

# FORMATION BÂTIMENT DURABLE

ENERGIES  
RENOUVELABLES

PRINTEMPS 2025

## **Production et stockage de chaleur et d'électricité à base d'énergies renouvelables**

Tour d'horizon des technologies existantes et de leur applicabilité au contexte bruxellois

David PLUNUS

écORce  
INGÉNIERIE & CONSULTANCE





- Appréhender les différentes technologies de production et de stockage d'énergie renouvelable (ENR)

⇒ **Mettre en place une stratégie cohérente  
pour un projet immobilier défini**



**PREAMBULE**

**PRODUCTION ELECTRICITE**

**STOCKAGE ELECTRICITE**

**PRODUCTION CHALEUR**



## **PREAMBULE**

- ▶ **Objectif**
- ▶ **Besoins**

PRODUCTION ELECTRICITE

STOCKAGE ELECTRICITE

PRODUCTION CHALEUR



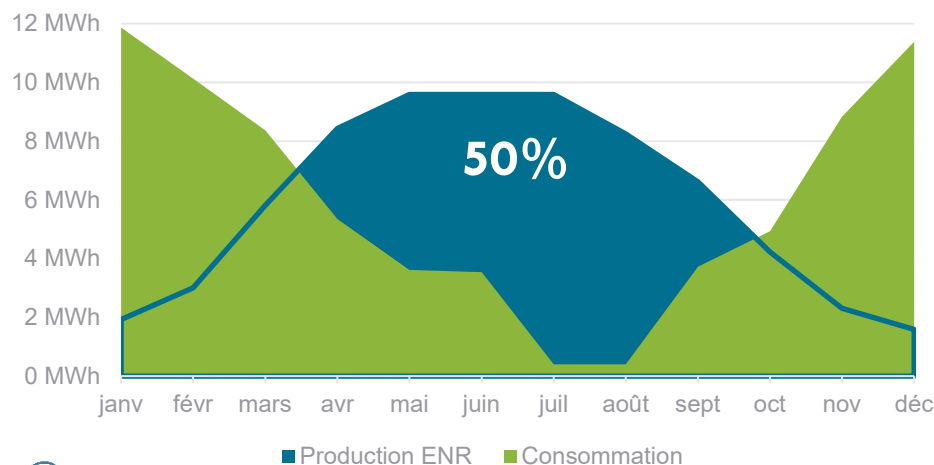
## Neutralité carbone en 2050 = recours massif aux Energies Renouvelables (ENR)

► Le système doit rester :

- Soutenable financièrement
- Equilibré entre production, consommation et capacité de stockage
  - ➔ fin des systèmes « aveugles » comme les compteurs qui tournent à l'envers et les Certificats Verts (CV)
  - ➔ passage à des systèmes maîtrisés en terme d'autoconsommation collective ou individuelle et de tarification - MIG6)

⇒ **Une estimation précise des besoins énergétiques au cours de l'année est indispensable**

### Ecole 0 énergie « actuelle » :



## Sélection des systèmes de production ENR

- ▶ Sur base de leur adéquation technique
    - aux caractéristiques physiques du projet (toitures, espaces ouverts,...)
    - aux profils de consommation énergétique du projet
- ⇒ **Une bonne connaissance des technologies disponibles permet d'établir un projet cohérent**



Bâtiment Bruxelles Environnement



PREAMBULE

## **PRODUCTION ELECTRICITE**

- ▶ **Photovoltaïque**

- ▶ Eolien

- ▶ Hydraulique

STOCKAGE

PRODUCTION CHALEUR

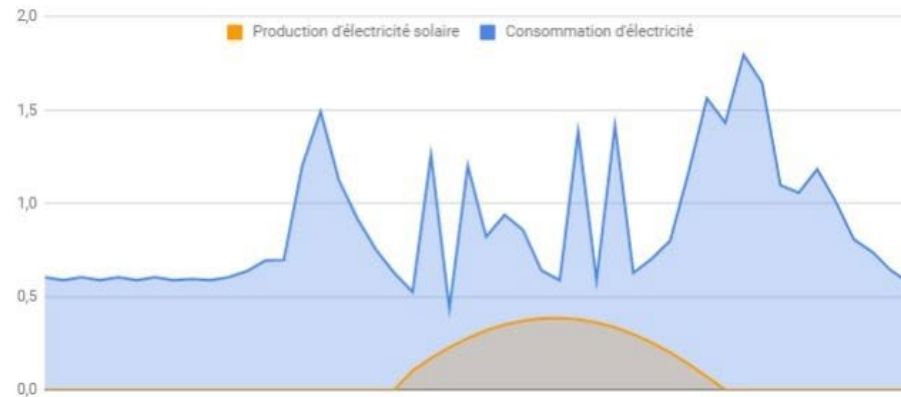


## PHOTOVOLTAÏQUE

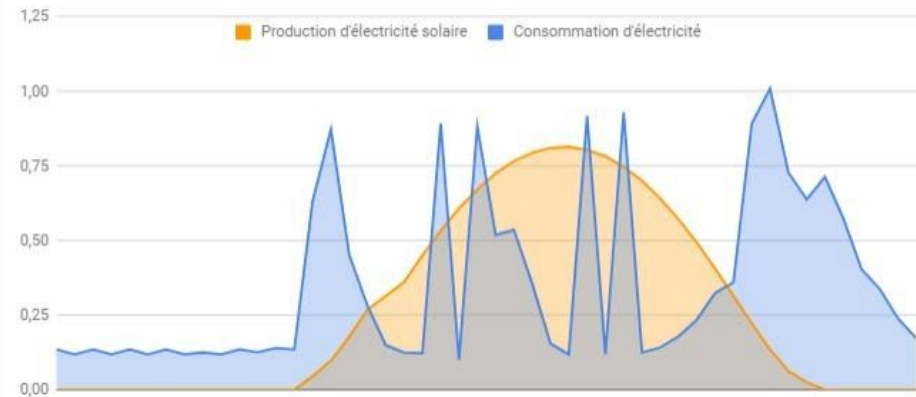
## Production PV

- ▶ Variabilité forte (jour/nuit – été/hiver)
- ▶ Objectif : minimum 65% autoconsommation

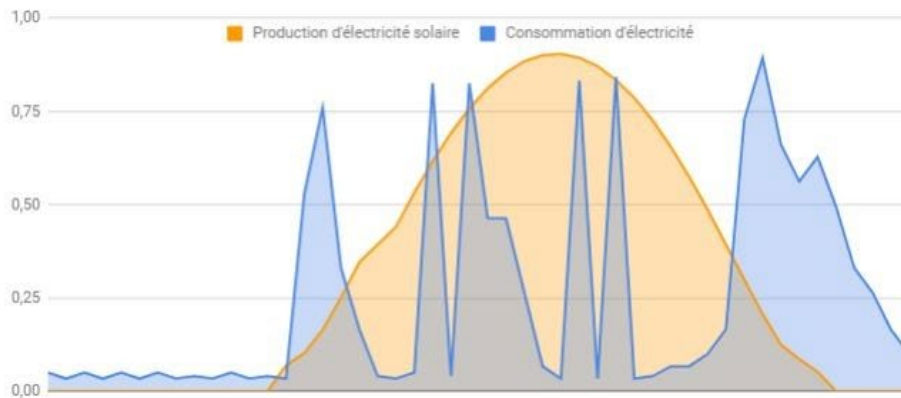
JANVIER



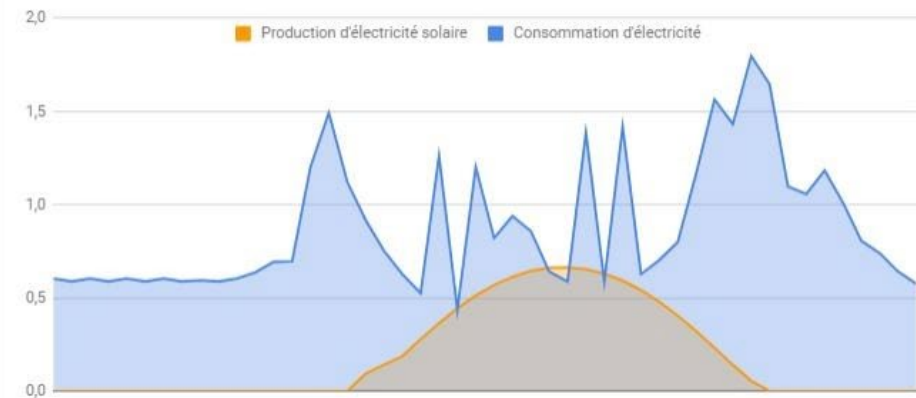
AVRIL



JUILLET



OCTOBRE



## Intégration

- ▶ Puissance nominale : 200-250 Wc/m<sup>2</sup>
- ▶ Géométrie importante (inclinaison, orientation et ombrage)
- ▶ La carte solaire de la Région de Bruxelles-Capitale

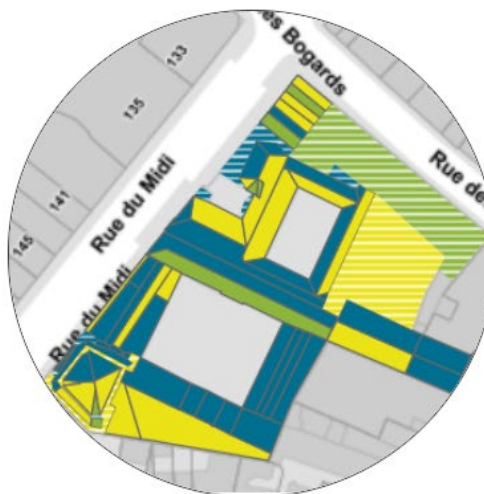


<https://geodata.environnement.brussels/client/solar/>

 [geodata.environnement.brussels](https://geodata.environnement.brussels)  > CARTE SOLAIRE



Revenir à la carte



Surface totale de toiture traitée  
12 001 m<sup>2</sup>



■ Excellent potentiel 2 258 m<sup>2</sup>  
■ Bon potentiel 4 624 m<sup>2</sup>  
■ Faible potentiel (exclu du calcul) 5 119 m<sup>2</sup>



## Rapport de simulation d'installation photovoltaïque

Rapport émit le 28/03/2022

URL du bâtiment : <https://www.cartesolaire.brussels/client/solar/detail/21809K0108-00F000>



### Rue du Midi 142 à Bruxelles



- 1128 m<sup>2</sup> Excellent potentiel
- 2312 m<sup>2</sup> Bon potentiel
- 2559 m<sup>2</sup> Faible potentiel (exclu du calcul)

#### Ma toiture

|                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| 6 000 m <sup>2</sup> | Surface totale     |
| 1 092 m <sup>2</sup> | Obstacles estimés  |
| 2 815 m <sup>2</sup> | Surface utilisable |

#### Mon énergie

|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| 10 169 kWh/an          | Production des panneaux   |
| 2 036 kWh/an           | Consommation du ménage    |
| 40 %                   | Auto consommation         |
| 4 TCO <sub>2</sub> /an | Gain pour l'environnement |

#### Mon installation

|                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| 48                | Nombre de panneaux             |
|                   | Monocristallin                 |
| 77 m <sup>2</sup> | Superficie installée           |
| 12 kWc            | Puissance totale installée     |
| 25 ans            | Durée de vie de l'installation |

#### Mes finances

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| 18 000 € | Prix d'achat TVAC                     |
| 15 524 € | Gains certificat vert (10 ans)        |
| 66 366 € | Gain facture d'électricité sur 25 ans |
| 45 890 € | Gains nets sur 25 ans                 |
| 6 ans    | Temps de retour actualisé             |

**Gain net sur 10 ans : 17 176 €**



## Financement

- Coût variable en fonction de la taille : 0,50 à 1,75 €/Wc
- Coût sur 15 ans : 0,04 à 0,15 €/kWh
- Certificats verts : 0,13 à 0,23 €/kWh

|                  |      |           |                    |       |
|------------------|------|-----------|--------------------|-------|
| Photovoltaïque** | kWc  | ≤ 5       | 1,130              | 2,055 |
|                  |      | ]5-36]    | 1,074              | 1,953 |
|                  |      | ]36-100]  | 0,559              | 1,016 |
|                  |      | ]100-250] | 0,353              | 0,642 |
|                  |      | > 250     | 0,319              | 0,580 |
|                  | BIPV |           | Sous conditions*** |       |



## Sites internet

- BRUGEL - Mécanisme des certificats verts

<https://www.brugel.brussels/themes/energies-renouvelables-11/mecanisme-des-certificats-verts-35>

- Simulateur financier photovoltaïque pour particuliers à Bruxelles

<http://sifpv-bxl.apere.org/>



### Ombrières PV

- ▶ Coût variable en fonction de la taille : 1 à 4 €/Wc
- ▶ Coût sur 15 ans : 0,08 à 0,30 €/kWh



Source : Catalogue Ombrières AdiWatt



**BIPV**

- ▶ Puissance nominale : 80-200 Wc/m<sup>2</sup>
- ▶ Coût très variables : 1 à 6 €/Wc
- ▶ Production panneaux verticaux plus faible et ombrages plus contraignants
- ▶ Coût sur 15 ans : 0,10 à 0,60 €/kWh

| Catégorie BIPV         | Skylight | Garde-corps | Brise-soleil | Façade ventilée |
|------------------------|----------|-------------|--------------|-----------------|
| Taux d'octroi [CV/MWh] | 1,9      | 1,9         | 1,8          | 2,4             |

Source : <https://www.brugel.brussels>



Source : ISSOL



PREAMBULE

## PRODUCTION ELECTRICITE

- Photovoltaïque
- **Eolien**
- Hydraulique

STOCKAGE

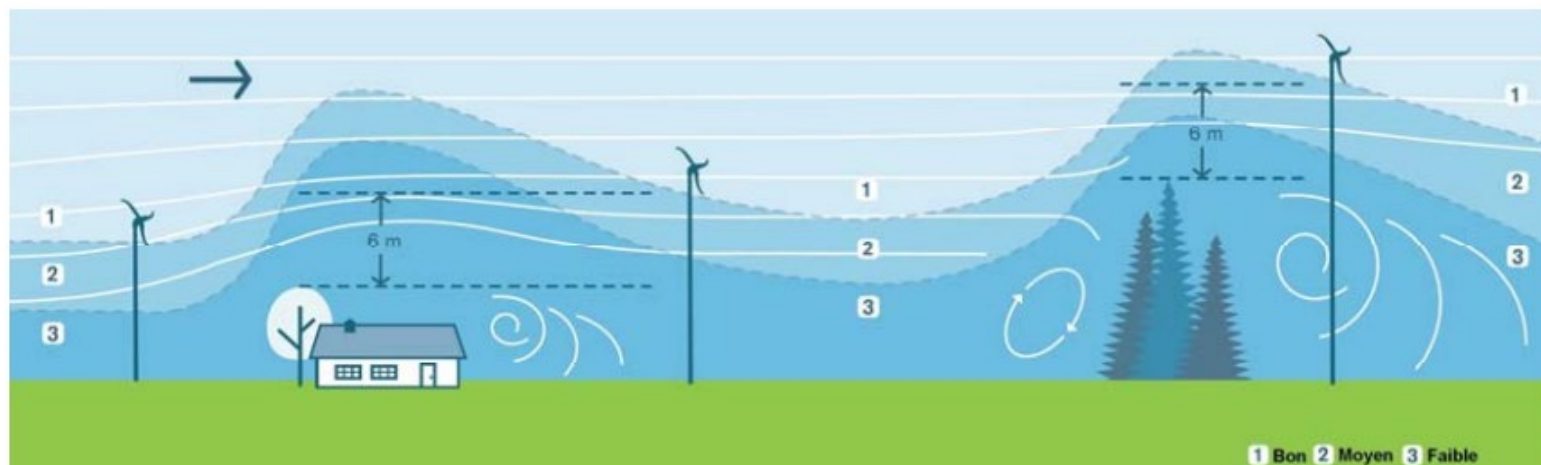
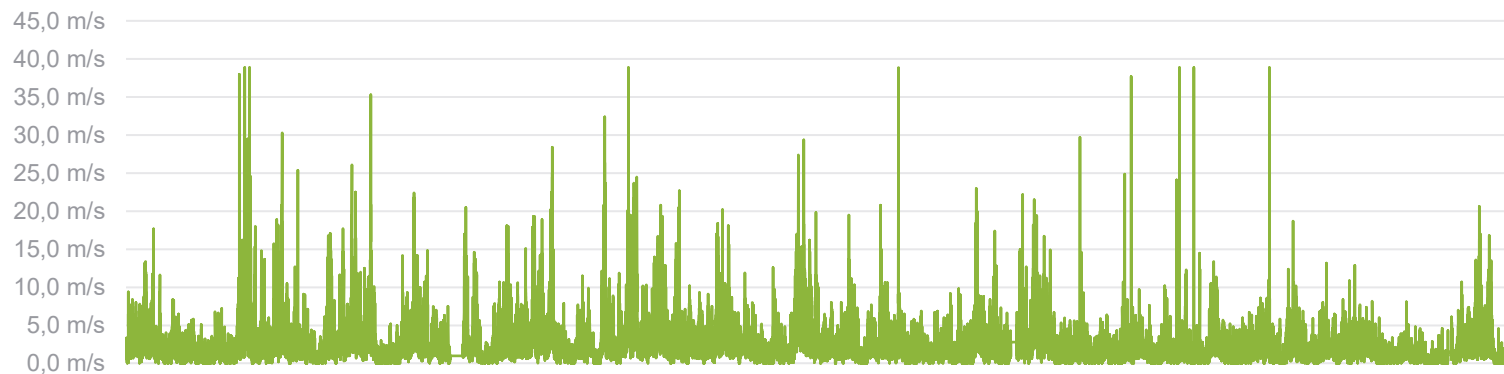
PRODUCTION CHALEUR



## Production

- Variabilité météorologique et turbulences
- Etude de vent

Vitesse du vent



source : Compagnons Eole d'après SKYTREAM



## Intégration

(Etude 2014 VUB-3E)

- ▶ Petites éoliennes intéressantes sur bâtiments très élevés  
(Cf. The Hotel à Bruxelles – tour de 96m – mâts de 7m – éoliennes de 3,5 et 7 kW)
- ▶ Moyennes éoliennes (100 kW) sur mât de 40m



Source : ENERSOL

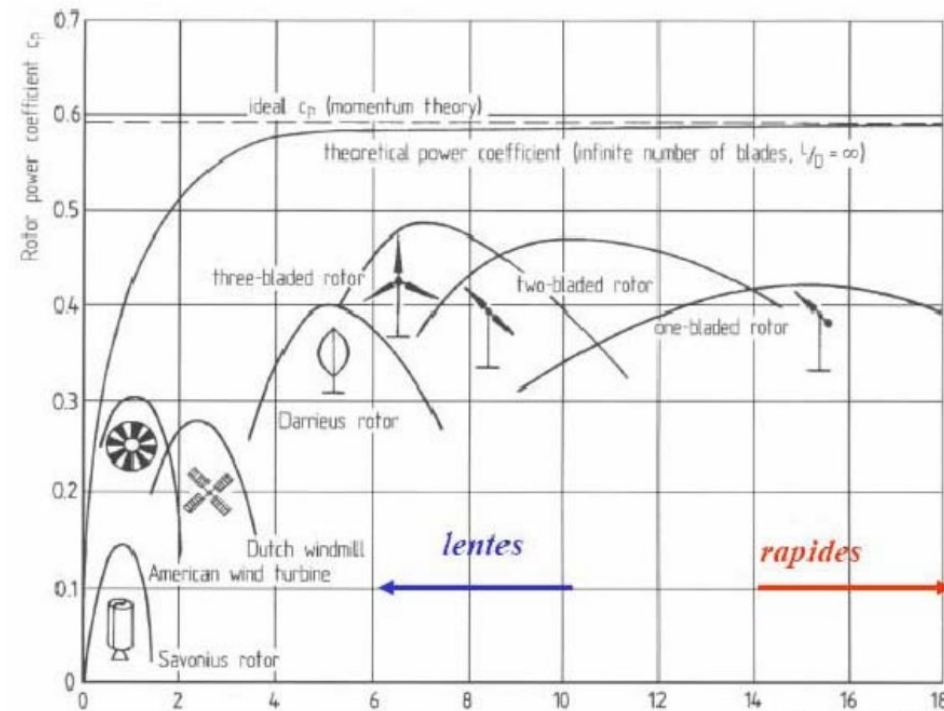
### EOX M-26

| AVERAGE WIND<br>SPEED (M/S) | GROSS OUTPUT<br>1000(KWH/YEAR) |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 4.0                         | 126,2                          |
| 4.5                         | 170,3                          |
| 5.0                         | 216,4                          |
| 5.5                         | 262,1                          |
| 6.0                         | 305,9                          |
| 6.5                         | 346,7                          |
| 7.0                         | 383,9                          |
| 7.5                         | 417,0                          |



## Financement

- Coût variable 3 à 8 €/W
- Coût sur 15 ans : 0,12 à 0,30 €/kWh
- Certificats verts : 0,15 €/kWh



PREAMBULE

## **PRODUCTION ELECTRICITE**

- Photovoltaïque
- Eolien
- **Hydraulique**

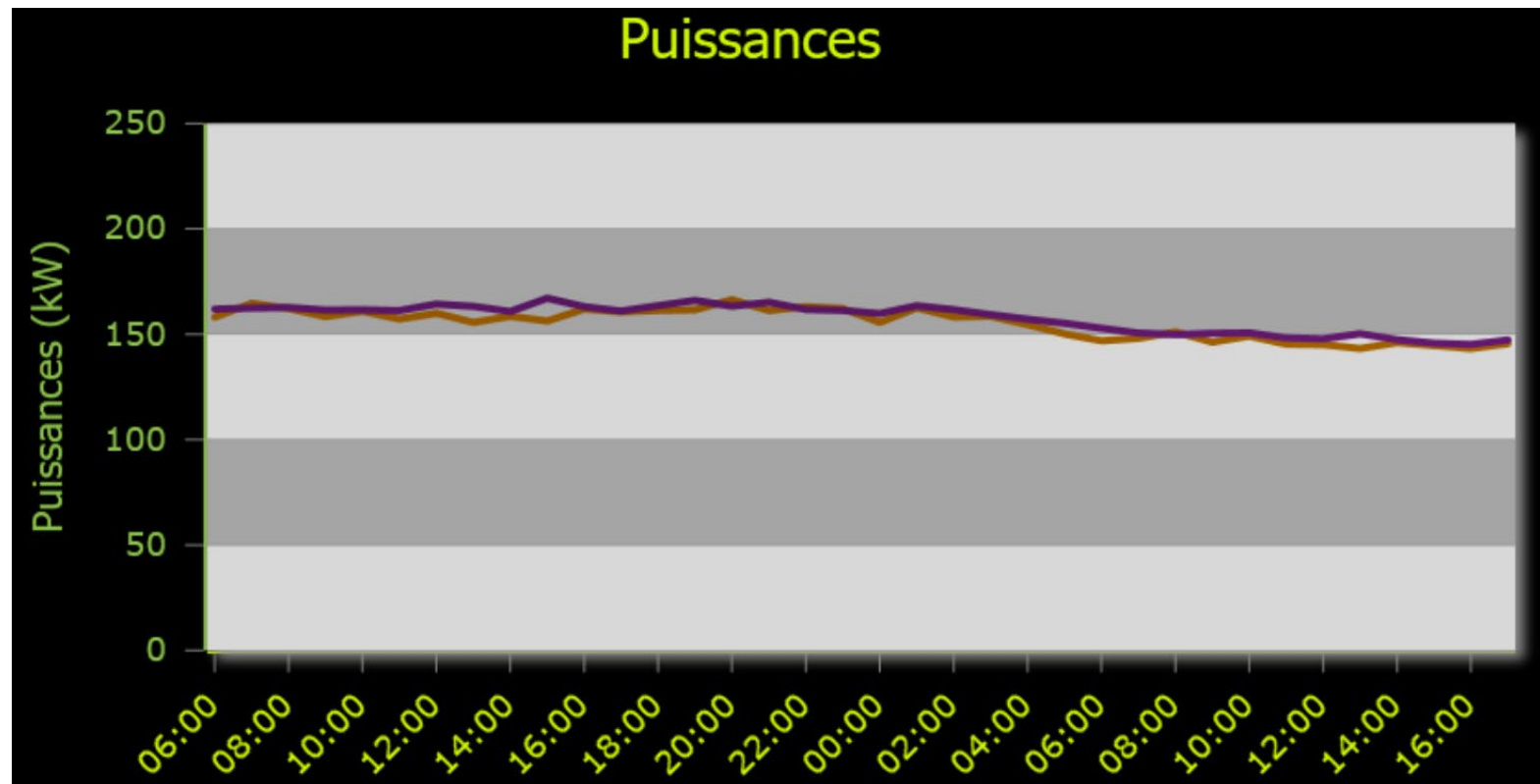
STOCKAGE

PRODUCTION CHALEUR



## Production

- Production constante (hors éventuel étiage)
- Peu de potentiel en RBC



Source : HOSe



PREAMBULE

PRODUCTION ELECTRICITE

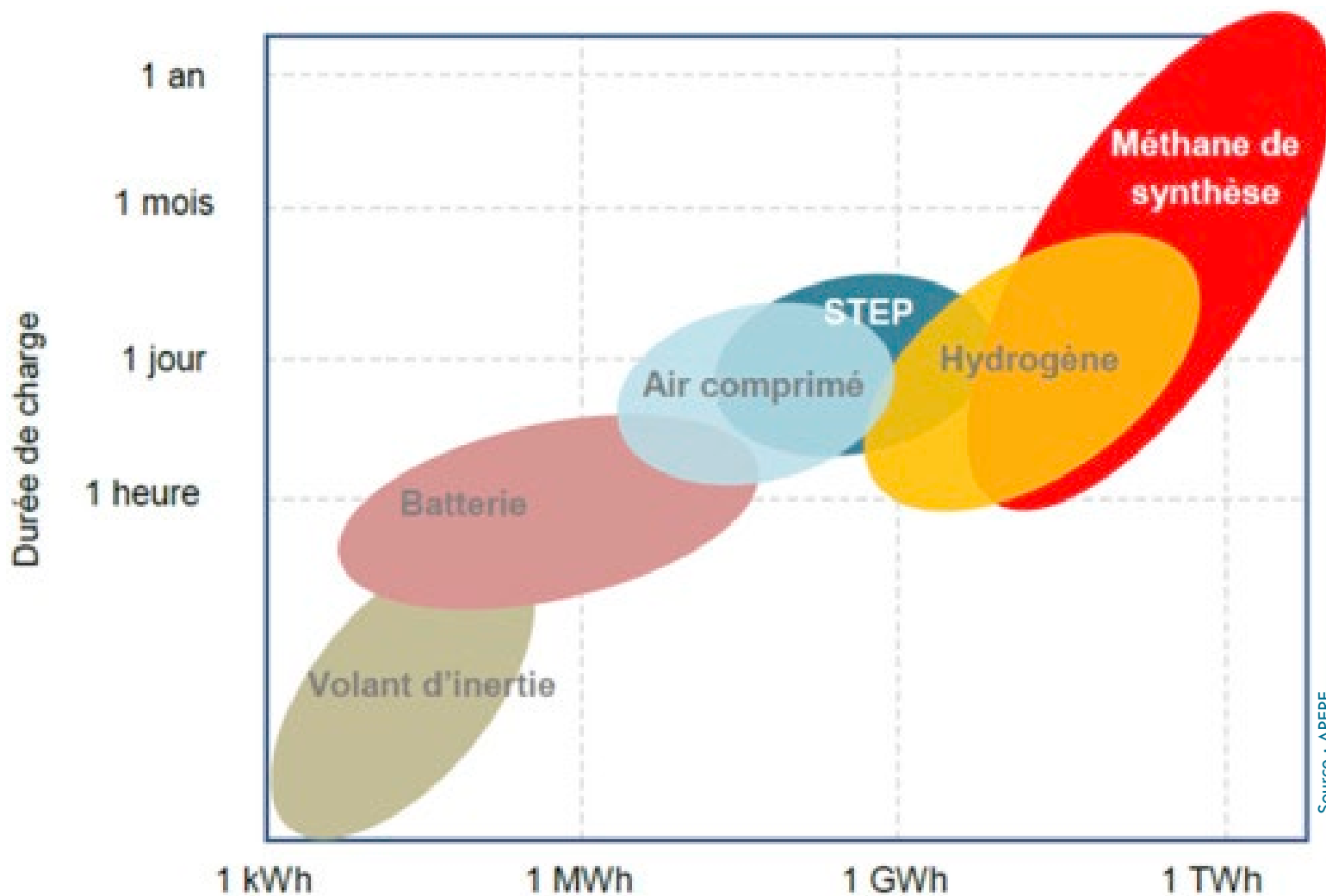
**STOCKAGE ELECTRICITE**

PRODUCTION CHALEUR

- Solaire thermique
- Biomasse
- Pompe à chaleur



## Technologie



## Intégration Li-ion

- ▶ 1 journée consommation domestique = 10 kWh
  - = 50 à 100 kg
  - = 0,1 m<sup>3</sup>



Source : TESLA



## Financement

- ▶ 1 journée consommation domestique = 10 kWh = 5-6000 €
- ▶ Coût stockage : 0,20-0,30 €/kWh
- ▶ Différentiel prix achat et vente

## Points d'attention

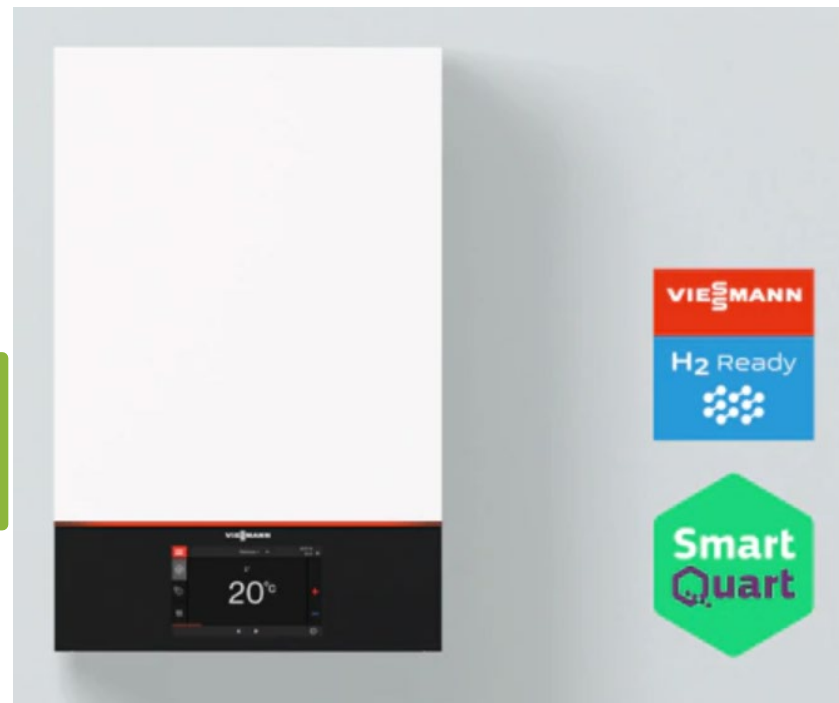
- ▶ Puissance de prélèvement (4-6 kW)
- ▶ Onduleur intégré ou non
- ▶ Rendement global (90%)
- ▶ Garantie / nombre de cycles charge-décharge



## Hydrogène

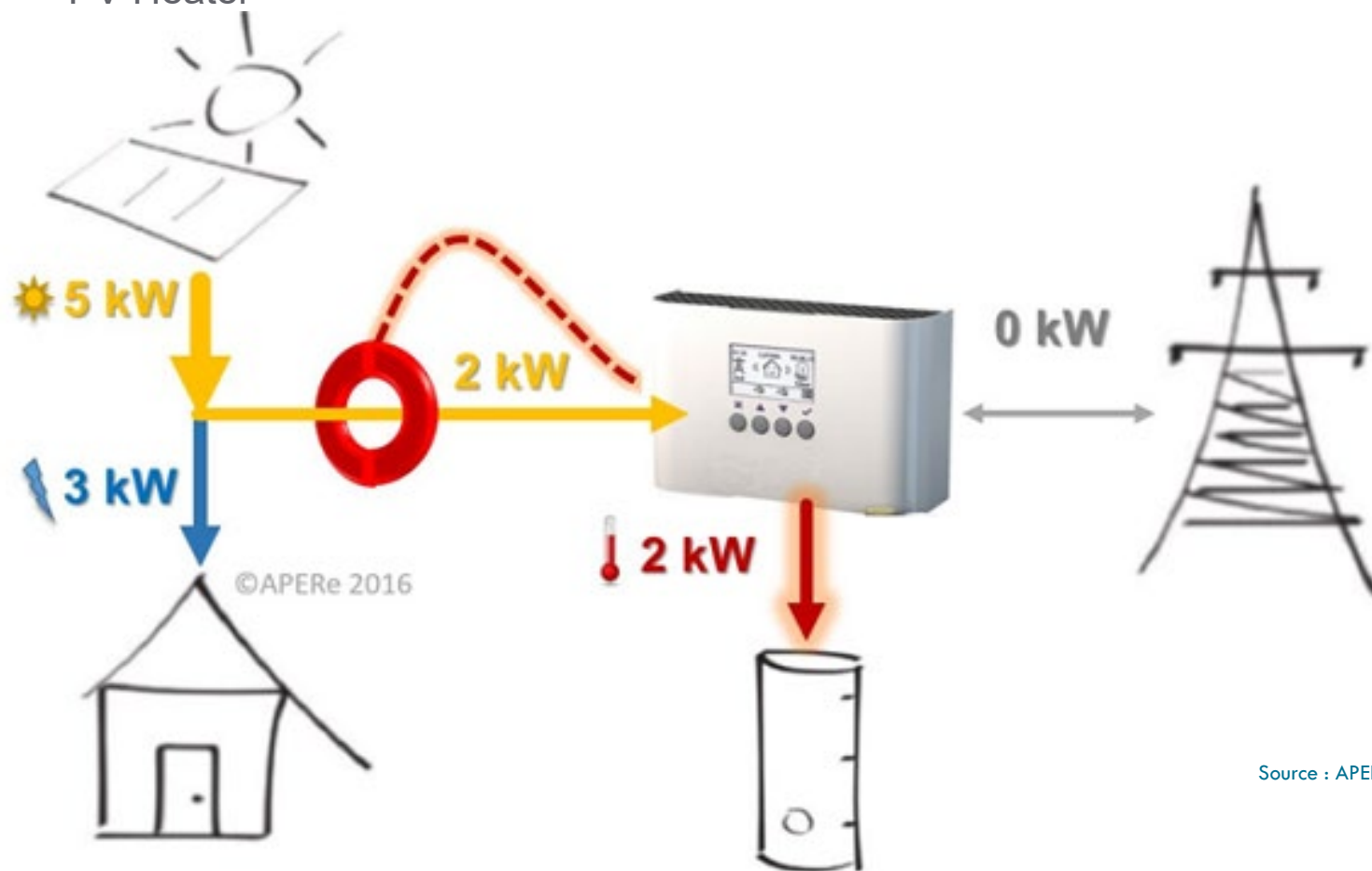
- ▶ rendement électrolyse de l'eau = 40 %
- ▶ Stockage à 350/700 bars ou liquéfié à  $-253^{\circ}\text{C}$
- ▶ Rendement pile à combustible = 50 %
- ▶ 1 journée consommation domestique = 10 kWh =
  - 1/3 kg
  - 16 dm<sup>3</sup> à 350 bars
- ▶ Chaudière à condensation H2 ready jusqu'à 30% H<sub>2</sub>

**Pertinence générale ???**  
**Adéquation disponibilité/besoin ???**



## Technologie

- ▶ Automate de gestion de la charge en fonction de la production PV
- ▶ PV Heater



Source : APERE



PREAMBULE

PRODUCTION ELECTRICITE

STOCKAGE

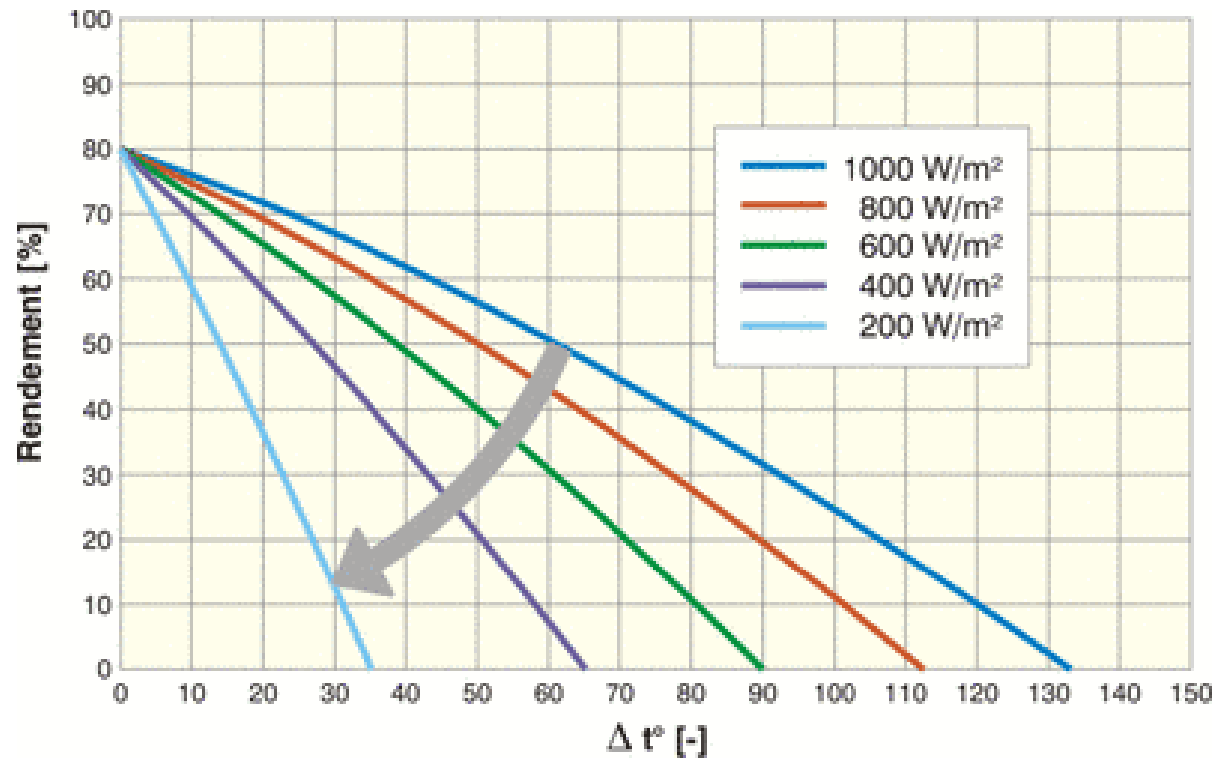
## **PRODUCTION CHALEUR**

- ▶ **Solaire thermique**
- ▶ Biomasse
- ▶ Pompe à chaleur



## Production

- Variabilité forte (mais moins problématique car stockage)
- Rendement dépend fortement de la température et du rayonnement (mais supérieur au PV – 15-20%)



Source : ENERGIE+



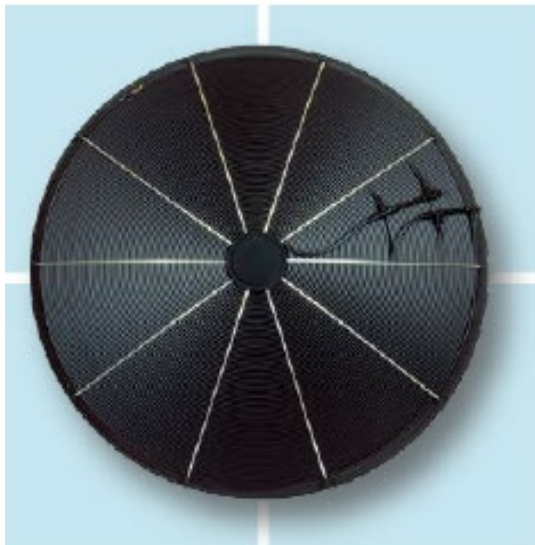
## Intégration

- ▶ Géométrie importante (inclinaison, orientation et ombrage)
- ▶ Proximité relative (réduire les réseaux pour réduire les déperditions)

## Freins

- ▶ Gestion technique (production peut être nulle voire négative)

→ Bâtiment technique  
Basse température



### Capteur solaire SunDisc

Diamètre : 2,30 m

Résistant au gel

Poids à vide :  $\pm 53$  kg

Poids en pleine charge :  $\pm 80$  kg

Puissance maximale : 2 840 W\*

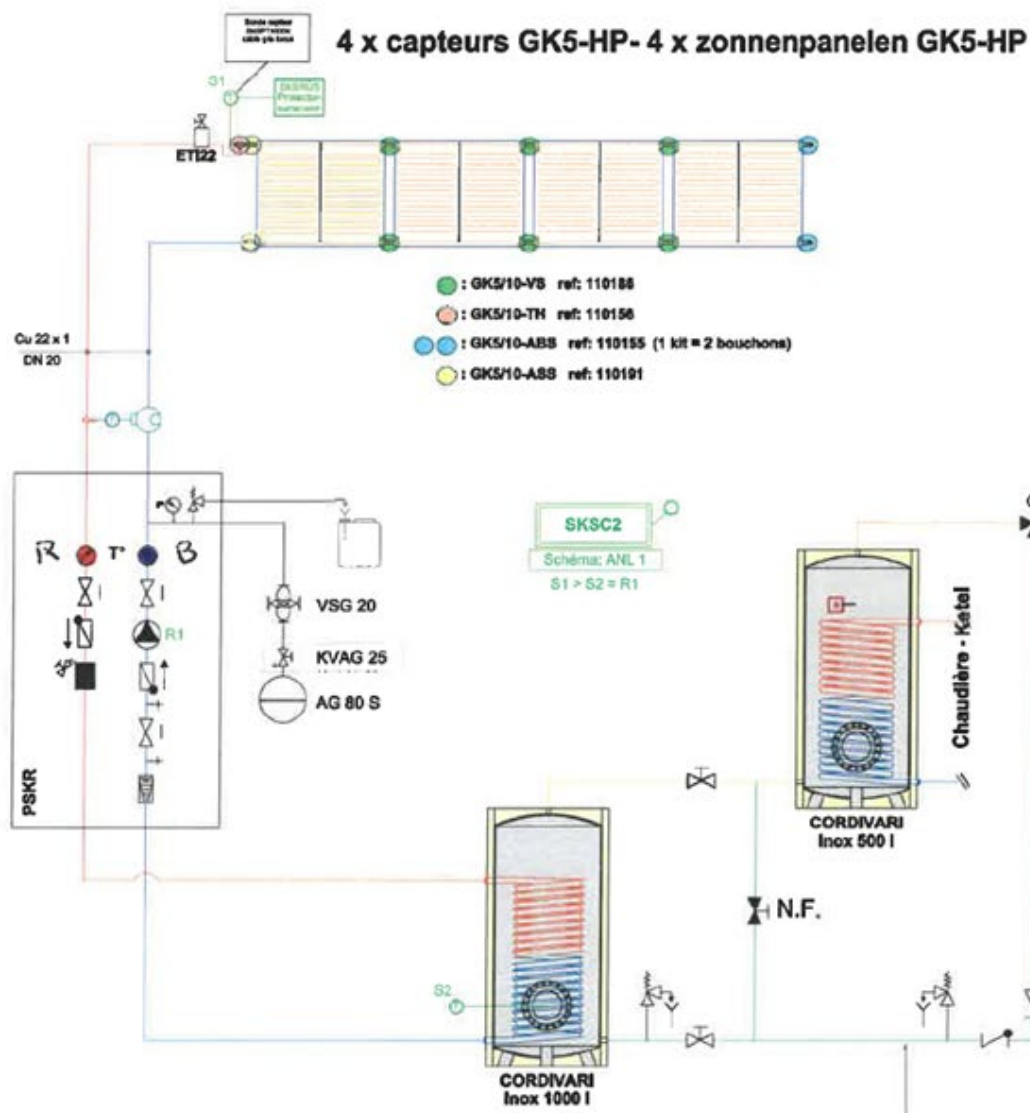
Période de garantie : 10 ans

\*Selon le certificat UNI EN 12975-2 : 2006.

→ 685 W/m<sup>2</sup> (26/28/28)

Source : LOTECH





SCHEMA DE PRINCIPE - SCHEMA VAN PRINCIPE

### Destruction d'énergie

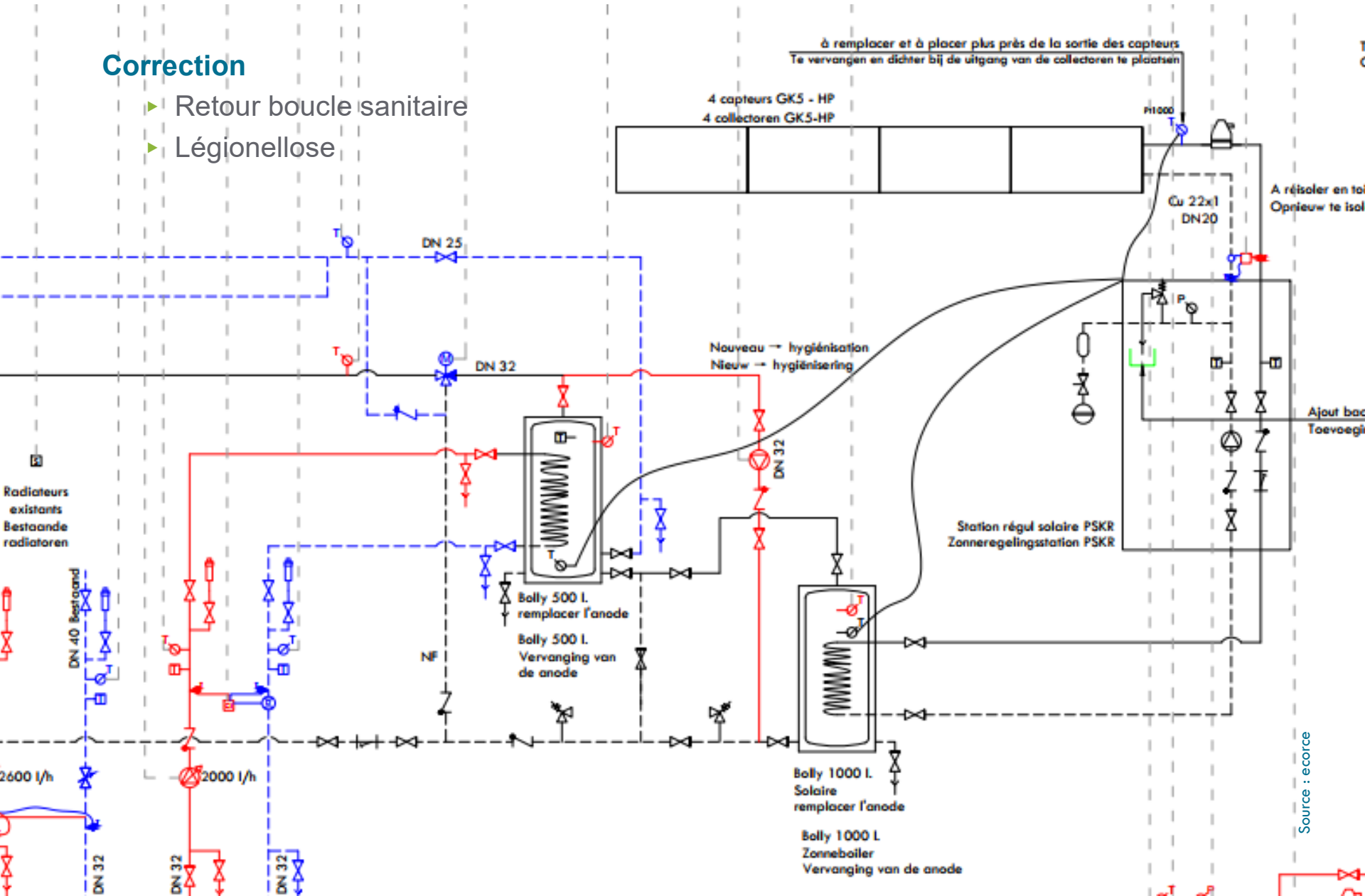
- ▶ Retour boucle sanitaire
- ▶ Légionellose
- ▶ Régulation mal réalisée
- ▶ Comptage non raccordé
- ▶ Isolation vétuste

## SOLAIRE THERMIQUE



## Correction

- Retour boucle sanitaire
- Légionellose



PREAMBULE

PRODUCTION ELECTRICITE

STOCKAGE

## **PRODUCTION CHALEUR**

- Solaire thermique
- **Biomasse**
- Pompe à chaleur



## Production

- ▶ Emission particules fines (filtres/...)
- ▶ Bilan réel du combustible et pertinence (production et transport)
- ▶ Encombrement silo / ballons / chaudières
- ▶ Maintenance
- ▶ Evacuation des cendres



Source : ecorce



## Saint-Vith

- ▶ Commune forestière (41,5% territoire) – 66 hab./km<sup>2</sup>
- ▶ Potentiel bois d'industrie = 11.500 MWh/an
- ▶ Consommation mazout chauffage : 126.000 MWh/an



Source : Google map



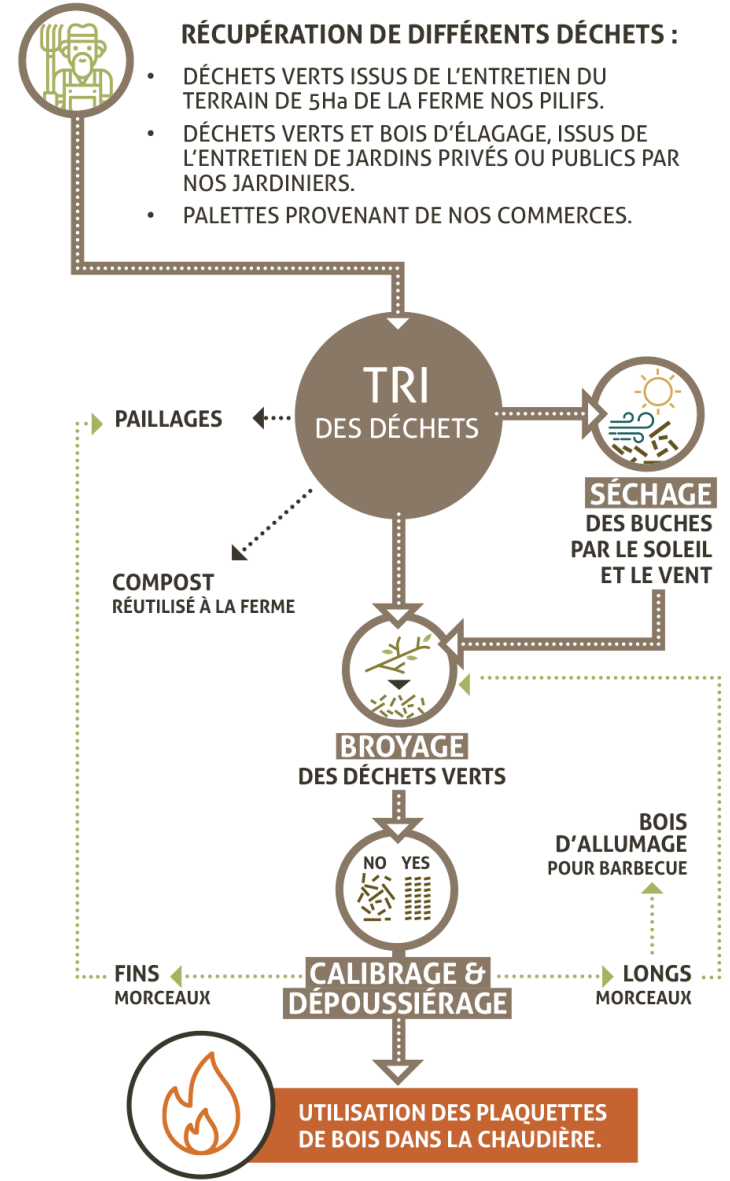
## Ferme Nos Pilifs

- ▶ Plusieurs tonnes de déchets de bois (entretien espaces verts et élagage)
- ▶ ETA (**E**ntreprise **T**ravail **A**dapté)
- ▶ Outils de sensibilisation

## Chaufferie

- ▶ 250 kW
- ▶ 400 m<sup>3</sup> plaquette/an
- ▶ Bâtiment dédié

## TRANSFORMATION DES DÉCHETS



PREAMBULE

PRODUCTION ELECTRICITE

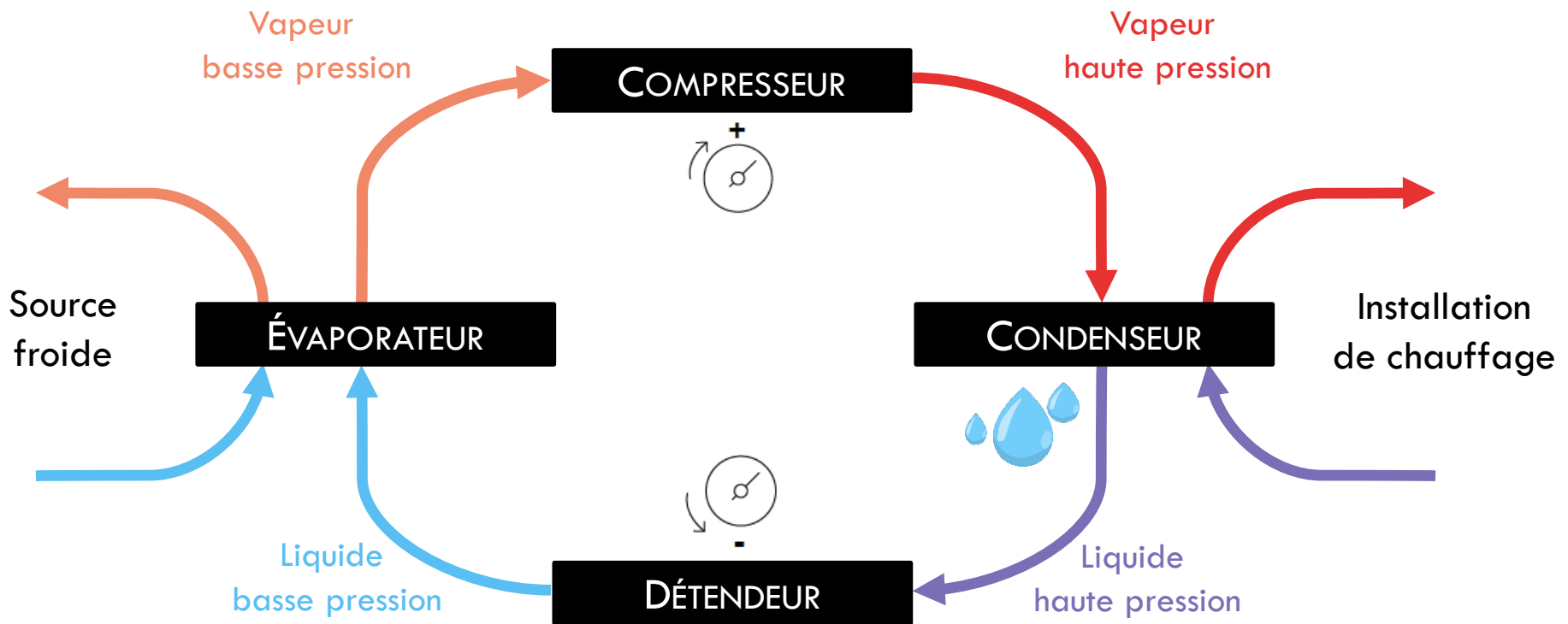
STOCKAGE

## **PRODUCTION CHALEUR**

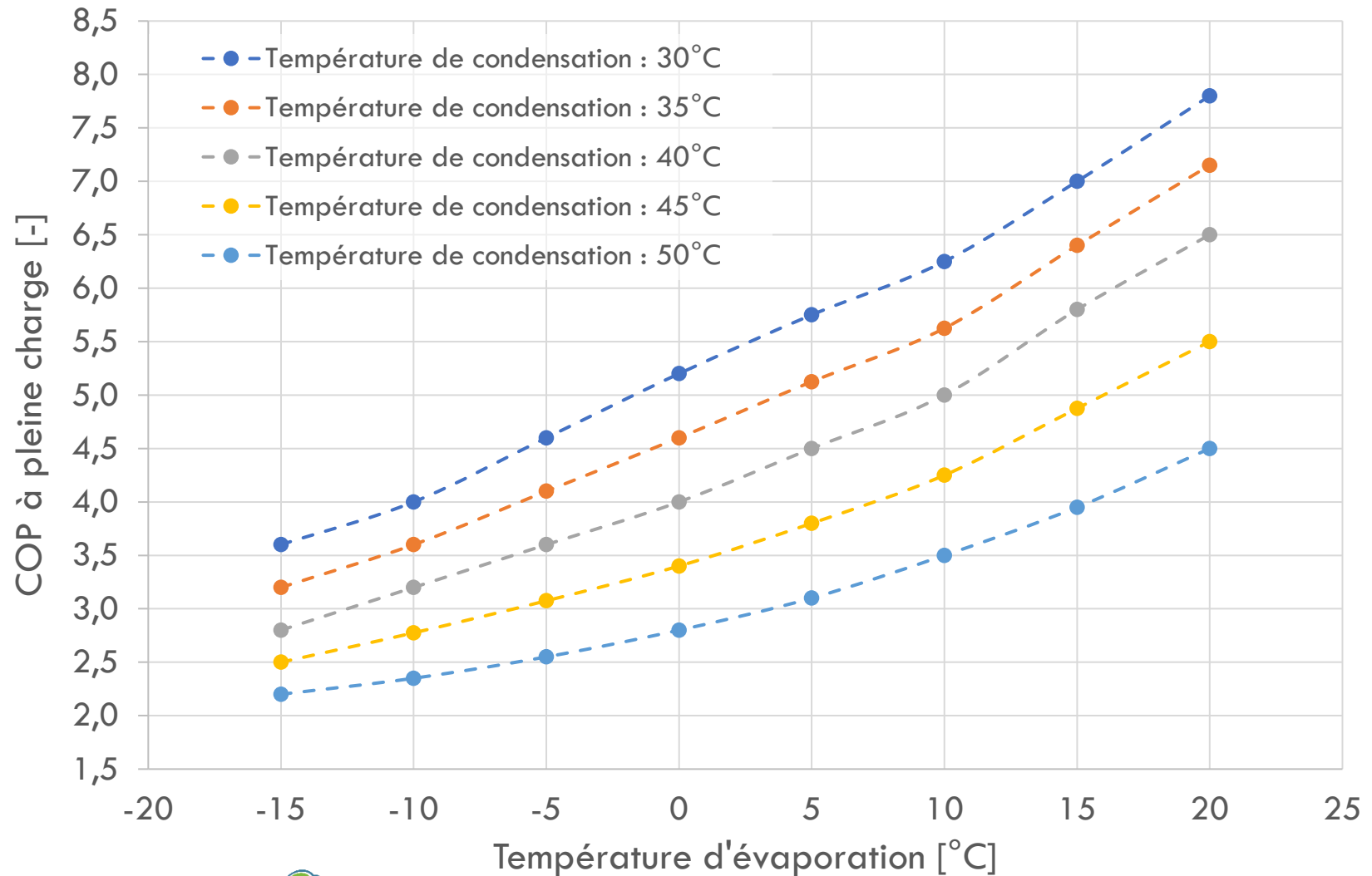
- Solaire thermique
- Biomasse
- **Pompe à chaleur**



## Production



## Rendement



## PAC aérothermique

Version monobloc



Source : Aermec

Version split



Grande puissance (200 kWth)

Source : Aermec

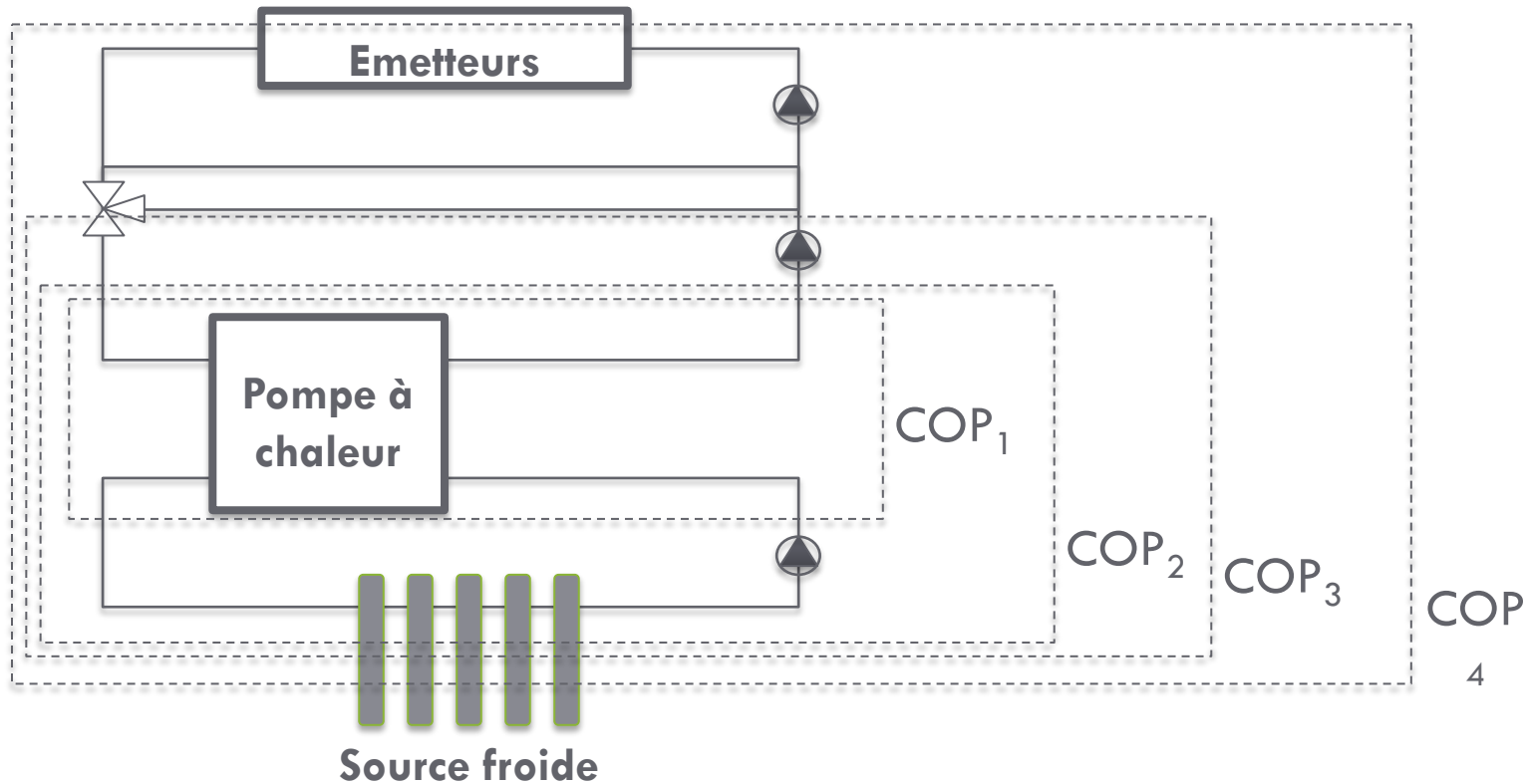


Source : Aermec



## Influence de la régulation

- Régulation optimale fonction du type de système: configuration choisie source froide + pompe à chaleur + source chaude.
- Influence de la régulation des auxiliaires sur la performance globale annuelle de l'installation



## Gaz frigo et réchauffement climatique

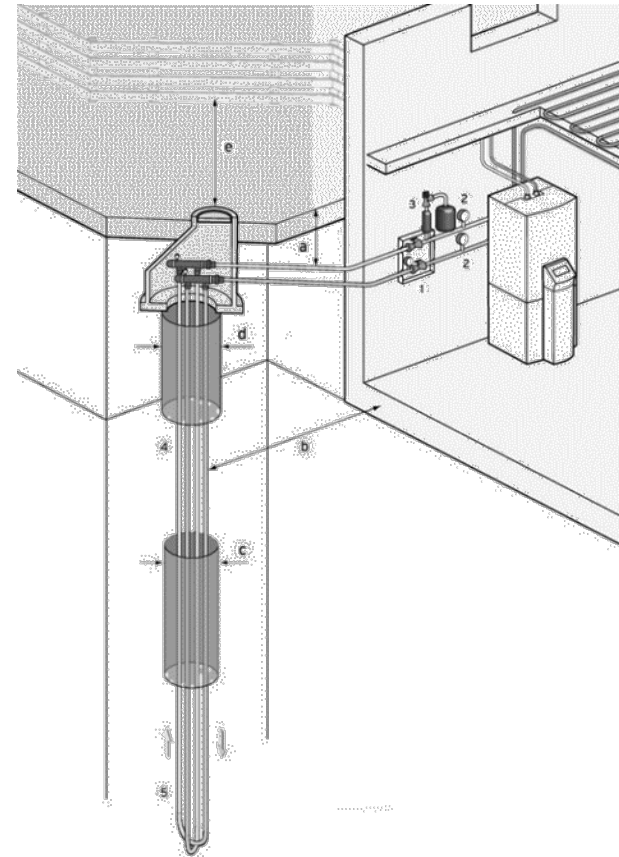
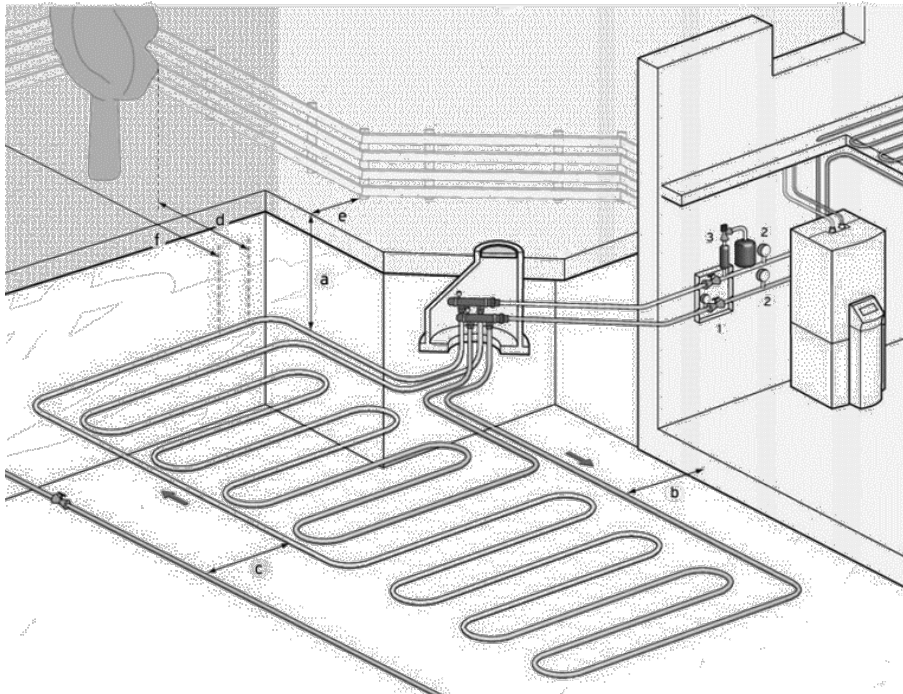
| Gaz             |        | GWP <sub>100</sub> |
|-----------------|--------|--------------------|
| HFC             | R410A  | 2100               |
|                 | R-134a | 1430               |
| Propane         | R290   | 20                 |
| CO <sub>2</sub> | R744   | 1                  |
| Amoniac         | R717   | 0                  |

**Split 8 kW : 3,2 kg R410A**  
**Pertes 30% : 1kg/an : 2.100 kg CO<sub>2</sub>/an : 7.600 kWh électricité**



## PAC géothermique

- ▶ Source froide plus stable et plus chaude
- ▶ Possibilité de geocooling

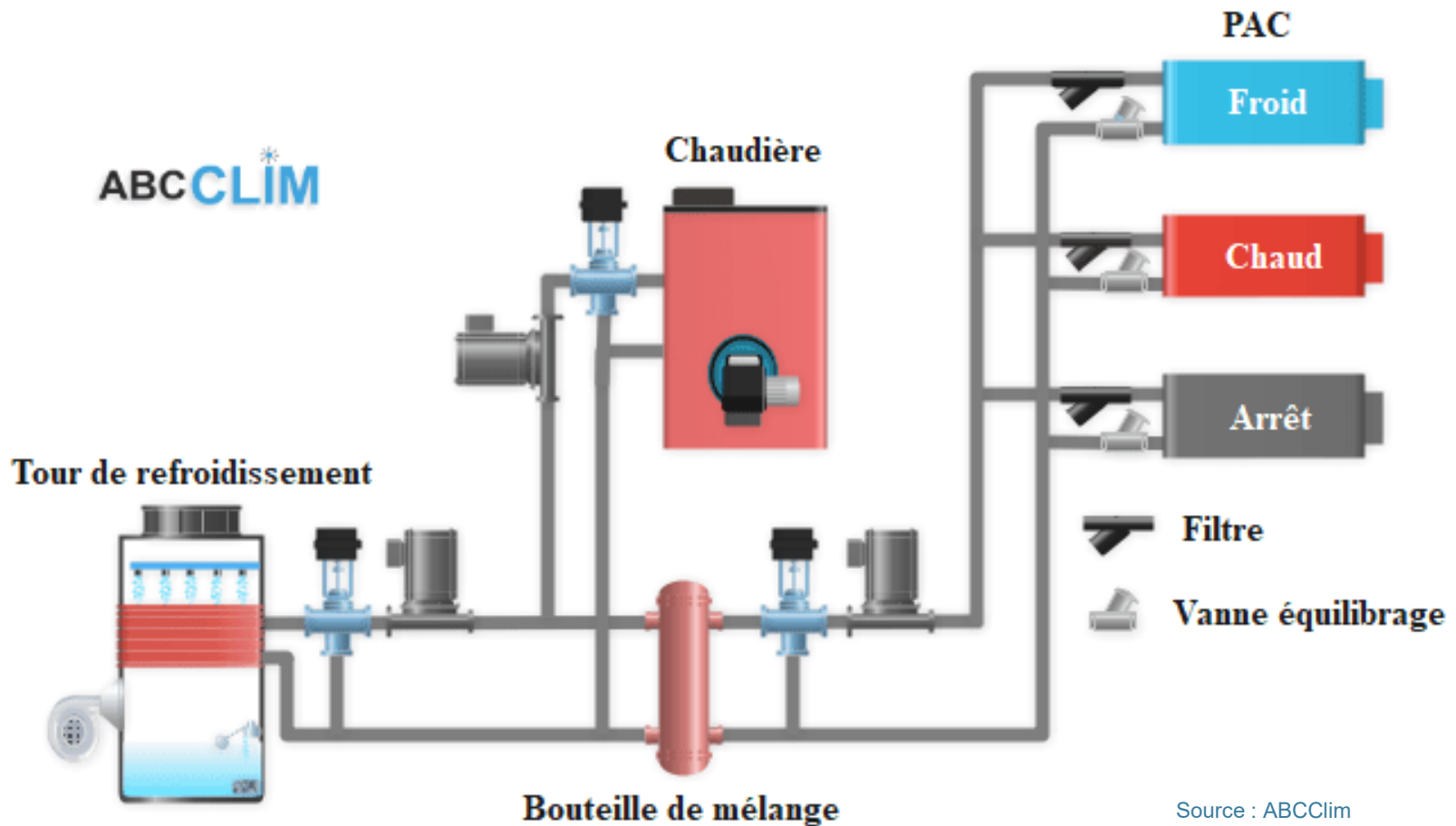


Source : Vaillant



### PAC sur boucle

- Source froide = source chaude autre consommateur
- Intéressant quand besoin simultané de chaud et de froid



Source : ABCClim



## PAC riothermie

- ▶ Exemple : Projet VIVAQUA à Uccle (centre administratif rue de Stalle)
- ▶ échangeurs de chaleur installé lors de la rénovation des égouts



Source : VIVAQUA



**Les régimes de température et la qualité de la régulation font la différence entre :**

- ▶ du quasi chauffage électrique direct (FPS < 1,5)
- ▶ une source de chaleur/fraîcheur renouvelable (FPS > 4)

**Energie renouvelable produite :  $E_{RES} = Q_{utilisable} * (1 - 1/FPS)$**

**PAC = système de production d'énergie renouvelable  
si FPS > 2,36**

FPS = Facteur Performance Saisonnier





- ▶ Une bonne conception passe par une bonne maîtrise des besoins
- ▶ L'intérêt d'une technologie ENR dépend fortement des conditions de fonctionnement : il n'y a pas de solution standard





## Guide bâtiment durable

[www.guidebatimentdurable.brussels](http://www.guidebatimentdurable.brussels)

- Thème | Energie | [Electricité verte](#)  
Dossier | [Produire de l'électricité verte : photovoltaïque et autres](#)  
Solution | [Stockage électrique](#)  
Solution | [Chauffe-eau solaire](#)  
Solution | [Pompe à chaleur](#)



## Sites internet

- La carte solaire de la Région de Bruxelles-Capitale  
<https://geodata.environnement.brussels/client/solar/>
- BRUGEL - Mécanisme des certificats verts  
<https://www.brugel.brussels/themes/energies-renouvelables-11/mecanisme-des-certificats-verts-35>
- Simulateur financier photovoltaïque pour particuliers à Bruxelles  
<http://sifpv-bxl.apere.org/>





## Etudes

- Potentiel éolien à Bruxelles : Etude 2014 VUB-3<sup>E</sup>

[https://environnement.brussels/sites/default/files/user\\_files/rap\\_synthese\\_mesuresvent\\_fr.pdf](https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/rap_synthese_mesuresvent_fr.pdf)



## Formation

- Formations Bâtiment durable

<https://environnement.brussels/thematiques/batiment/les-bonnes-pratiques-pour-construire-et-renover/pour-vous-aider/formations-116>



**David PLUNUS**

Ingénieur projet  
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ [info@ecorce.be](mailto:info@ecorce.be)



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

