



3ème matinale « Questions / Réponses EnR »

Animée par :



**En partenariat avec Dualsun, Vitré
communauté et le CRER**



Programme de la matinale (1h)

- I. Réponses aux questions Chaleur Fatale / Réseau de chaleur (S3Tec; 10-15 min)**
 - A. REX de Vitré communauté pour le réseau de chaleur de Vitré
- I. Réponses aux questions Solaire Thermique (ATLANSUN/ DUALSUN ; 10-15 min)**
 - A. Différences entre PAC solaire et PAC solarothermiques
 - B. Leurs schémas hydrauliques : forces et points de vigilance
 - C. Intérêt du solaire en complément de la géothermie
- II. Réponses aux questions bois énergie (AILE ; 10 min)**
 - A. Intérêt de combiner bois énergie et géothermie?
 - B. Le temps humain à passer en chaufferie bois déchiqueté
 - C. L'avis de AILE sur la géothermie et le bois énergie
- III. Réponses aux questions Géothermie (CRER ; 10-15 min)**
 - A. Pertinence des solutions aquathermie, thalassothermie et sondes verticales en fonction de la typologie de projet
 - B. Schéma hydraulique d'une PAC géothermique avec appoint gaz ou élec
 - C. L'intégration du géocooling en fonction du type d'émetteur
- IV. Temps de questions/réponses libre (10 min)**

I. Réponses aux questions

Chaleur Fatale / Réseau de chaleur REVERTEC



S3Tec





158 communes
adhérentes



3 657
km²



37 élus au sein du Comité Syndical



313 500
habitants desservis



144 000 tonnes
de déchets traitées / an

nitré

els (CVED) basé à Vitré



- ▶ 1 ancienne décharge réhabilitée située à Cornillé,
- ▶ 1 ancienne décharge réhabilitée située à Guignen avec centrale PV et station d'épuration.

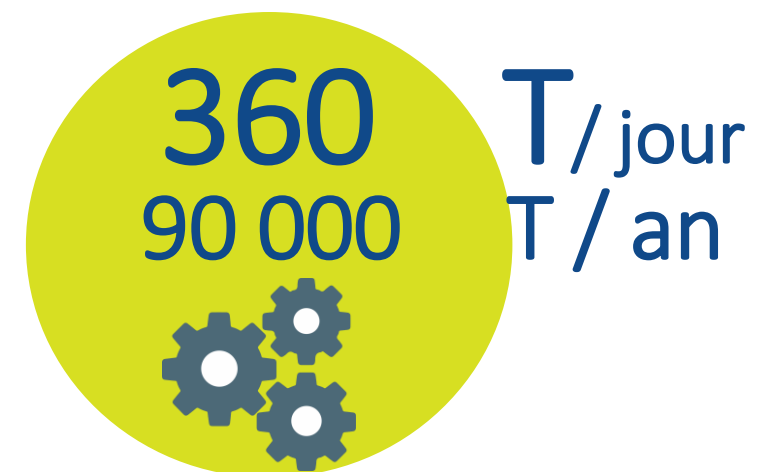
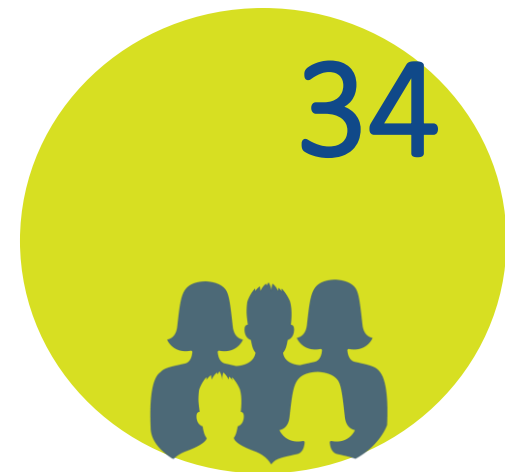


Situation en Bretagne



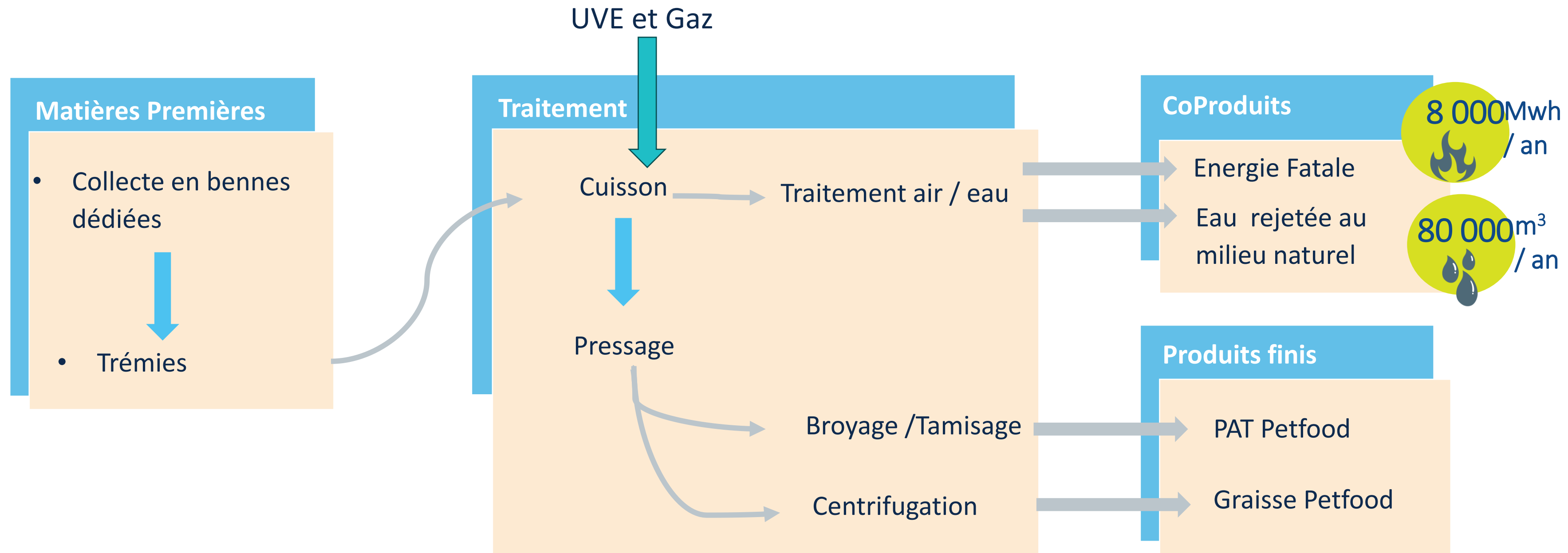


L'industriel : SINOVA



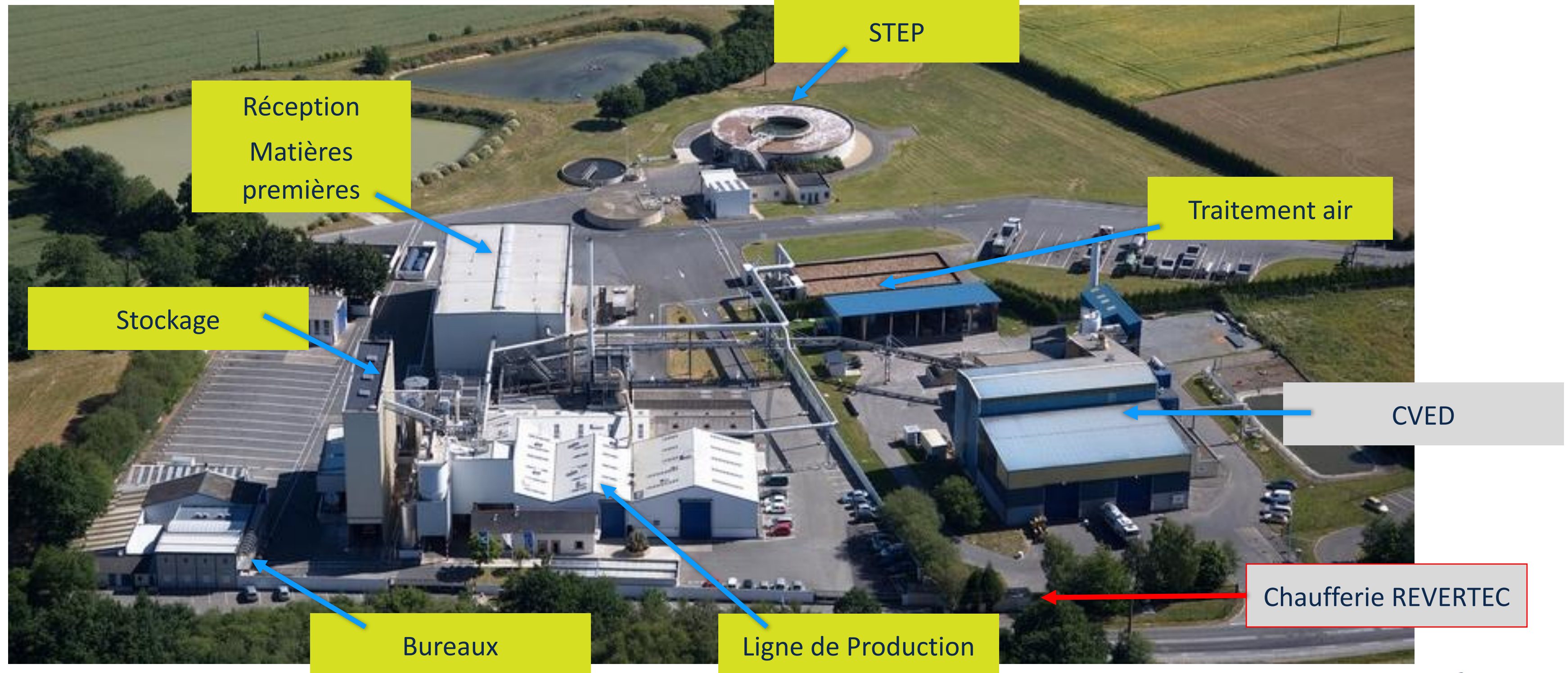


La Production





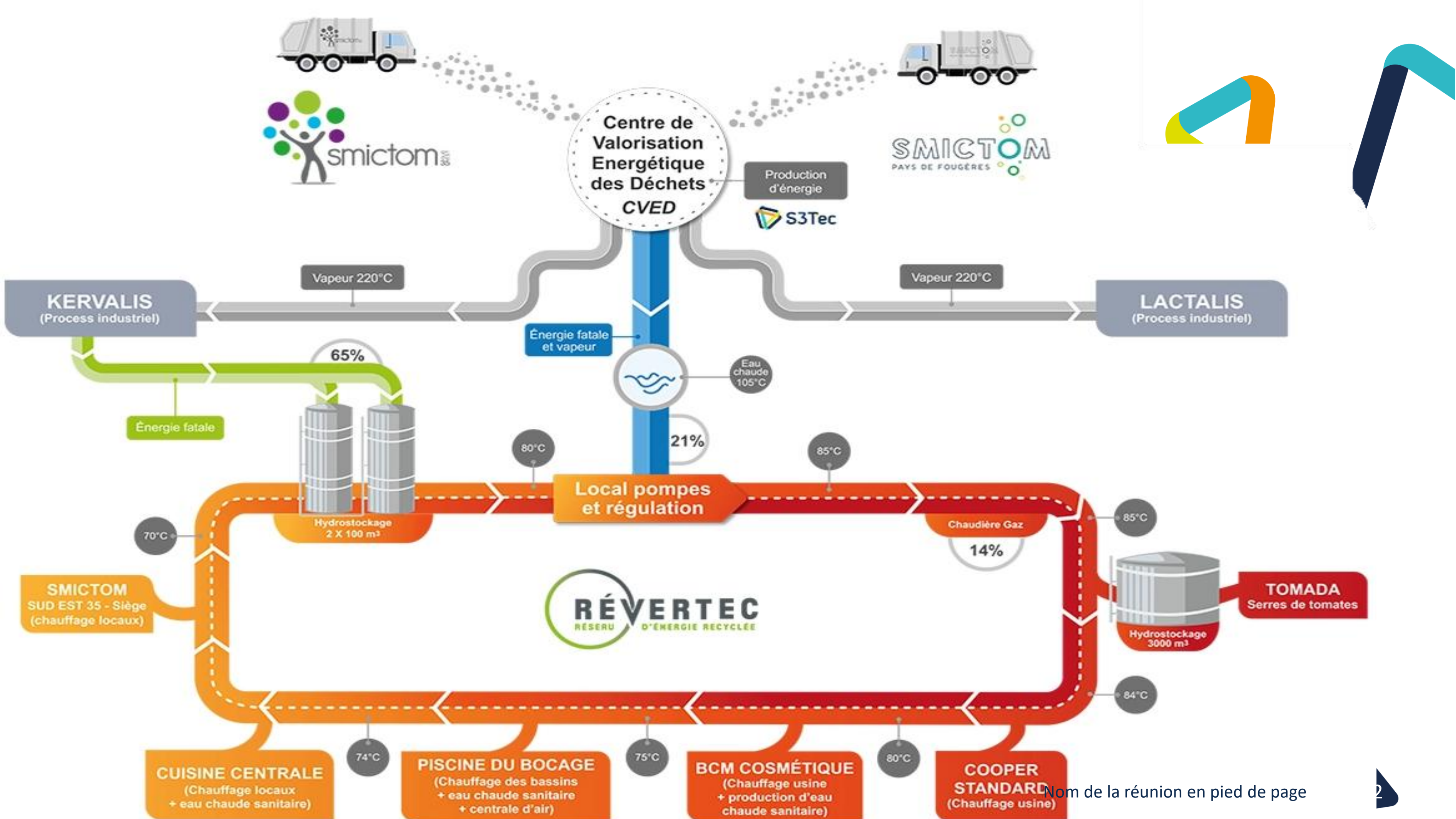
Le Site



LA GENESE DU PARTENARIAT :

- ▶ Un réseau de chaleur existant côté Collectivité,
- ▶ Des nouvelles demandes de raccordement au réseau,
- ▶ Un constat de production d'énergie fatale côté KERVALIS,
- ▶ La volonté de valoriser cette énergie
- ▶ Lancement d'une étude d'opportunité puis de faisabilité,
- ▶ Financement partagé des études : 50% ADEME, 25% S3T'ec, 25% KERVALIS







LE MONTAGE

- ▶ Un contrat basé sur une récupération d'énergie d'«opportunité» :
 - ▶ pas d'investissement porté par l'industriel,
 - ▶ pas d'engagement de fourniture de l'industriel.
- ▶ En contrepartie :
 - ▶ cession des buées à l'euro symbolique (+ intéressement) durant toute la durée du contrat, 15 ans, calquée sur la durée d'amortissement des installations.





Freins / difficultés rencontrées :	Actions d'atténuation du risque :
- difficulté d'obtenir des engagements de perf & des invest sur ce dossier non productif, de la part de l'industriel	- intervention forte de la collectivité au titre de la décarbonation du territoire,
- Puissance disponible plus faible que prévue, - Encrassement des installations,	- Insister sur la phase diagnostic de l'énergie dispo, - Être très conservateur sur les phases EXE
- Aléas de l'activité industrielle du fournisseur,	- création d'un fond de compensation du risque





Merci
pour votre attention.



www.s3tec.bzh

II. Réponses aux questions Solaire Thermique



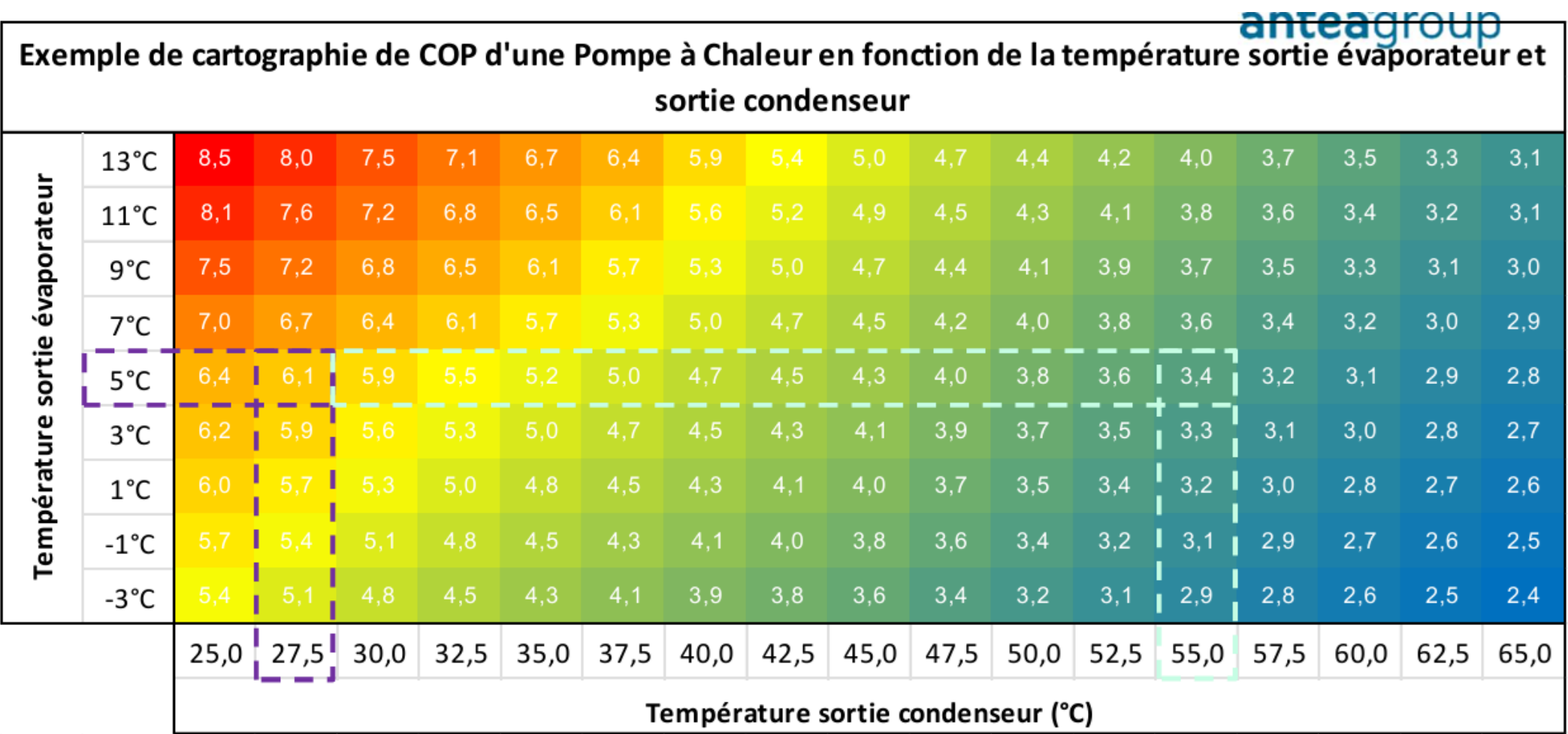
ATLANSUN/ DUALSUN

PAC solaire et solarothermique



Impact de la température évaporateur et condenseur sur le COP

- PAC Géothermie :
 - T°sortie évaporateur dépendante du sous-sol et potentiel intéressant toute l'année y compris en hiver
 - Particulièrement intéressante pour les besoins en chauffage
- PAC solaire :
 - T°sortie évaporateur dépendante de la T°air extérieur et de l'ensoleillement
 - Particulièrement intéressante pour les besoins estivaux (ECS généralement en été)



Source :
- Cartographie COP PAC – Antea Group – Présentation Forum des Acteurs Solaire thermique Février 2026

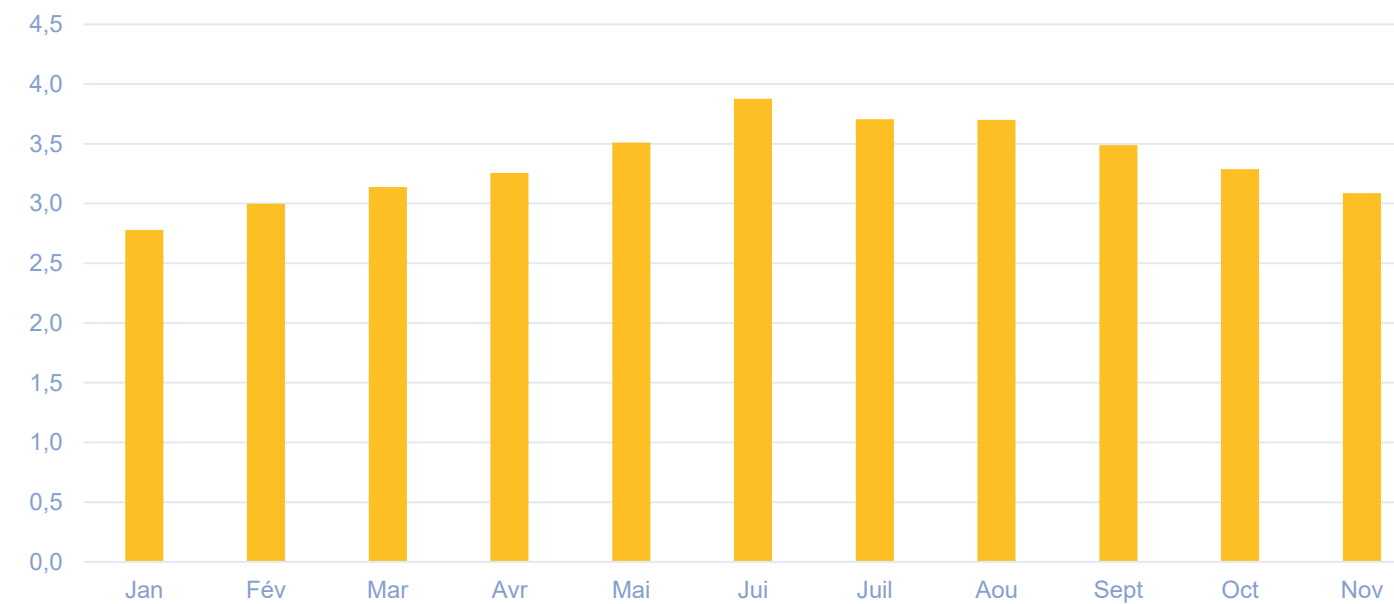
PAC solaire et solarothermie

REX résidence Odalys à Angers

- PAC solaire :
 - Production d'ECS
 - Piscine à usage collective (avec réchauffement eau de piscine et eau de renouvellement)
 - Usages industriels
- PAC solarothermie
 - Production de chauffage
- Capteurs souples ou PVT
 - COP Annuel : 3,2
 - 180m² de capteurs souples
 - 3 pacs de 12kW et appoint de 54kW électrique

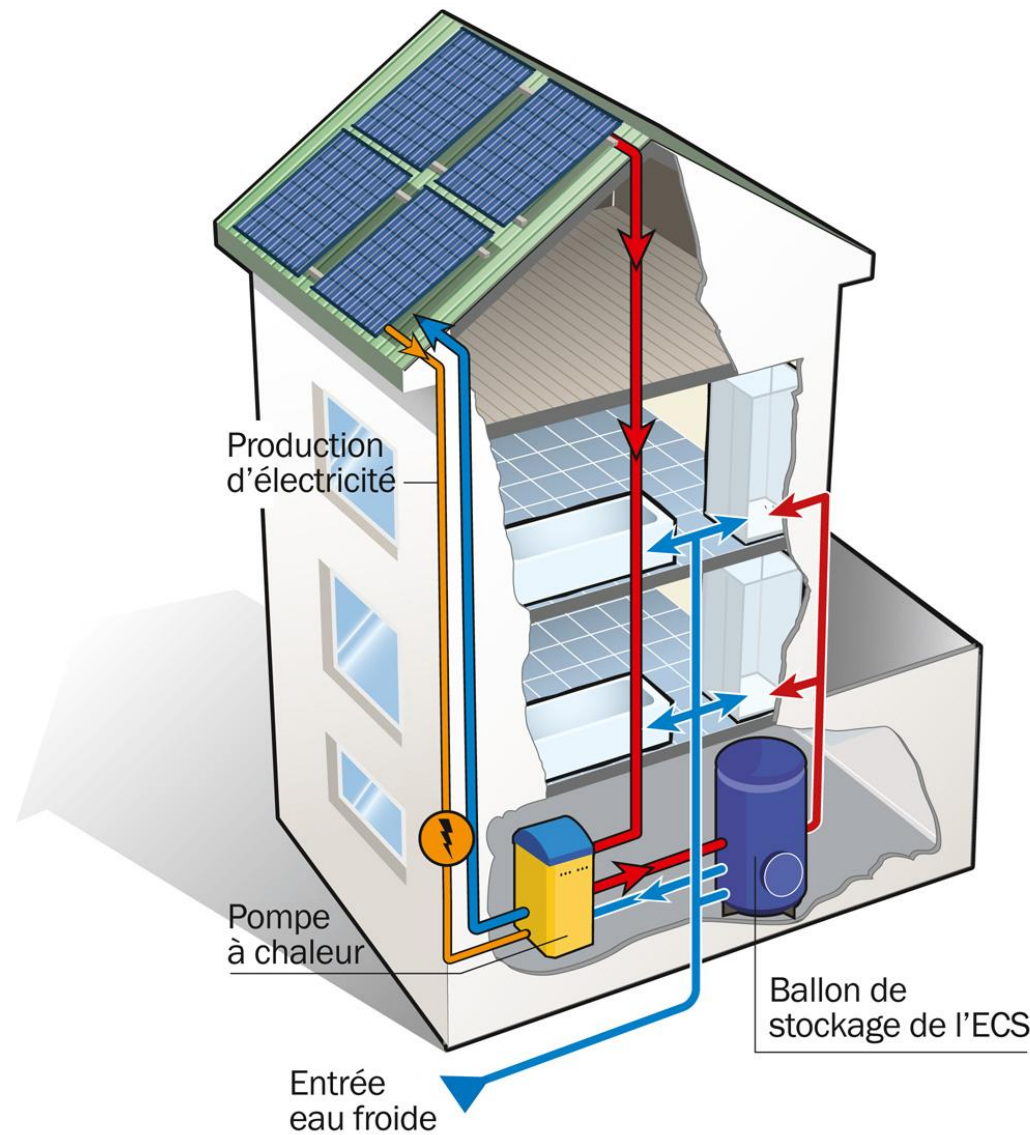


Evolution mensuelle du COP



Source :
- Installation Heliopac à Angers sur résidence étudiante

PAC solaire



Jour

Les panneaux **récupèrent la chaleur du soleil via l'échangeur en face arrière** et alimentent thermiquement la pompe à chaleur.



Nuit

Les panneaux **récupèrent la chaleur sur l'air, grâce aux ailettes de l'échangeur**, qui augmentent la surface d'échange, et continuent d'alimenter thermiquement la pompe à chaleur.

Quelles applications ?

- Production d'ECS en collectif : besoin minimum à couvrir 2 m³/j
- Maintien en température de bassins collectifs (extérieur et intérieur)
- Production d'électricité

Quels bâtiments ?

- Logements collectifs et hébergements sanitaires
- Hôtels
- Etablissements sportifs
- Etablissement d'enseignement

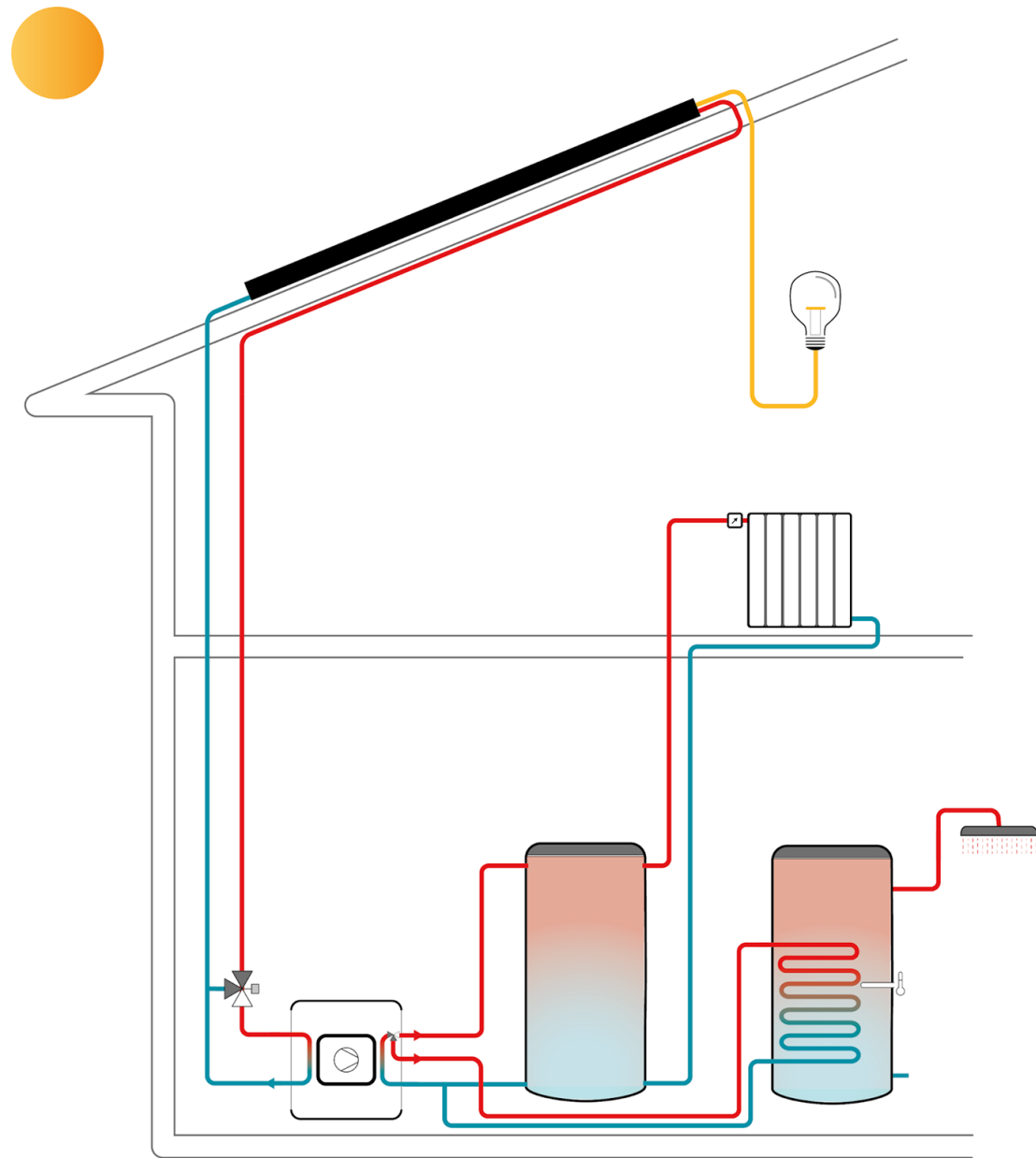
Quel dimensionnement ?

- Puissance Solerpac ECS : 10 et 14 kW
- Puissance Solerpac Piscine : 31 et 62 kW
- Surface PVT : 4 à 6 m²/ kW de PAC (eq 2 à 3 panneaux/ kW)

Forces et points d'attention

- taux d'EnR élevé > 75%
- autoconsommation du PV > 40%
- suivi à distance fonctionnement et performance
- Température entrée évaporateur : 50 °C
- surface d'installation PVT
- volume installation stockage
- non recommandés si pas de besoin ECS en été

PAC Solarothermique



Quelles applications ?

- Production d'ECS
- Production de chauffage pour émetteurs à eau (radiateurs, plancher chauffant, ventilo-convecteurs)
- Rafraichissement
- Production d'électricité

Quels bâtiments ?

- Résidentiel individuel et petit collectif
- Bâtiments tertiaires
- Hôtels/Restaurant

Quel dimensionnement ?

- Puissance Invelia : 6 à 20 kW - bientôt jusqu' à 40 kW
- Jusqu'à 8 PAC en cascade
- 1,5 PVT/kW de PAC (eq 3 m²/kW PAC)

Forces et points d'attention

- Suppression unité air extérieur
- Performances 30% plus élevées qu'une PAC A/E
- Température entrée évaporateur jusqu'à -20°C
- Jusqu'à 80% d'autonomie énergétique
- surface d'installation PVT
- surface d'emprise chaufferie - Puissance maximale PAC
- Rafraîchissement limité à 30% puissance calorifique
- Température maximal entrée évaporateur : 25°C

PAC Solarothermique sur sondes (géothermie solaire)

Quelles applications ?

- Production d'ECS
- Production de chauffage pour émetteurs à eau
- Rafraîchissement (géocooling)
- Limiter la dérive thermique du sol
- Production d'électricité

Quels bâtiments ?

- Collectif
- Tertiaire
- Complexe sportif
- Réseau de chaleur

Quel dimensionnement ?

- Puissance Invelia : 6 à 20 kW - bientôt jusqu' à 40 kW
- Jusqu'à 8 PAC en cascade
- 0,3 à 0,6 PVT/kW de PAC (eq ~1 m²/kW PAC)

Forces et points d'attention

- Suppression unité air extérieur
- Augmentation de SPF
- Réduction du nombre de sondes
- Augmentation taux de couverture du bâtiment
- surface d'installation PVT moindre

- coût d'investissement
- le solaire est un "bonus", l'analyse de son bon fonctionnement est primordial
- Pas de production solaire lorsque température sol plus élevée.

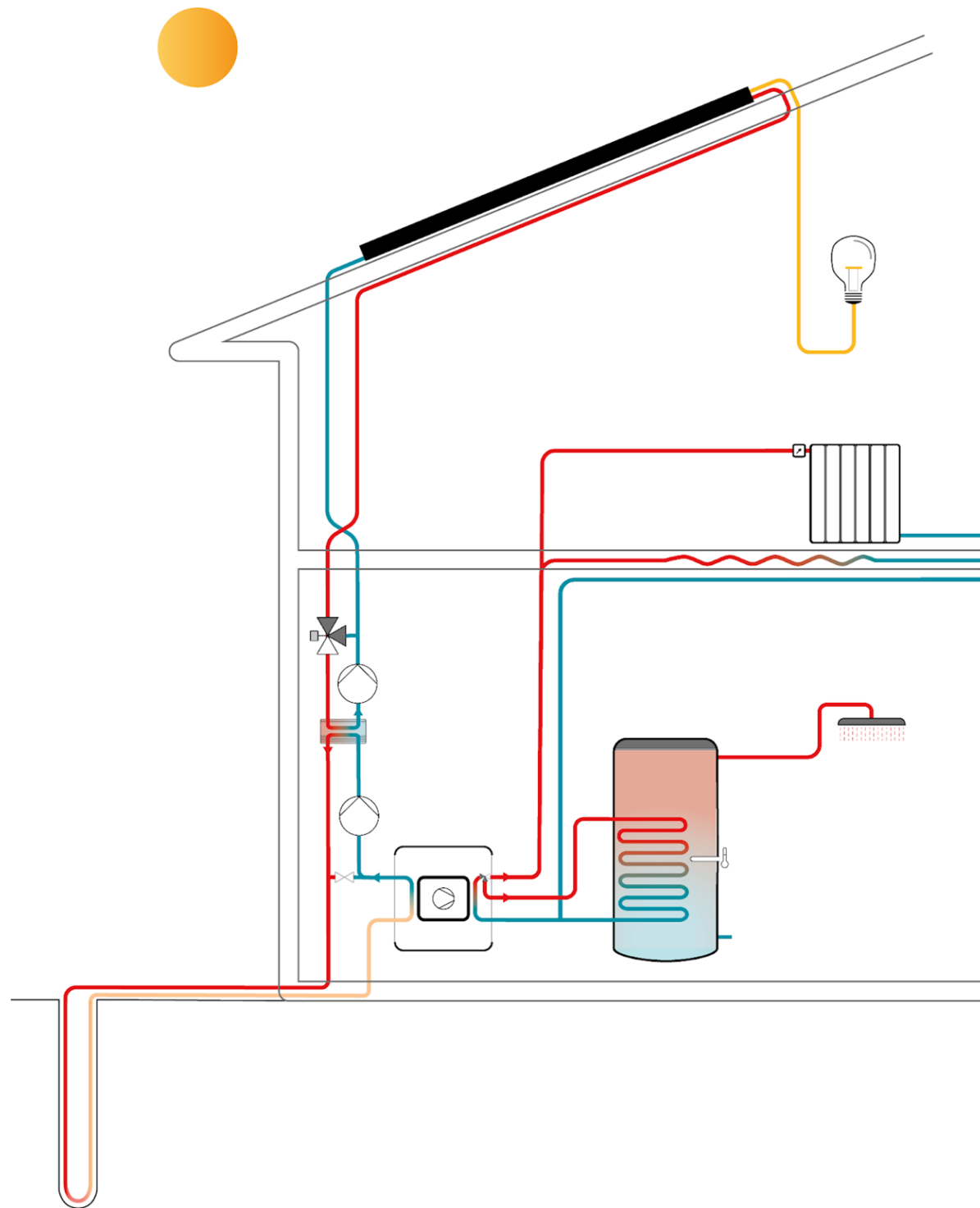


Tableau de synthèse

	PAC solaire	PAC Solarothermique	PAC solarothermique sur sondes (géothermie solaire)
Application	Production ECS collectif Maintien température bassin	Chauffage, ECS, rafraichissement	Chauffage, ECS, rafraichissement
Bâtiments	Résidentiel collectif, Etablissements scolaires, Hopitaux, Complexes sportifs, Tourisme	Petit Résidentiel collectif Tertiaire	Résidentiel collectif, Etablissements scolaires, Hopitaux, Complexes sportifs
Dimensionnement	2 à 3 PVT/ kW de PAC	1,5 PVT/ kW de PAC	0,3 à 0,6 PVT/ kW de PAC
Régime de température circuit solaire	-10°C à 50°C	-20°C à 25°C	5°C à 40°C

Contact et ressources

DUALSUN

Tom Bernard

Etudes & Projets Dualsun

0755537448

Tom.bernard@dualsun.com

Plus d'informations sur le webinaire DUALSUN : https://www.youtube.com/watch?v=wn1aZj_aOk0

[Et le support de présentation correspondant](#)

III. Réponses aux questions bois énergie



AILE



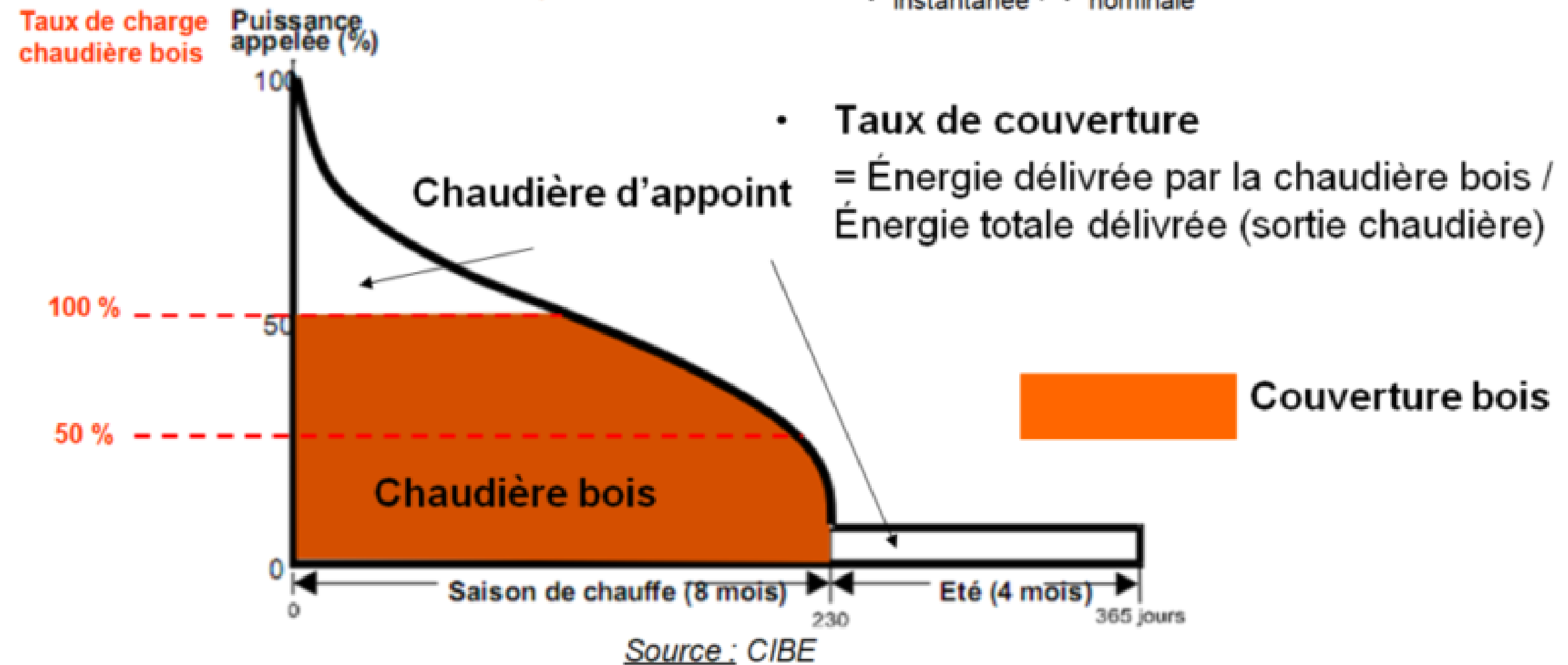
Intérêt de combiner bois énergie et géothermie?

Objectif d'un couplage : Optimiser la puissance EnR installée en maximisant le ratio $\frac{\text{€ investis}}{\text{MWh EnR produit}}$

Souvent, 50% de la puissance pour un taux de couverture EnR de 80-90% est un bon ordre de grandeur mais cela s'évalue plus finement via une monotone d'appel de puissance :

Couplage géothermie/ bois énergie? Investissement trop important pour un couplage et mettrait en péril la rentabilité du projet (2 solutions à investissement conséquent).

La courbe monotone de chauffage et ECS



- **Taux de charge de la chaudière bois**
 $= P_{\text{instantanée}} / P_{\text{nominale}}$
- **Taux de couverture**
 $= \text{Énergie délivrée par la chaudière bois} / \text{Énergie totale délivrée (sortie chaudière)}$

Besoin ECS important? Privilégiez un couplage Solaire thermique



Temps humain à passer dans une chaufferie bois?

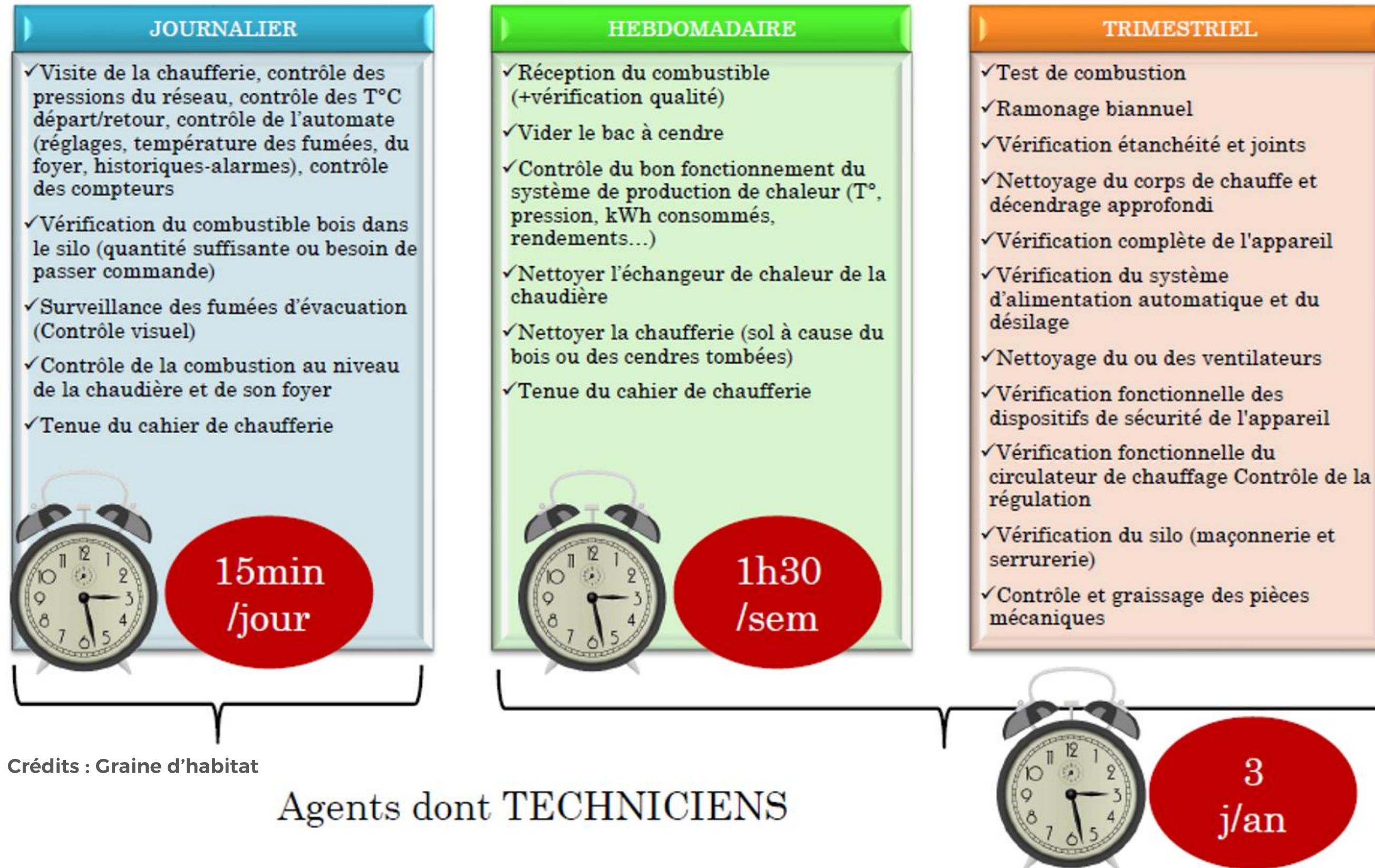
EXEMPLE DE TABLEAU DE MAINTENANCE

FRÉQUENCE	DESCRIPTION DE LA TÂCHE	NIVEAU DE COMPÉTENCE REQUIS
HEBDOMADAIRE	Nettoyage de la chaudière et retrait des cendres	Formation de base aux opérations de nettoyage
MENSUEL	Lubrification régulière des pièces mécaniques et contrôle de l'usure	Expérience des pièces mécaniques et de la sécurité de fonctionnement
MENSUEL	Vérification du bon fonctionnement de la chaudière et de l'absence de dommages	Connaissance du fonctionnement de la chaudière
BI-ANNUEL	Entretien périodique de la chaudière	Entreprise agréée

Crédits : [OPTIWOOD](#)



Temps humain à passer dans une chaufferie bois?





L'avis de AILE sur la géothermie et le bois énergie



- Interrogation remontée :
 - Coût du granulé plus important que la géothermie suite à l'évolution des CEF (CEE +FC jusqu'à 65%; CDP x 5 pour la géothermie et suppression du CDP biomasse)

→ Il y a-t-il toujours un intérêt à orienter les projets vers le bois énergie plutôt que de la géothermie?

Chaleur renouvelable	Température réseau chauffage	Production ECS	Froid	Impact sur le foncier : Ratio m²/kW installé = R	Réglementation	Energie renouvelable / émission CO ₂	Priorité EnR Choix	Exploitation / maintenance
Bois énergie	25 à 90°C	Facile	Non	Quand P↗; R↘	Si bois A : ICPE à 1 MW Si bois B ou C ICPE possible avant 1 MW	Oui + économie locale / 16 à 27 kg/MWh	Après géothermie sauf consom'acteur	Ressource humaine importante si bois déchiqueté
Géothermie	25 à 55°C	Difficile voire trop coûteuse (COP dégradé)	Possible si émetteurs adaptés	Ancien : R proportionnel à P, très important pour implantation sondes Neuf : P↗; R↘ si pieux géothermiques	Dès 500kW 2 MW, GMI impossible, obligation de déclaration DREAL (dossier long et coûteux)	Géothermie oui mais électricité non/ 112kg/MWh (électricité, donnée 2024)*	Avant bois énergie	Ressource humaine limitée

* Avec un COP de 3 ou 4, on divise également l'émission de l'énergie électrique par ce facteur, ce qui peut donner un facteur d'émission réel d'environ 28 à 37gCO₂/kWh de chaleur (avec un facteur d'émission élec à 112g CO₂/kWh). Cette valeur se rapproche de celle du bois énergie.

IV. Réponses aux questions géothermie



AILE

IV. Réponses aux questions géothermie

Matinale Chaleur Renouvelable

Centre Régional des Energies Renouvelables



Référent géothermie :

Edouard CHESNEL

edouard.chesnel@crer.info

05 49 08 24 24 / 06 48 18 84 81

Animatrice géothermie Pays de la Loire :

Loriel BRIGNON

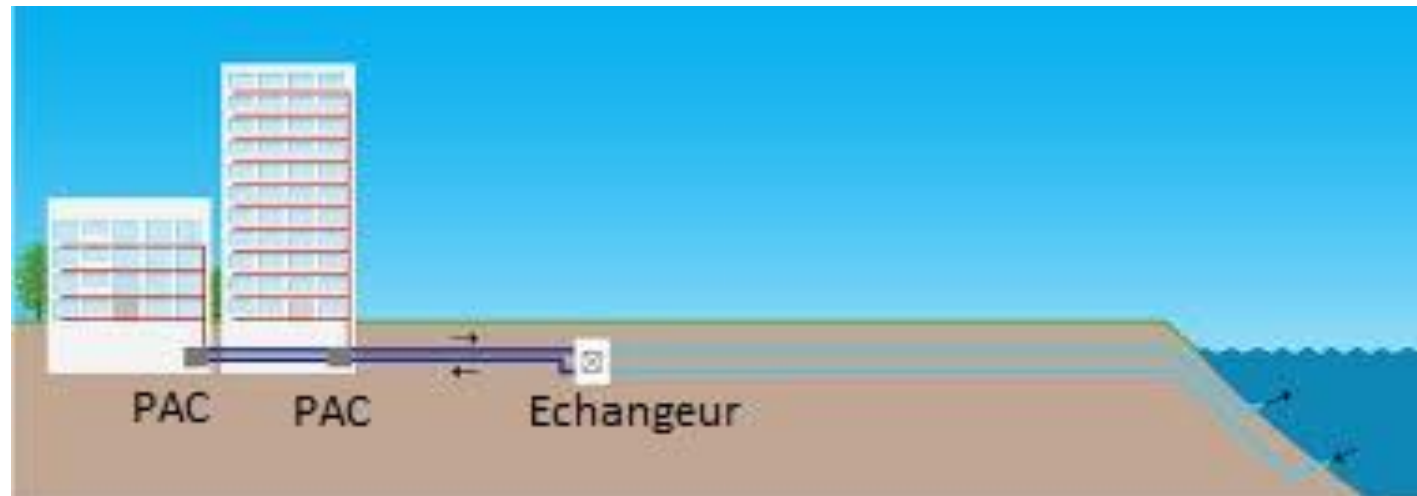
loriel.brignon@crer.info

05 49 08 24 24 / 07 68 54 77 51

QUESTION N°1

Lors d'une note d'opportunité, comment savoir si
une solution en aquathermie ou en
thalassoothermie serait plus intéressante et
réalisable qu'une installation en géothermie ?

Thalassothermie



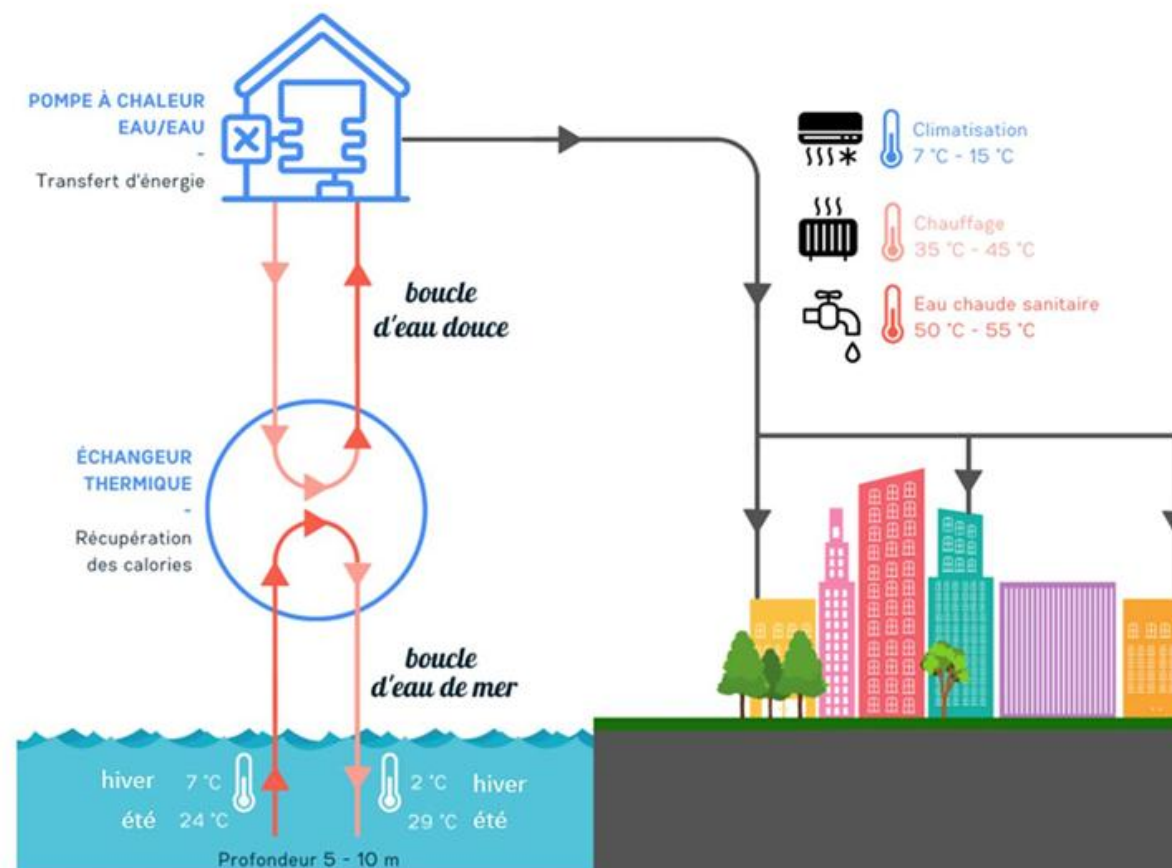
@ADEME

Échangeur thermique en titane
Thassalia

[Evaluation d'un potentiel de développement de la thalassothermie en Méditerranée : retours d'expérience de l'existant et identification de sites potentiels - Cerema](#)



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



Choisir.com



[Les travaux d'installation du réseau de chaleur par thalassothermie sont en cours sur la grande plage des Sables-d'Olonne • © Fabienne Even / France Télévisions](#)

Pompe à chaleur géothermique sur eau de mer | Geothermies

Critère			
Température caloporteur	> 55°C	55°C – 45°C	< 45°C
Température frigoporteur	< 7°C	7°C – 15°C	> 15°C
Besoins saisonniers	Chaud modéré hiver, froid fort été, basculement mi saison	Chaud en hiver, froid en été, les 2 en simultanée en mi saison	Chaud et froid combinés toute l'année
Puissance nécessaire	< 500 kW	< 500 kW et < 1 MW	> 1 MW
Distance entre bâtiment - mer	> 2 km	0,5 à 2 km	< 500 m
Profil du lieu de captage	Côte escarpée rocheuse, battue par les tempêtes	Côte abritée avec pente rapide mais régulière	Port
Biodiversité aux captages et rejet	Très sensible	Fragile	Faible
Marée avec un marnage sensible	Fort	Modéré	Faible
Variation T° EDM	Forte > 25°C été et < 10°C hiver	Fluctuant 10 à 25°C	Stable
T° EDM pour PAC	Hiver < 6°C	Hiver > 12°C	Hiver > 16°C
T° EDM pour GF	Été > 26°C	Été < 20°C	Été < 17°C

© ADEME

- **Localisation des ouvrages** (captage / rejet) : *Loin du port* : relevés bathymétriques, topographiques, morphologique, reconnaissance sismique, nature du sol, caractérisation des écosystèmes (étude d'impacts environnementaux entre **3 et 6 mois**) => coût + temporalité. *Proche du port* : /!\ niveau d'eau important ? Vagues ?
- **Réglementation** : zone protégée ? T° effluents rejetés < 30°C ? Dossier réglementaire **3-12 mois**
- **Dimensionnement** : /!\ émetteurs ? /!\ besoins : chaud = froid et ECS ?
- **Investissement** : captage adapté (crépine béton sur fond marin, aspiration sous lit de sable, tube en applique de quai), canalisations (quelle longueur ?) et échangeurs en titane ou cupro-nickel ou machines eau/eau adaptées (quel fournisseur ?)
- **Maintenance** : nettoyage des crépines, des pompes, des filtres, des échangeurs



Géothermie sur sondes et sur nappes (aquathermie)

	Géothermie sur sondes	Géothermie sur nappes
Réglementation	Cartes réglementation GMI (vert ou orange). NAEP ?	Cartes réglementation GMI (vert ou orange). NAEP ?
Ressource	Conductivité thermique du sous-sol	Nappe phréatique avec un débit suffisant
Besoins	Chaud, froid et ECS	Chaud, froid et ECS
Puissance nécessaire	Faible-forte (60%-100% + appoint)	Forte-très forte 120% (pas d'appoint)
Investissement	Plus important que sur nappe si forte puissance	Généralement plus important que sur sondes
Aides Fond Chaleur	Plus importantes (chaud) ou équivalentes (froid) que sur nappe	Moins importantes (chaud) ou équivalentes (froid) que sur sondes
Maintenance	Faible	Importante

Regarder au cas par cas !

Aquathermie, thalassothermie ou géothermie ?

Installation	Opportunités	Freins
Sur eaux de surfaces	• Échangeurs ouverts ou fermés • Surface et un débit suffisant • Besoins de puissance importants • Pas de foncier (pelouse, parking, etc.) mais étendue d'eau ou rivière / fleuve • Exemple : sur des lacs, sur la Loire, etc.	• Réglementation l'interdisant (zones protégées), surface et débit insuffisant • Qualité de l'eau médiocre (investissement et maintenance) • Question de réinjection (dans le même environnement ou pas ? => dérogation)
Thalassothermique	• Proche du port ou de la plage • Grosse puissance nécessaire • Besoin de chaud, de froid et d'ECS • Exemple : Thalassothermie, aquaculture, etc.	Investissement maintenance importants, difficile à mettre en place (technologie, temporalité du projet) • Côte escarpée ou raide • Faible puissance • Besoins très déséquilibrés
Géothermique sur sondes	• Réglementation et ressource assurées • Puissance faible à forte • Exemple : EHPAD, résidence, tertiaire, piscine, entreprise	• Zone rouge (réglementation GMI), faible ressource • Pas de foncier • Puissance trop élevée (nombre de sondes trop élevé)
Géothermique sur nappes (aquathermie)	• Réglementation et ressource assurées dans le temps (Aquapac) • Puissance forte • Exemple : EHPAD, résidence, tertiaire, piscine, entreprise	• Zone rouge (réglementation GMI) et faible ressource (pas de nappe, pas de débit) • Pas de foncier • Qualité de l'eau trop médiocre (investissement et maintenance)

Regarder au cas par cas !



Éligibilité aux aides



Opérations éligibles

Toutes les opérations de géothermie de surface, de thalassothermie ou d'aérothermie assistée par pompe à chaleur (PAC) **à l'exception des PAC air/air** et ayant une production d'EnR&R minimum de 25 MWh/an dans les secteurs de l'habitat collectif, tertiaire, agricole et industriel (le secteur du particulier étant exclu également du Fonds Chaleur). Celles-ci incluent les installations de :

- **PAC eau/eau (ou PAC sur échangeurs ouverts)**
 - PAC sur aquifère superficiel (nappe d'eau souterraine d'une profondeur inférieure à 200 mètres)
 - PAC sur eau de mer ou sur eaux de surface
 - PAC sur eaux thermales ou eaux d'exhaure de mines
- **PAC eau glycolée/eau (ou PAC sur échangeurs fermés)**
 - PAC sur sondes géothermiques ou sur géostructures énergétiques
 - PAC sur échangeurs compacts géothermiques (corbeilles ou murs géothermiques)
 - PAC sur échangeurs horizontaux enterrés
 - PAC sur chaussées thermoactives, PAC solarothermiques (couplées ou non à un champ de sondes)

QUESTION N°2

Quelles sont les possibilités d'intégration du géocooling en fonction du type d'émetteurs ?

Géocooling en fonction des émetteurs

- Émetteurs (notamment les planchers) prévus pour des eaux de 18°C-22°C (sinon condensation)
- **ADAPTÉS** : émetteurs BT ou MT : planchers / plafonds / murs rafraîchissants, ventilo-convecteurs, CTA à batteries froides
- **INADAPTÉS** : radiateurs en fontes, radiateurs aciers, planchers présents dans les salles d'eau (condensation)
- **SOLUTION** : rajouter des émetteurs

Les différents émetteurs

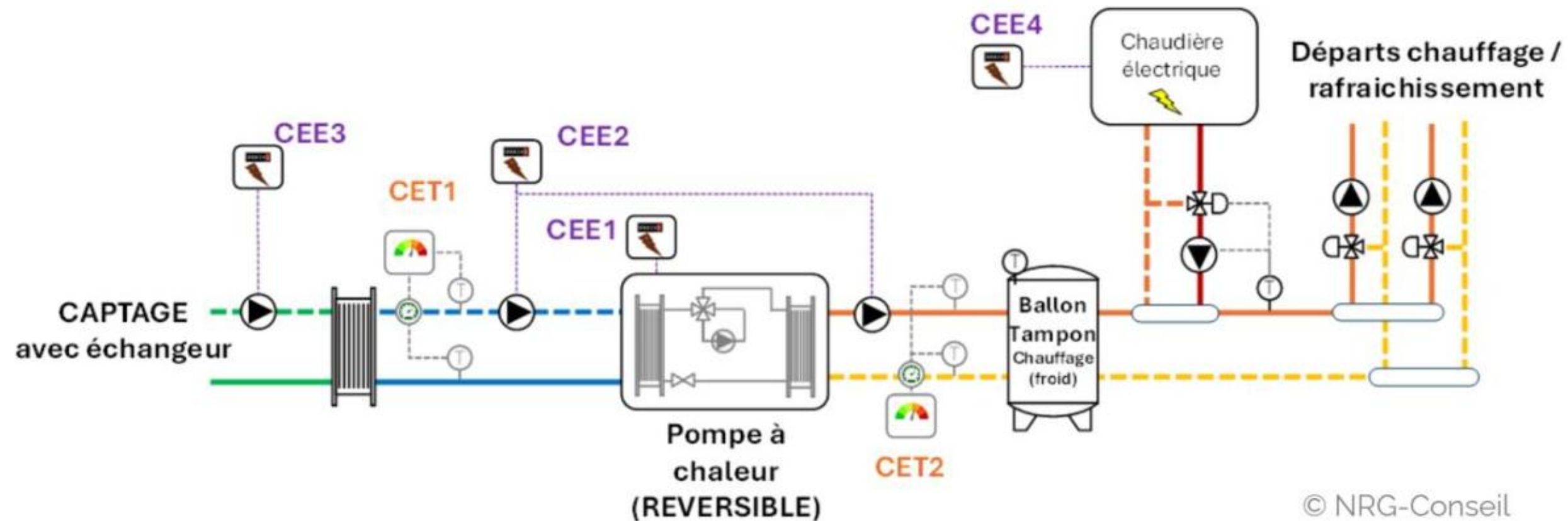
Désignation	Régime de T°	Exemples	Image	Avantages	Inconvénients
HT Haute Température	65°C/75°C	Radiateurs HT Aérothermes CTA à batterie chaude		-	Incompatibles Condensation
MT Basse à Moyenne Température	40°C/50°C	Radiateurs BT Ventilo-convecteurs Aérothermes CTA à batterie froide		Forte puissance frigorifique => ressemble à une clim (déshumidification efficace si pics de chaleur)	Nuisance sonore et visuelle, confort moindre, consommation plus élevée et entretien plus important
BT Très basse à Base Température	25°C/35°C	Plancher chauffant Plafond chauffant		Confortable, silencieux, grande surface d'échange, économique une fois installé	Plus de risque de condensation et d'humidification pour le plancher que pour le plafond (/!\ régulation), coût de l'installation

QUESTION N°3

Schémas hydrauliques de PAC géothermique avec
appoint (électrique et gaz)

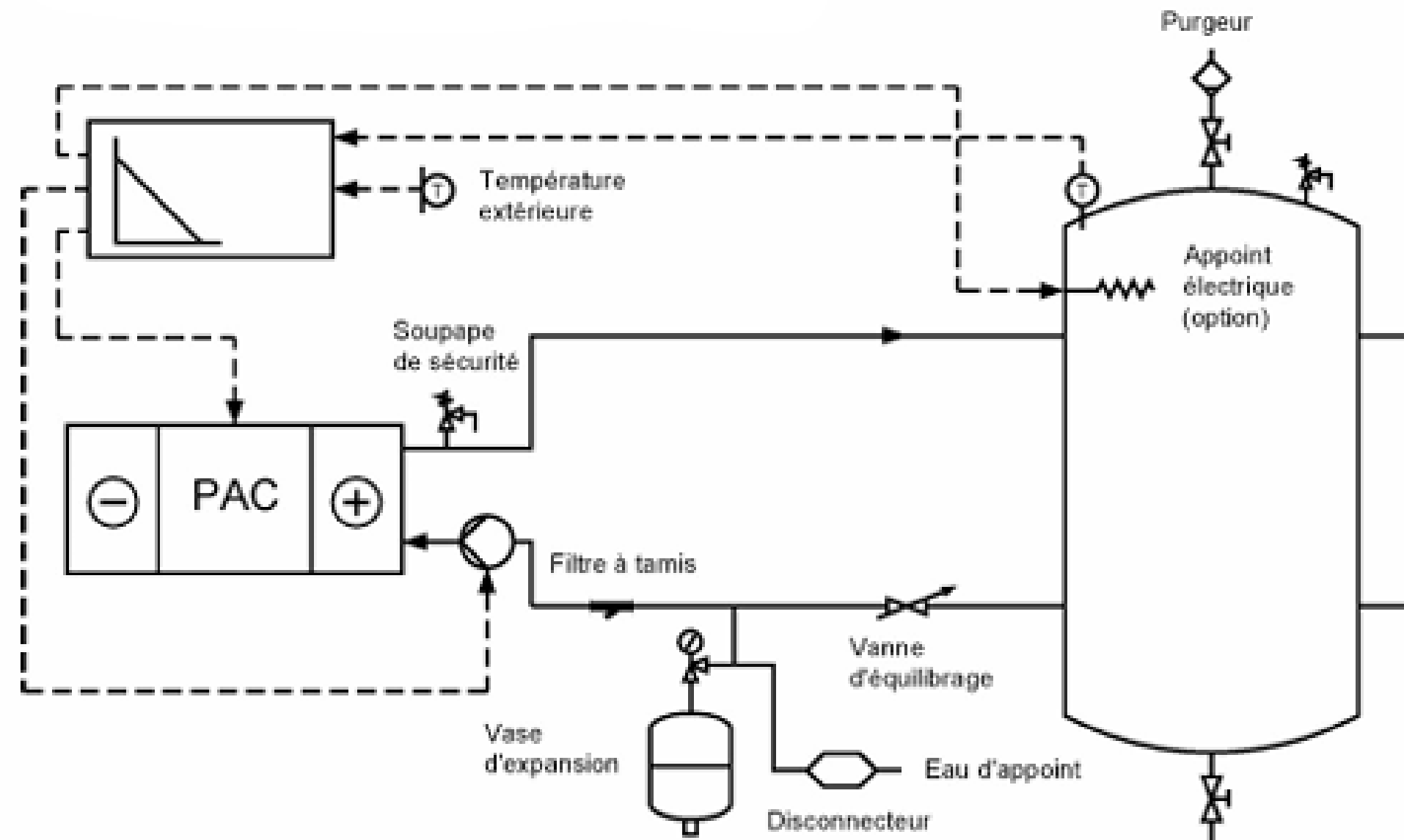
PAC géothermique + appoint électrique

Schéma 2 : captage avec échangeur - Chauffage et/ou froid (avec PAC réversible) et appoint électrique (1 seule PAC) :



- Appoint électrique : souvent intégré dans la PAC
- Petite puissance de manière générale : rajouter une résistance électrique

PAC géothermique + appoint électrique

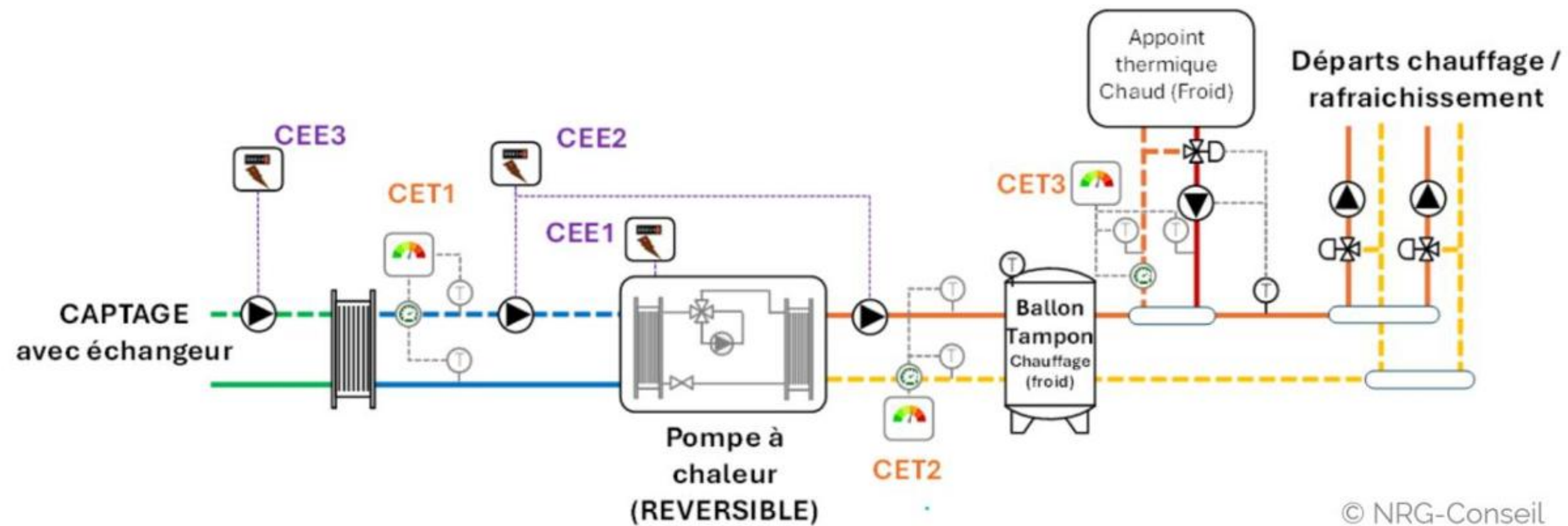


- Dimensionnement 60% - 80% de la puissance EnR => presque 100 % des besoins couverts

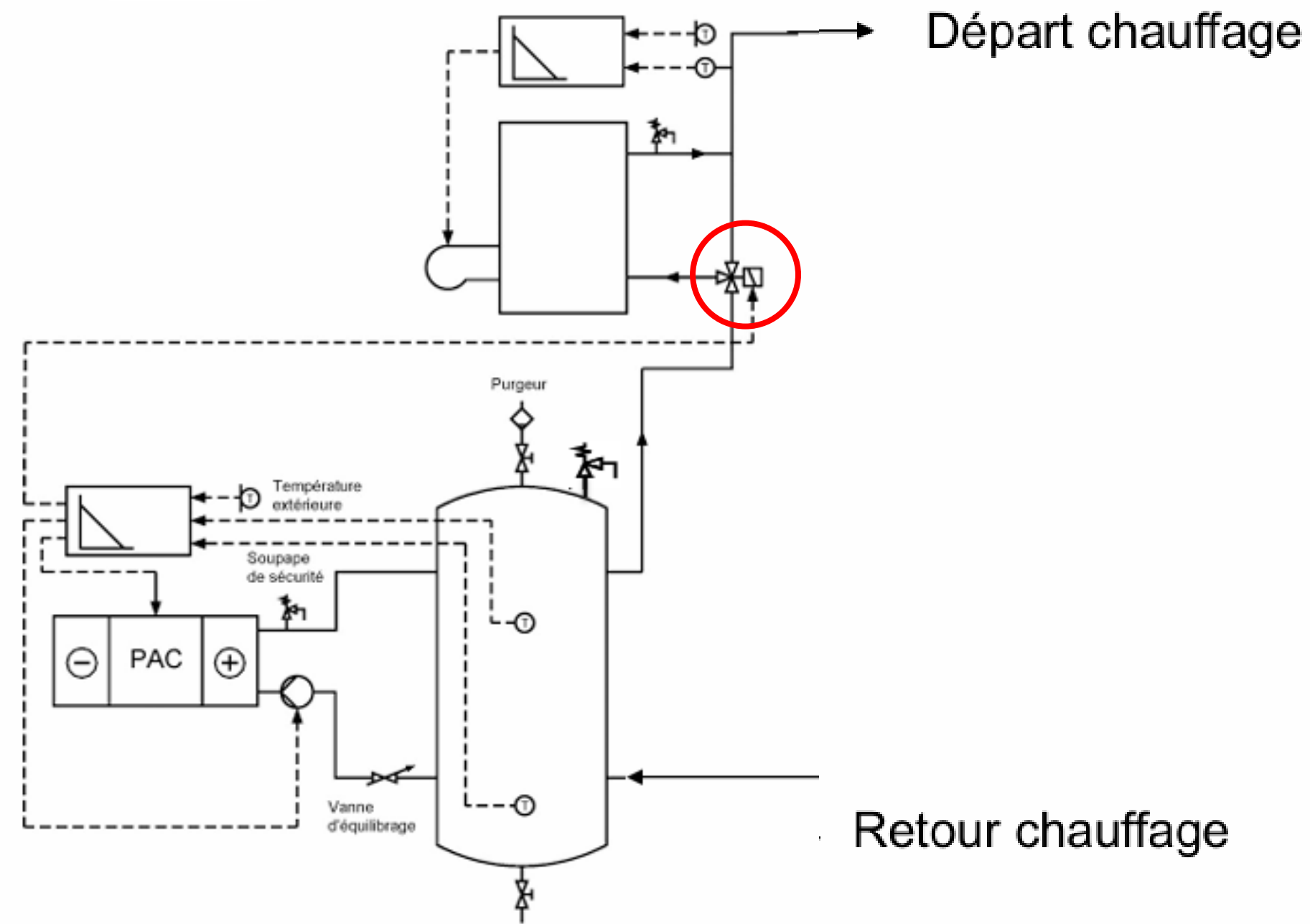


PAC géothermique + appoint gaz

Schéma 4 : captage avec échangeur - Chauffage et/ou froid (avec PAC réversible) et appoint thermique (une seule PAC) :



PAC géothermique + appoint gaz



- La PAC en premier sinon c'est la chaudière au gaz qui assure seule la production
- Simultané => adapter la régulation

V. Temps d'échange libre





Merci