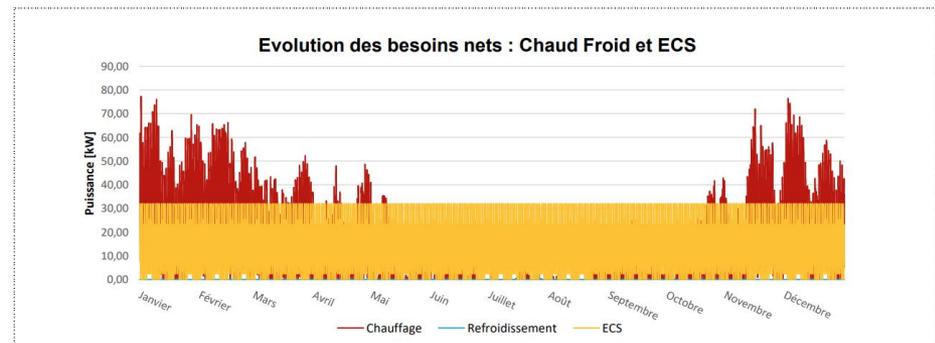
Besoins net					
- chauffage	6.096	kWh/an	- chauffage	8	kWh/m².an
- refroidissement	19.050	kWh/an	- refroidissement	25	kWh/m².an
- eau chaude sanitaire	6.858	kWh/an	- eau chaude sanitaire	9	kWh/m².an
- électriques	48.006	kWh/an	- électriques	63	kWh/m².an
Besoin net TOTAL	80.010	kWh/an	BN par m²	105	kWh/m².an

ANALYSE DES BESOINS | BESOINS NETS EN ENERGIE

Besoins net					
- chauffage	120.111	kWh/an	- chauffage	16	kWh/m².an
- refroidissement	0	kWh/an	- refroidissement	0	kWh/m².an
- eau chaude sanitaire	88.688	kWh/an	- eau chaude sanitaire	12	kWh/m².an
- électriques	130.964	kWh/an	- électriques	17	kWh/m².an
Besoin net TOTAL	339.762	kWh/an	BN par m²	45	kWh/m².an



Profil favorable basse température



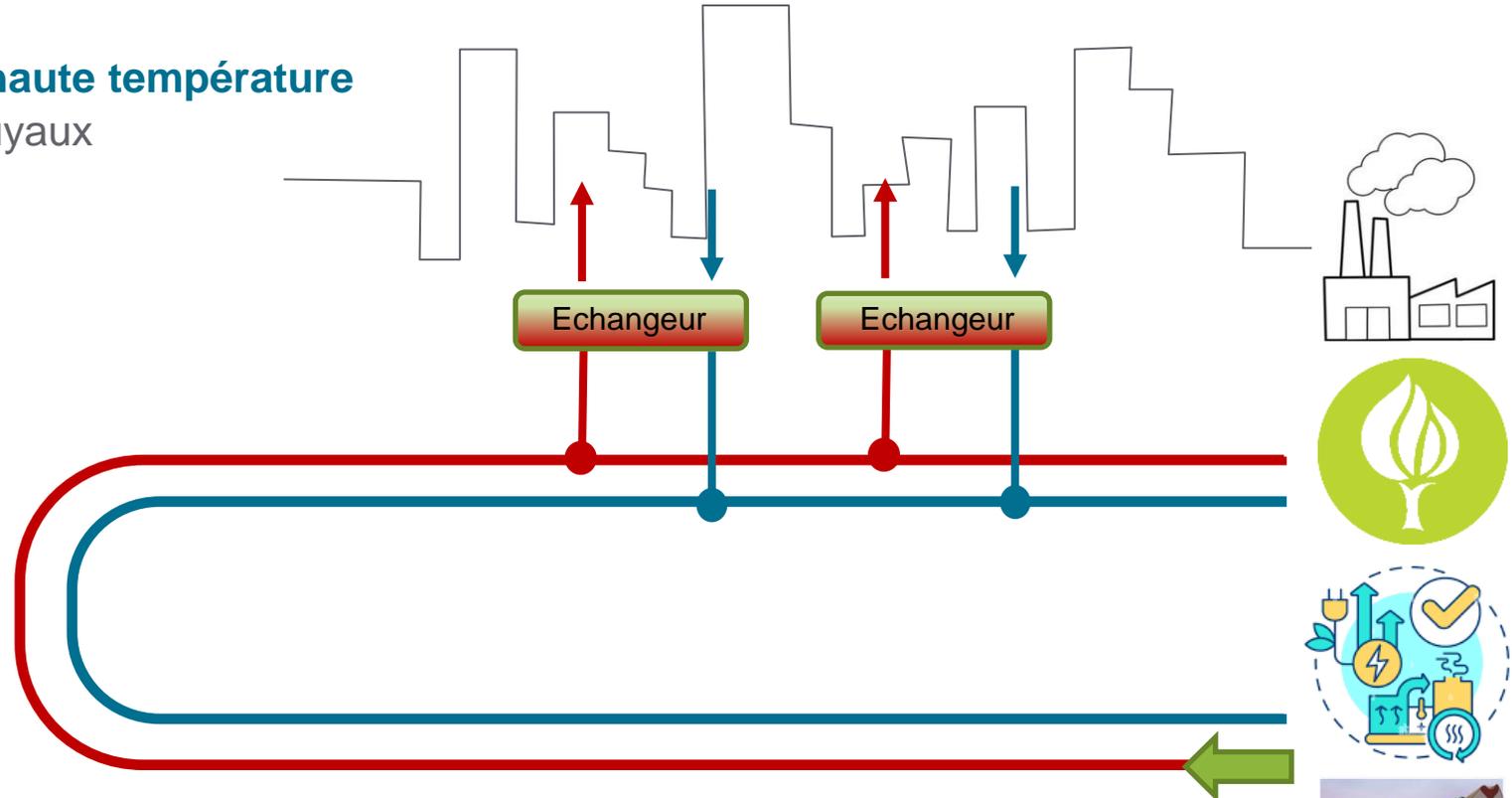
Profil favorable haute température



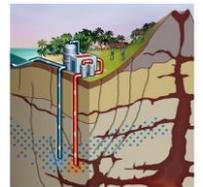
RÉSEAU EAU CHAUDE

Réseau haute température

- ▶ 2 tuyaux



- Haute température (70 / 180 °C)
- Fluide dans une seule direction
- Sous-station réduite et faible coût
- Réseau fortement isolé



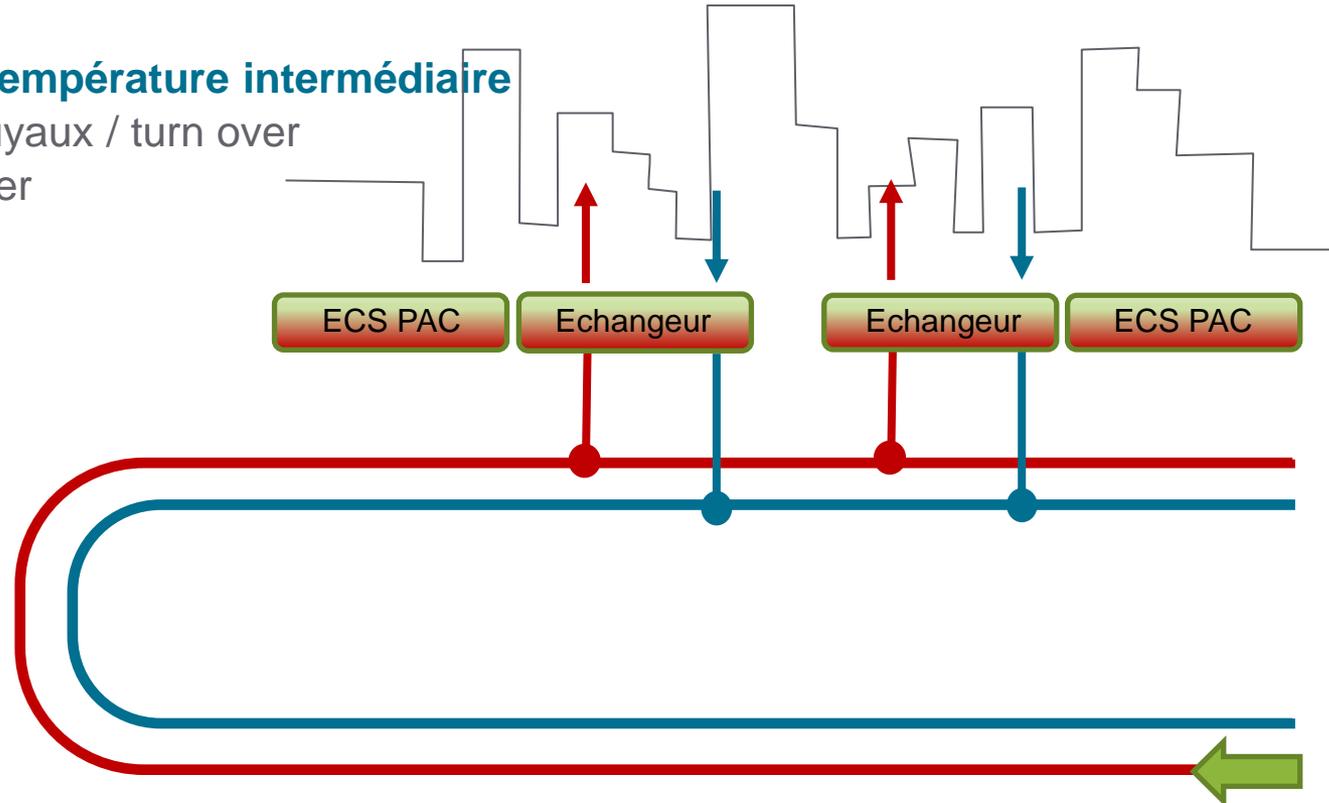
Chaufferie centralisée



RÉSEAU TURN OVER

Réseau température intermédiaire

- ▶ 2 tuyaux / turn over
- ▶ Hiver



- Haute température 45°C en hiver / 16°C en été
- Fluide dans une seule direction
- Sous-station réduite + ECS décentralisée
- Réseau fortement isolé



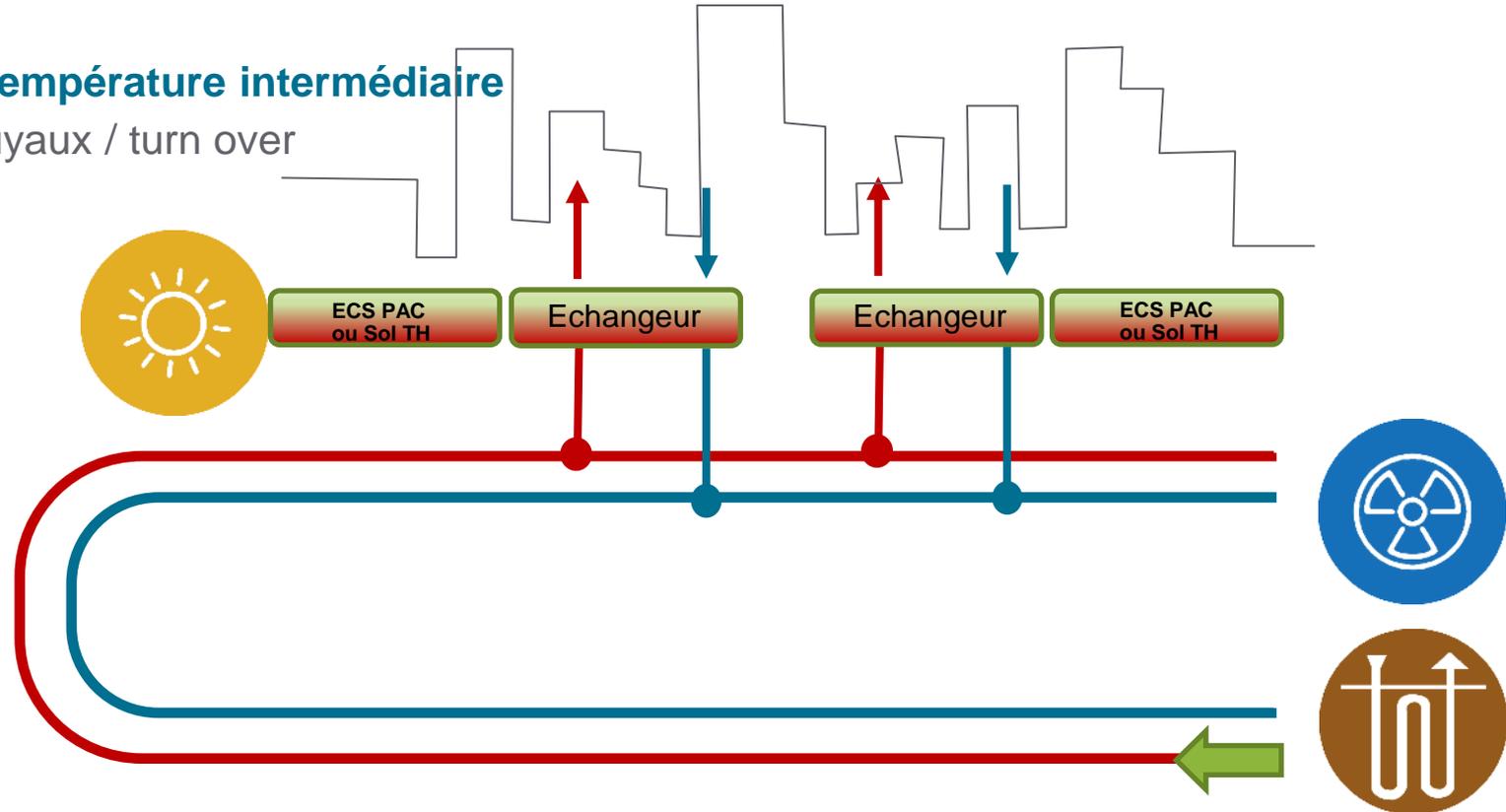
Chaufferie centralisée



RÉSEAU TURN OVER

Réseau température intermédiaire

- ▶ 2 tuyaux / turn over
- ▶ Été



- Haute température 45°C en hiver / 16°C en été
- Fluide dans une seule direction
- Sous-station réduite + ECS décentralisée
- Réseau fortement isolé



GRANDS PRINCIPES D'UN RÉSEAU DE CHALEUR
RÉSEAU HAUTE TEMPÉRATURE

RÉSEAU BASSE TEMPÉRATURE

- ▶ **Analyse des possibilités basse température**
- ▶ **Réseau basse température 2 tuyaux**
- ▶ **Réseau basse température 3 tuyaux**
- ▶ **Réseau très basse température bidirectionnel**

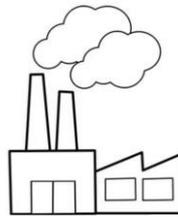
EXEMPLE



ANALYSE DES POSSIBILITES BASSE TEMPÉRATURE

Opportunités de production et distribution basse température

Producteur de chaleur basse température

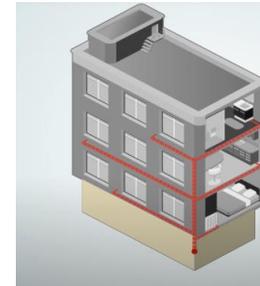


Chaleur fatale basse température
(froid industriel)



Géothermie

Besoin principalement basse température



ECS faible



Chauffage BT

Besoin de climatisation



Complément ou Producteur de chaleur basse température



Solaire thermique



Aérothermie



Biomasse



Cogénération

Producteur de chaleur Haute température



ANALYSE DES POSSIBILITES BASSE TEMPÉRATURE

Identification des besoins

Quantité dynamique + température

Besoin chaud / froid

Chauffage résidentiel	neuf 15 kWh/m ² /an	rénovation 30 / 45 kWh/m ² /an	ancien 150 kWh/m ² /an
ECS résidentiel	15 kWh/m ² /an		
Chauffage Tertiaire classique	neuf 15 - 30 kWh/m ² /an	rénovation 30 / 45 kWh/m ² /an	ancien 50 - ... kWh/m ² /an
ECS Tertiaire	5 kWh/m ² /an		
Process			

Rafrachissement	neuf 5 kWh/m ² /an		
Climatisation Tertiaire classique	neuf 50 - 70 kWh/m ² /an	rénovation 40 / 60 kWh/m ² /an	ancien 30 - 50 kWh/m ² /an
Process			



Identification des besoins et des sources de chaleur

Quantité dynamique + température

Nom projet N° projet	AREBS - Smart District (Seraing) BE0120-000096	N°Bâtiment Nom Bâtiment	C-CF All - Boucle chaude	
Date Révision	16-06-2021 Rev 0	Fonction Surface	Mixte 93.956 m²	
		Profil énergétique Distribution	Actuel/PEB Centralisée	

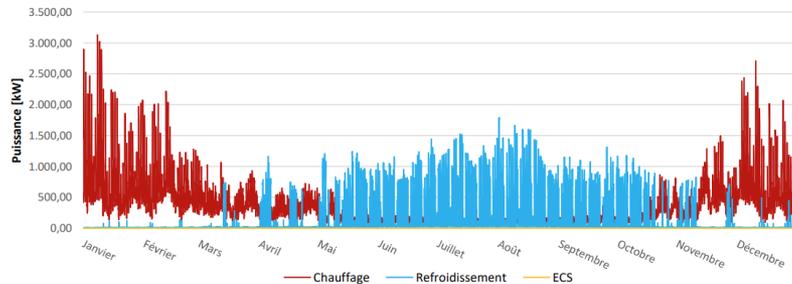
ANALYSE DES BESOINS | BESOINS NETS EN ENERGIE

Besoins net

- chauffage	3.077.963 kWh/an	- chauffage	33 kWh/m².an
- refroidissement	1.691.677 kWh/an	- refroidissement	18 kWh/m².an
- eau chaude sanitaire	0 kWh/an	- eau chaude sanitaire	0 kWh/m².an
- électriques	9.090.764 kWh/an	- électriques	97 kWh/m².an
Besoin net TOTAL	13.860.404 kWh/an	BN par m²	148 kWh/m².an

- ▶ Besoin chaud / froid proche
 - (Amplifié par COP / EER)
- ▶ Besoin Chaud (ECS) / froid
 - Coïncide
- ▶ Puissance Chaud / froid proche

Evolution des besoins nets : Chaud Froid et ECS



Profil favorable basse température



ANALYSE DES POSSIBILITES BASSE TEMPÉRATURE

Identification des besoins et des sources de chaleur

Quantité dynamique + température

Nom projet N° projet	AREBS - Smart District (Seraing) BE0120-000096	N°Bâtiment Nom Bâtiment	C-CF All - Boucle chaude	
Date	16-06-2021	Fonction	Mixte	
Révision	Rev 0	Surface	93.956 m²	
		Profil énergétique Distribution	Actuel/PEB Centralisée	

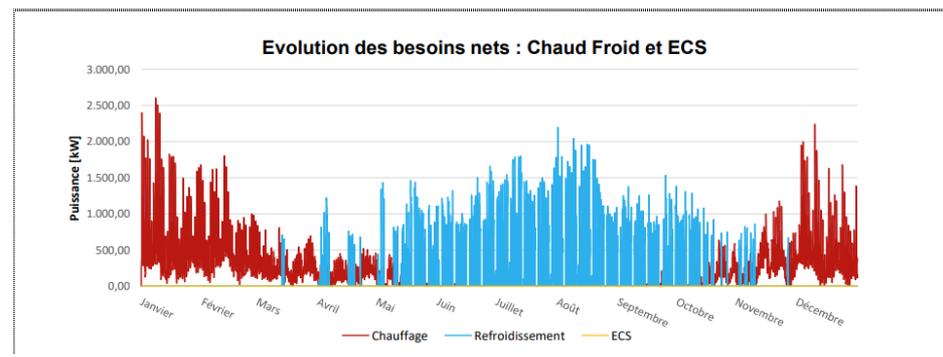
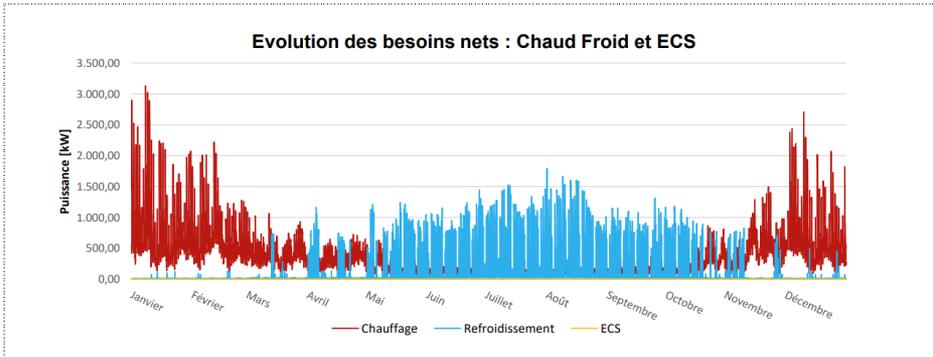
Nom projet N° projet	AREBS - Smart District (Seraing) BE0120-000096	N°Bâtiment Nom Bâtiment	C-T All - Boucle	
Date	16-06-2021	Fonction	Mixte	
Révision	Rev 0	Surface	93.956 m²	
		Profil énergétique Distribution	Actuel/PEB Centralisée	

ANALYSE DES BESOINS | BESOINS NETS EN ENERGIE

Besoins net			
- chauffage	3.077.963 kWh/an	- chauffage	33 kWh/m².an
- refroidissement	1.691.677 kWh/an	- refroidissement	18 kWh/m².an
- eau chaude sanitaire	0 kWh/an	- eau chaude sanitaire	0 kWh/m².an
- électriques	9.090.764 kWh/an	- électriques	97 kWh/m².an
Besoin net TOTAL	13.860.404 kWh/an	BN par m²	148 kWh/m².an

ANALYSE DES BESOINS | BESOINS NETS EN ENERGIE

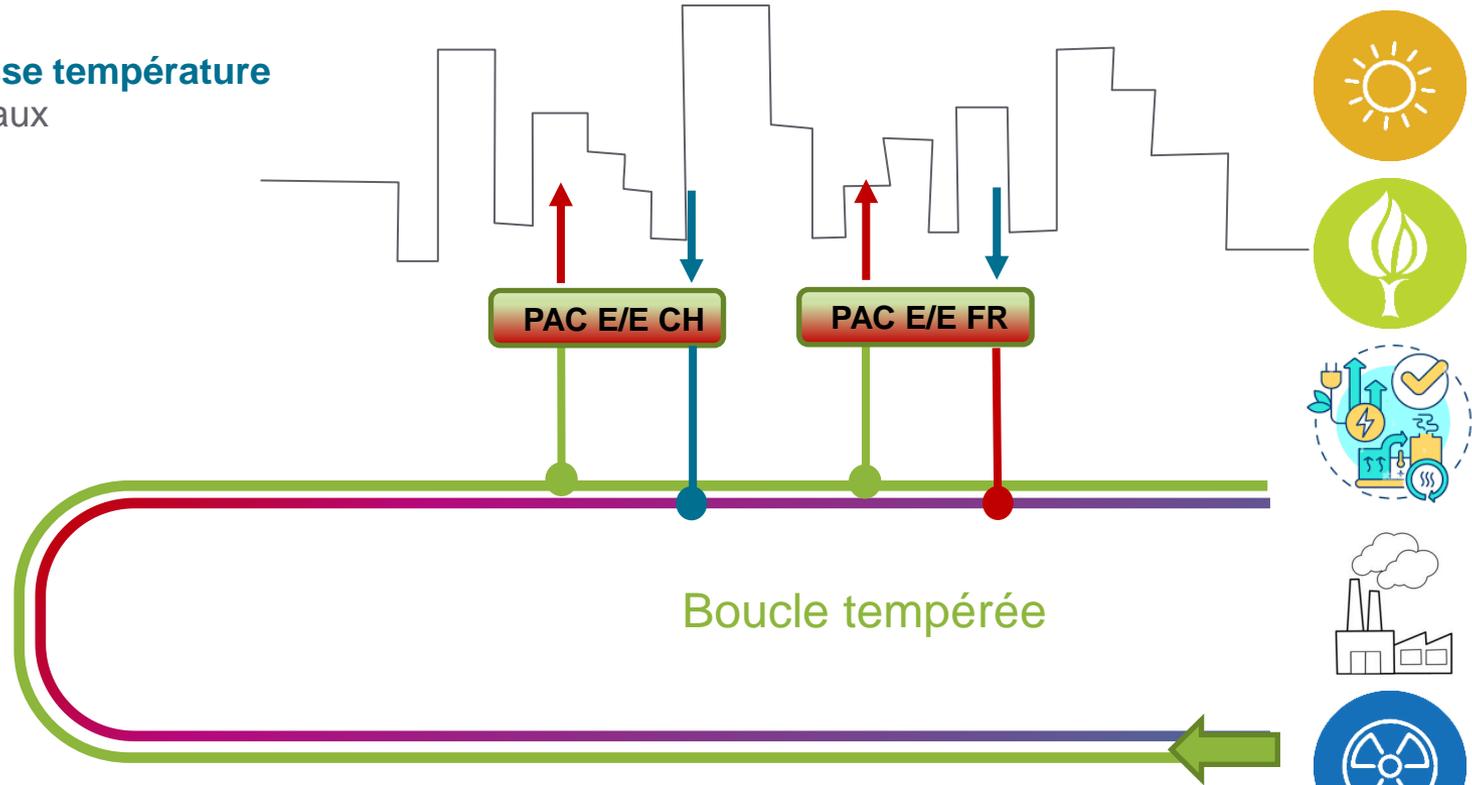
Besoins net			
- chauffage	1.553.022 kWh/an	- chauffage	17 kWh/m².an
- refroidissement	1.549.281 kWh/an	- refroidissement	16 kWh/m².an
- eau chaude sanitaire	0 kWh/an	- eau chaude sanitaire	0 kWh/m².an
- électriques	10.844.608 kWh/an	- électriques	115 kWh/m².an
Besoin net TOTAL	13.946.911 kWh/an	BN par m²	148 kWh/m².an



25 RÉSEAU BASSE TEMPÉRATURE 2 TUYAUX

Réseau basse température

- 2 tuyaux



- Basse température modulée en fonction de la saison
 - Différentes entre l'été et l'hiver (20°C -> 45°C)
- Fluide dans une seule direction
- Sous-station PAC simple
- Réseau avec faibles déperditions
- Mélange des retours
- Utilisation d'une combustion en hiver ou PAC

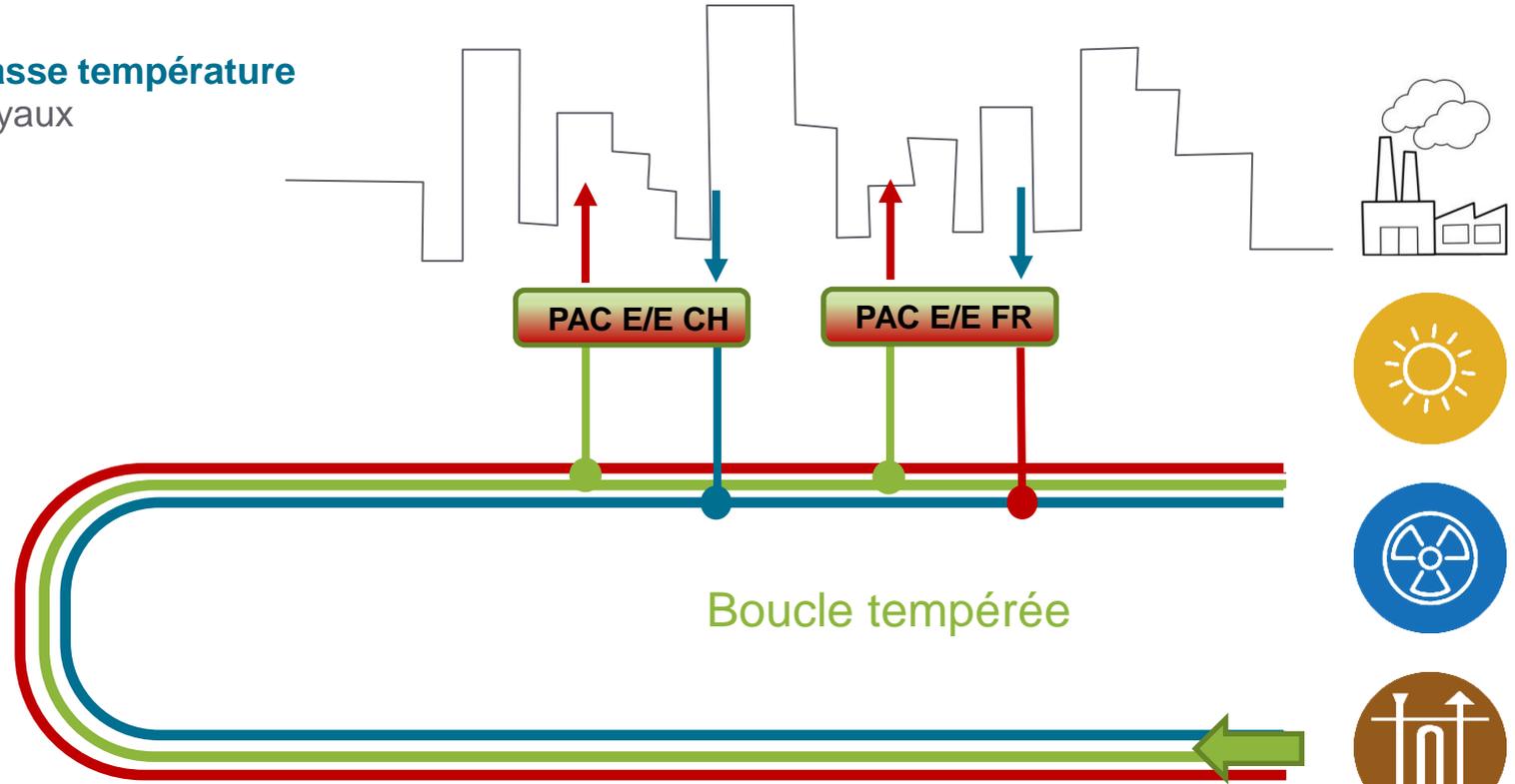
Chaudière centralisée



RÉSEAU BASSE TEMPÉRATURE 3 TUYAUX

Réseau basse température

- ▶ 3 tuyaux



- Basse température constante
 - Départ 12°C, retour chaud : 19°C, Retour froid : 7°C
- Fluide dans une seule direction
- Sous-station PAC avec 3 jeux de vannes
- Réseau avec très faibles déperditions
- Mélange des retours mais possibilité d'utilisation de source à plus basse température

Chaufferie centralisée

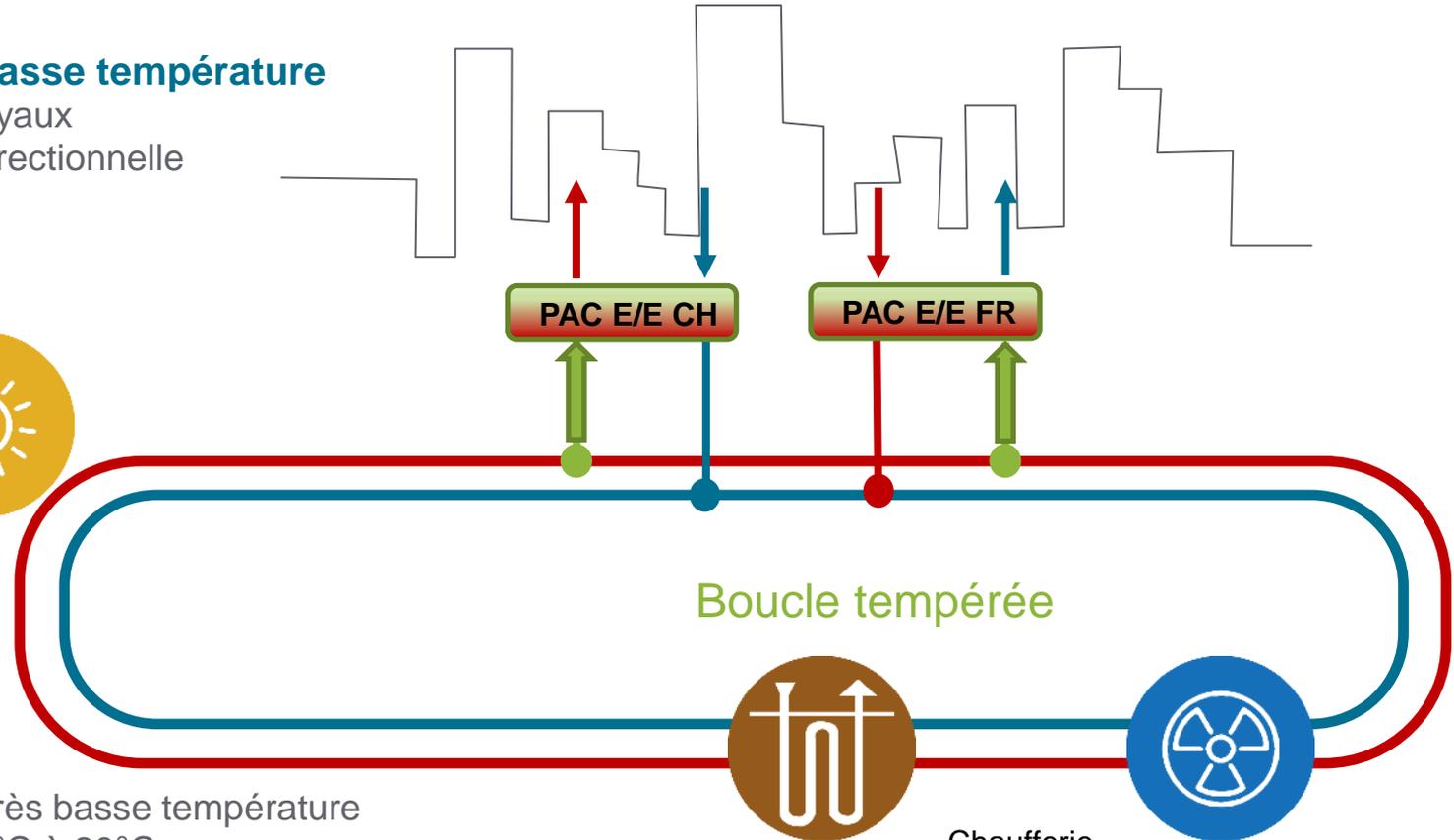


RÉSEAU TRÈS BASSE TEMPÉRATURE BIDIRECTIONNEL

Réseau basse température

- ▶ 2 tuyaux
- ▶ Bidirectionnelle

Chaufferie
Décentralisée



Boucle tempérée

- Très basse température
- 5°C à 20°C
- Delta T° constant (5°C)
- Sous-station PAC + inversion de prise d'eau
- Pas de déperditions réseau primaire
- Optimum énergétique

Chaufferie
Décentralisée



GRANDS PRINCIPES D'UN RÉSEAU DE CHALEUR
RÉSEAU HAUTE TEMPÉRATURE
RÉSEAU BASSE TEMPÉRATURE
EXEMPLE



Champ d'étude

- ① TR : Ougrée-Trasenster
- ② LD : Zoning LD existant (SPI)
- ③ LD-F : Zoning LD futur (SPI)
- ④ HP : Zoning Haut-Pré



Champ d'étude

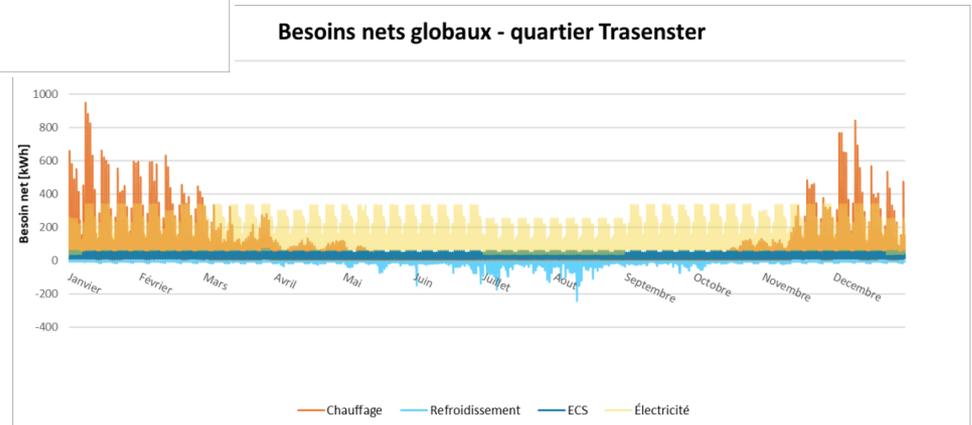
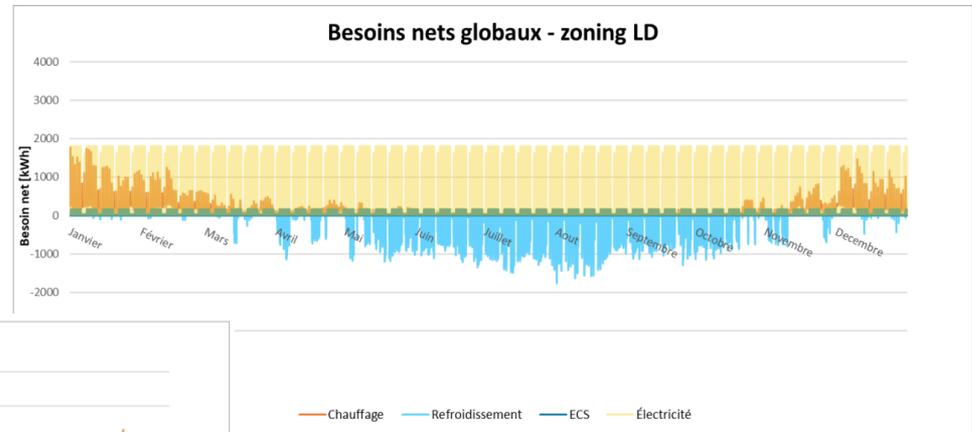
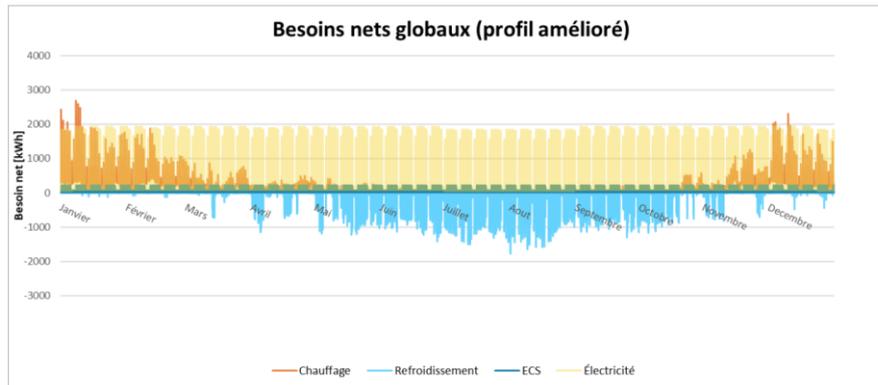
- ▶ Objectif 2030 pour la réduction des gaz a effet de serre
- ▶ Multitude de profil et de besoin

- ▶ Toute les productions actuelles et futures
- ▶ Intégration de toute les énergie renouvelables possibles
- ▶ Etude large puis resserrage pour masterplan



Profil global

- ▶ 2 parties très différentes

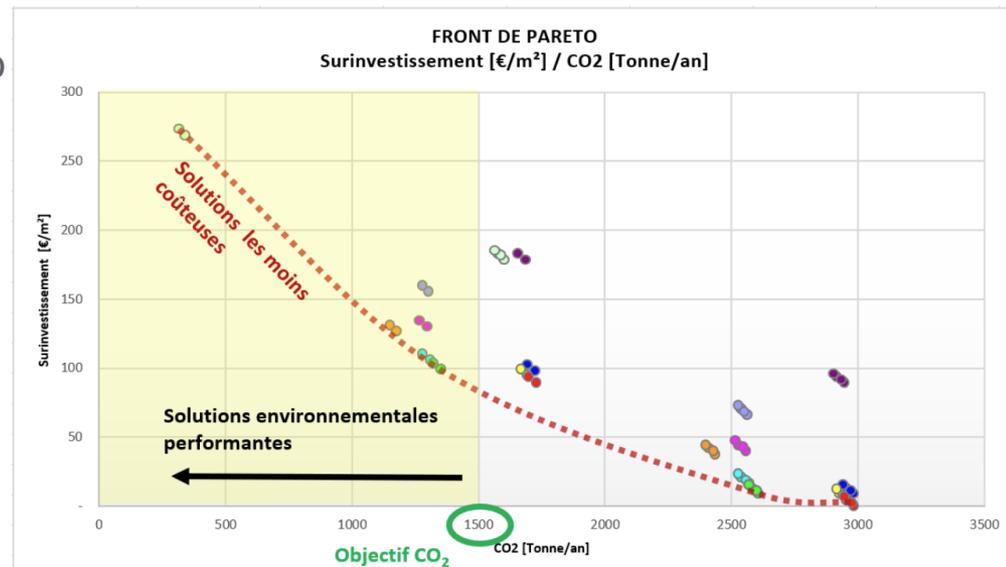


Profil global

- ▶ 2 réseaux de chaleur avec une seule chaufferie



- ▶ Analyse front de Pareto

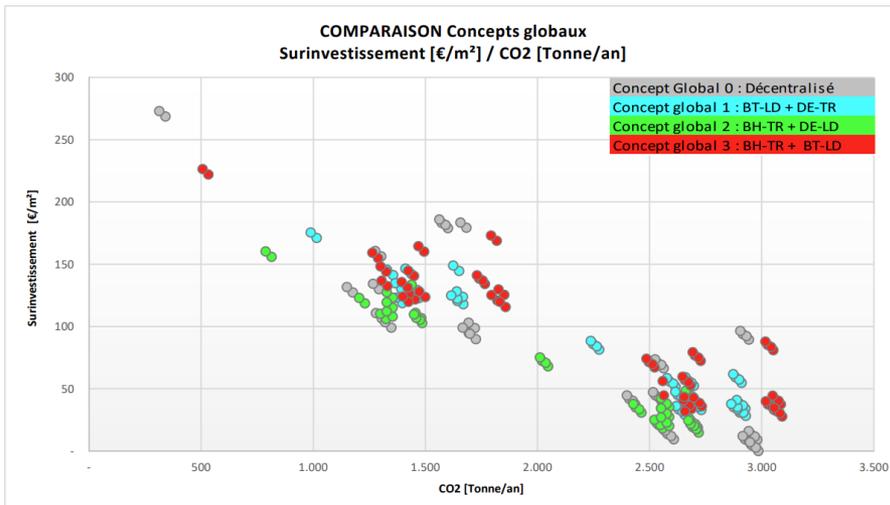
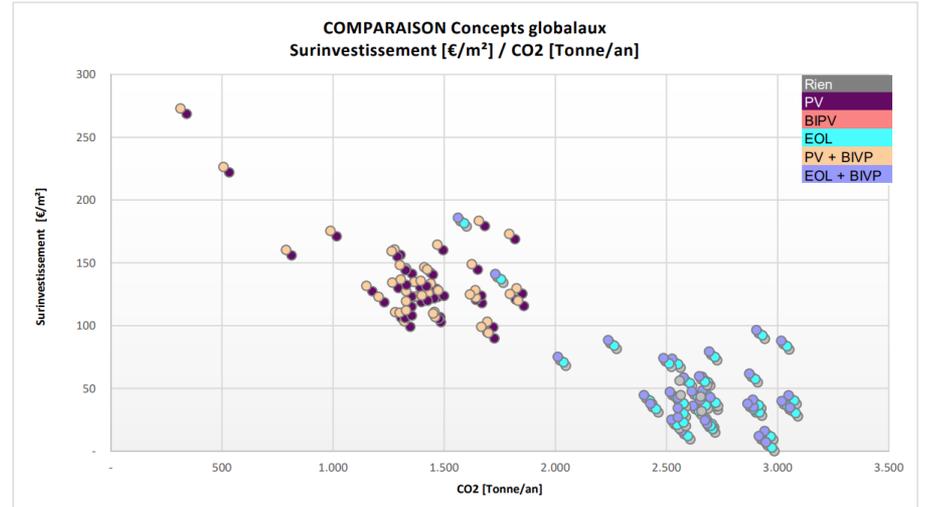
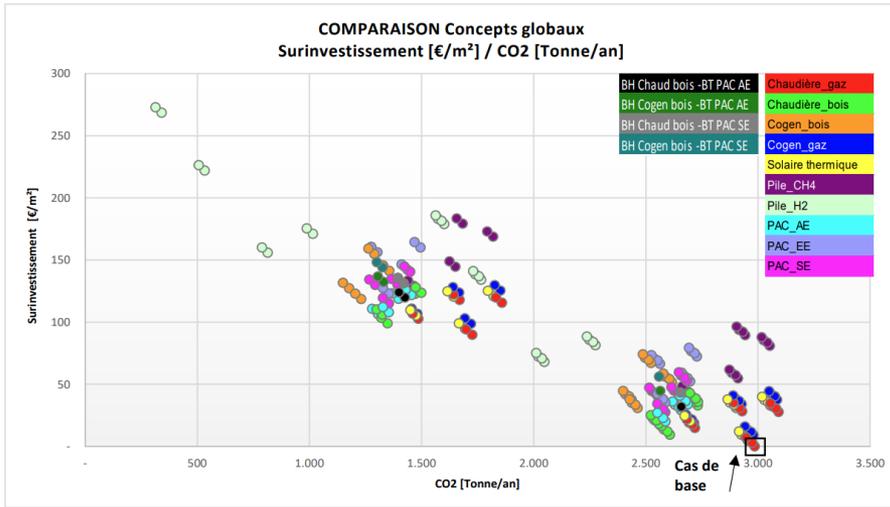


Source / Bron : Arcadis

FORMATION BATIMENT DURABLE – ENERGIES RENOUVELABLES – PRINTEMPS 2024



Résultat

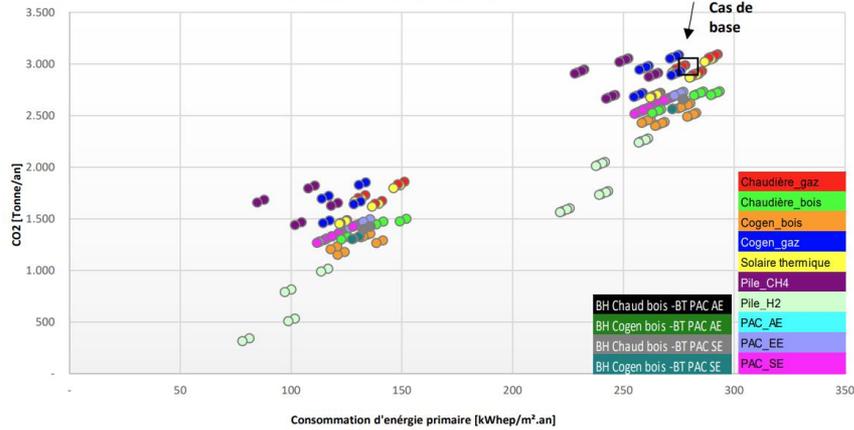


Source / Bron : Arcadis

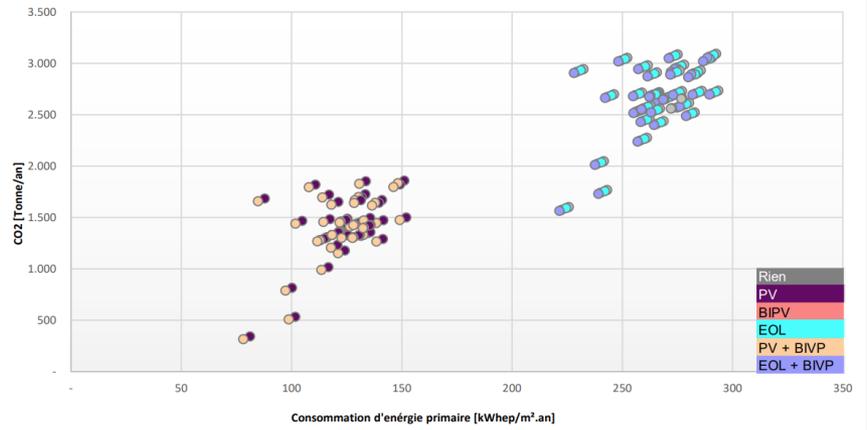


Résultat

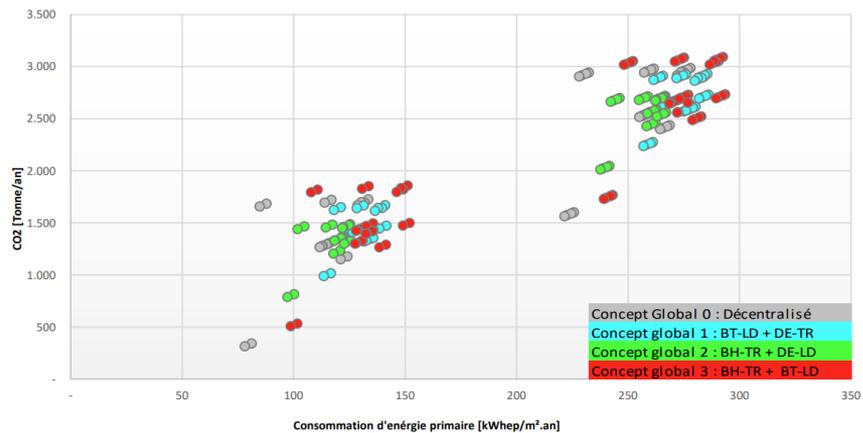
COMPARAISON Concepts globaux
CO2 [Tonne/an] / EP [kWh/m².an]



COMPARAISON Concepts globaux
CO2 [Tonne/an] / EP [kWh/m².an]



COMPARAISON Concepts globaux
CO2 [Tonne/an] / EP [kWh/m².an]



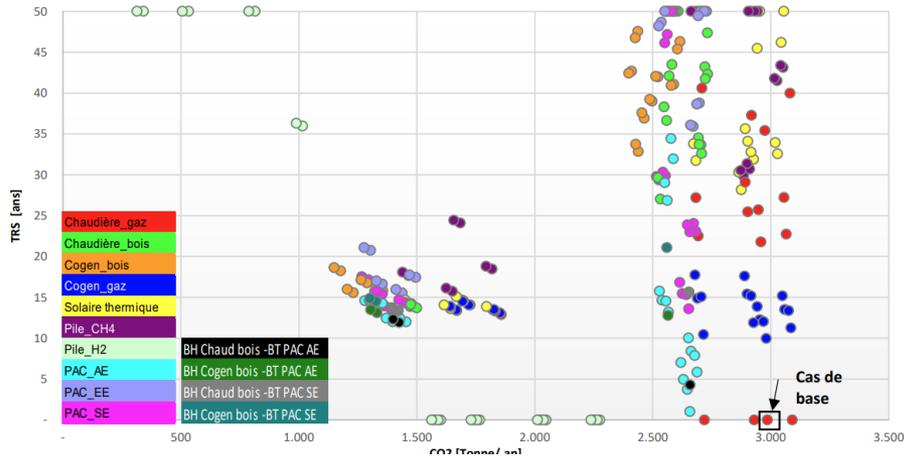
Source / Bron : Arcadis

FORMATION BATIMENT DURABLE – ENERGIES RENOUVELABLES – PRINTEMPS 2024

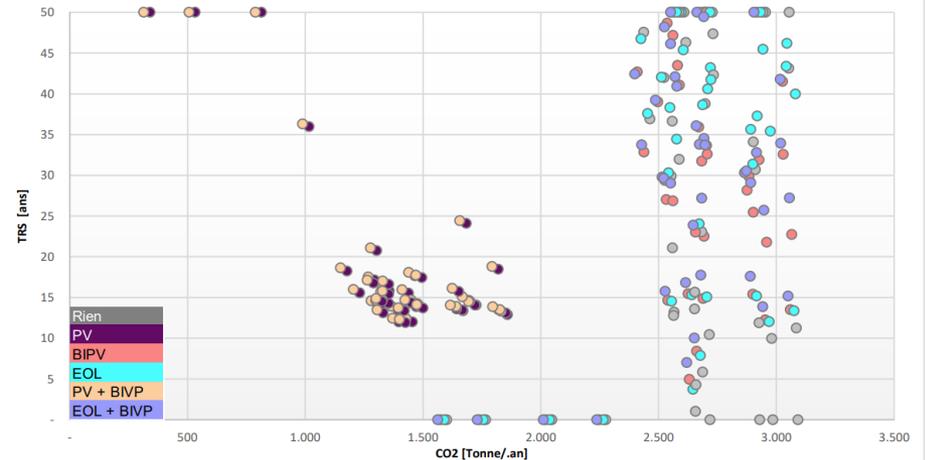


Résultat

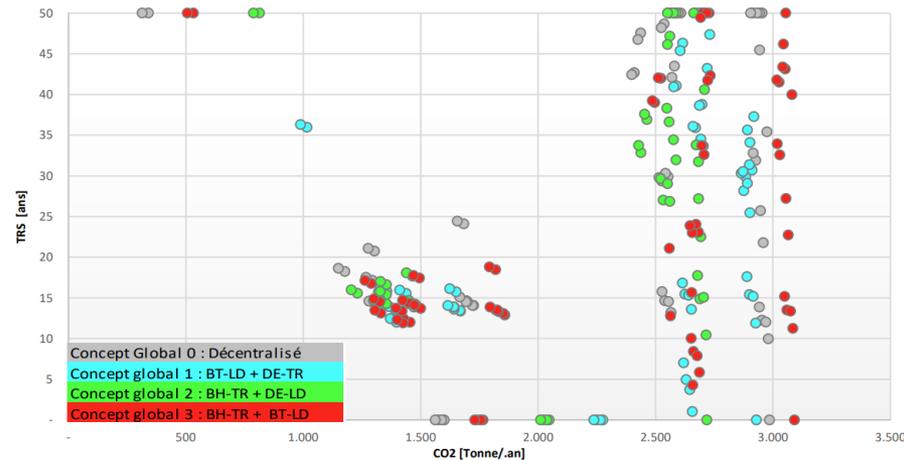
COMPARAISON Concepts globaux
TRS [ans] / CO2 [Tonne/an]



COMPARAISON Concepts globaux
TRS [ans] / CO2 [Tonne/an]



COMPARAISON Concepts globaux
TRS [ans] / CO2 [Tonne/an]

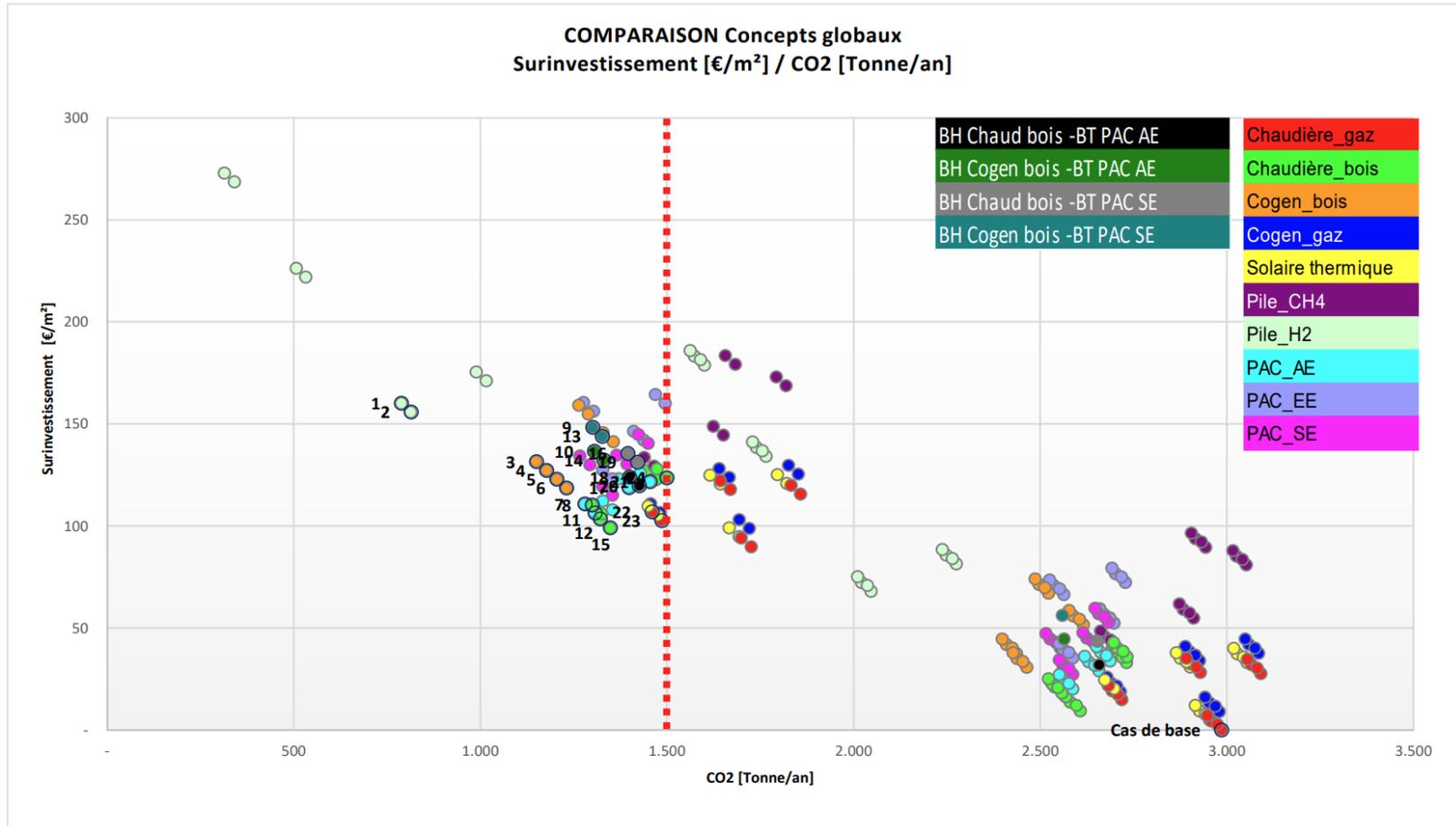


Source / Bron : Arcadis



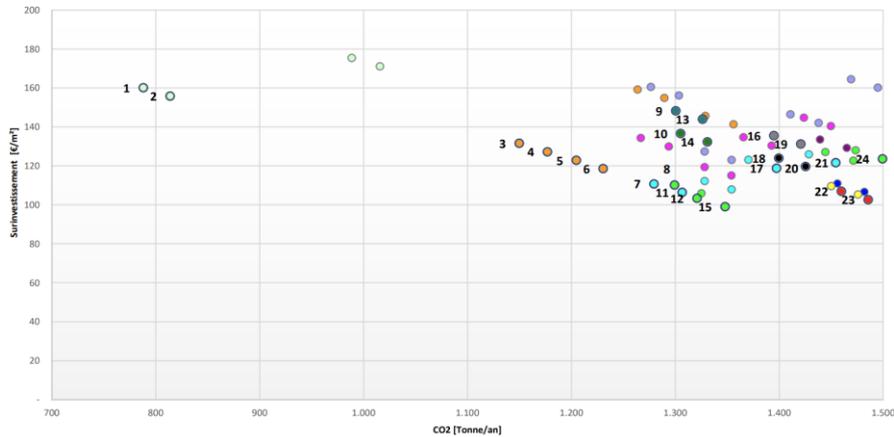
Résultat

► CO2



Résultat

COMPARAISON Concepts globaux
Surinvestissement [€/m²] / CO2 [Tonne/an]



Pts	Boucle / Décentralisé (Cf. légende dans tab ③)	Energie Primaire	CO ₂	CO ₂ sans EnR
		kWh/m ²	t/an	t/an
1	TR-BH-H2 + LD-DE-AE + PV-BIPV	97	788	2.047
2	TR-BH-H2 + LD-DE-AE + PV	100	814	2.047
3	TR-DE-CoB + LD-DE-CoB + PV-BIPV	121	1.150	2.437
4	TR-DE-CoB + LD-DE-CoB + PV	124	1.177	2.437
5	TR-BH-CoB + LD-DE-AE + PV-BIPV	118	1.205	2.464
6	TR-BH-CoB + LD-DE-AE + PV	121	1.231	2.464
7	TR-DE-AE + LD-DE-AE + PV-BIPV	113	1.280	2.566
8	TR-BH-ChB + LD-DE-AE + PV-BIPV	123	1.299	2.558
9	TR-BH-CoB + LD-BT-SE + PV-BIPV	128	1.300	2.560
10	TR-BH-CoB + LD-BT-AE + PV-BIPV	128	1.305	2.564
11	TR-DE-AE + LD-DE-AE + PV	116	1.307	2.566
12	TR-DE-ChB + LD-DE-ChB + PV-BIPV	132	1.321	2.608
13	TR-BH-CoB + LD-BT-SE + PV	131	1.326	2.560
14	TR-BH-CoB + LD-BT-AE + PV	131	1.331	2.564
15	TR-DE-ChB + LD-DE-ChB + PV	135	1.348	2.608
16	TR-BH-ChB + LD-BT-SE + PV-BIPV	132	1.395	2.654
17	TR-DE-AE + LD-BT-AE + PV	125	1.397	2.657
18	TR-BH-ChB + LD-BT-AE + PV-BIPV	133	1.400	2.659
19	TR-BH-ChB + LD-BT-SE + PV	135	1.421	2.654
20	TR-BH-ChB + LD-BT-AE + PV	136	1.425	2.659
21	TR-BH-AE + LD-BT-AE + PV	132	1.454	2.688
22	TR-BH-ChG + LD-DE-AE + PV-BIPV	122	1.460	2.719
23	TR-BH-ChG + LD-DE-AE + PV	125	1.486	2.719
24	TR-BH-ChB + LD-BT-ChB + PV	152	1.500	2.733
Cas Base	TR-DE-ChG + LD-DE-ChG	278	2.986	2.986



Résultat restreint

Pts	Dénomination	Trasenster		LD		Système EnR
6	TR-BH-CoB + LD-DE-AE + PV	Boucle Haute Temp	Cogénération bois	Décentralisé	PAC_AE	PV
13	TR-BH-CoB + LD-BT-SE + PV	Boucle Haute Temp	Cogénération bois	Boucle Tempéré	PAC_SE	PV
14	TR-BH-CoB + LD-BT-AE + PV	Boucle Haute Temp	Cogénération bois	Boucle Tempéré	PAC_AE	PV
17	TR-DE-AE + LD-BT-AE + PV	Décentralisé	PAC_AE	Boucle Tempéré	PAC_AE	PV
19	TR-BH-ChB + LD-BT-SE + PV	Boucle Haute Temp	Chaudière bois	Boucle Tempéré	PAC_SE	PV
20	TR-BH-ChB + LD-BT-AE + PV	Boucle Haute Temp	Chaudière bois	Boucle Tempéré	PAC_AE	PV
24	TR-BH-ChB + LD-BT-ChB + PV	Boucle Haute Temp	Chaudière bois	Boucle Tempéré	Chaudière bois	PV



Figure 3 : Schéma du réseau de chaleur Trasenster et section de pose



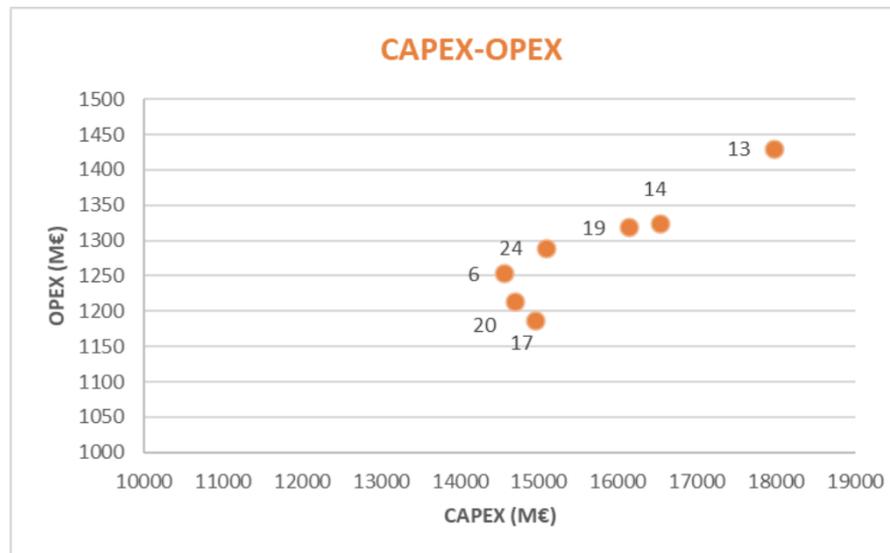
Figure 8 : Schéma du réseau à basse température du zoning LD



Résultat restreint

► CAPEX - OPEX

	Points sélectionnés	CAPEX TOTAL (HTVA)	OPEX TOTAL (HTVA)
6	TR-BH-CoB + LD-DE-AE + PV	14.550.102 €	1.253.855 €
13	TR-BH-CoB + LD-BT-SE + PV	17.974.577 €	1.430.366 €
14	TR-BH-CoB + LD-BT-AE + PV	16.526.867 €	1.324.591 €
17	TR-DE-AE + LD-BT-AE + PV	14.945.716 €	1.187.324 €
19	TR-BH-ChB + LD-BT-SE + PV	16.140.769 €	1.319.259 €
20	TR-BH-ChB + LD-BT-AE + PV	14.693.059 €	1.213.484 €
24	TR-BH-ChB + LD-BT-ChB + PV	15.083.276 €	1.289.988 €



Source / Bron : Arcadis

FORMATION BATIMENT DURABLE – ENERGIES RENOUVELABLES – PRINTEMPS 2024



Scénario retenu

- ▶ BHT sur les deux site, chaudière biomasse
- ▶ Montage financier
 - Modèle d'investissement
 - Fond propre
 - Tiers-investisseur
 - Type de financement
 - Prêt
 - Financement participatif
 - Partenaire financier et structure juridique
 - Coopérative citoyennes
 - ESCO
 - Entreprise réglementée
 - Subsidés
 - Fonds FEDER
 - UREBA
 - DEPA



Scénario retenu

- ▶ BHT sur les deux site, chaudière biomasse
- ▶ Plan financier

4.4.1 Plan financier « FEDER »

4.4.1.1 Clef de répartition

On suppose que le projet sera porté par la programmation FEDER avec 90% de subsides, dont 50% venant du FEDER et 40% provenant de la Région Wallonne, soit 3.815.784 € HTVA proviendront des subsides.

Les 10% restants, à savoir 423.976 € HTVA seront à financer par la ville de Seraing, soit sur fonds propre, soit par le biais d'un tiers-investisseur. Pour ce dernier financement, les paramètres suivants ont été modifiés :

Cas	Coût revente	TRE*	Durée contrat	Intérêts	TRI	VAN
10% fonds propre	0,07 €/kWh	15,8 ans	-	-	4,7 %	358.400
	0.065 €	27,4 ans	-	-	3,1%	18.382
10% tiers-investisseur	0,070 €	19,0 ans	20 ans	5%	4,2%	279.040
	0.070 €	27,4 ans	30 ans	5%	3,3%	66.914

Cas	Coût revente	TRE	Durée contrat	Intérêts	TRI	VAN
Tiers-investisseur	0.25 €	9,2 ans	10 ans	5%	12%	9.153.205
	0,160 €	18,5 ans	20 ans	5%	5.7%	2.444.041
	0.135 €	26,7 ans	30 ans	5%	3,3%	255.568





- ▶ Le réseau de chaleur présente des **contraintes**, mais a ses **avantages**, notamment
 - Une résilience plus élevée
 - Un effet d'échelle et une limitation des puissances de production

- ▶ Le réseau de chaleur permet de développer des **solutions d'échange énergétique**

- ▶ **Toutes les énergies renouvelables** peuvent être intégrées à un réseau de chaleur

- ▶ Certaines configurations sont plus favorables à la mise en place de réseaux : nouveaux quartiers, rénovation de grands ensembles



Yannick Léonard

Senior Project Manager Buildings
TRACTEBEL

 + 32 492 728 500

 Leonard.depiereux@gmail.com



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

