

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

ENERGIES
RENOUVELABLES

PRINTEMPS 2023

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

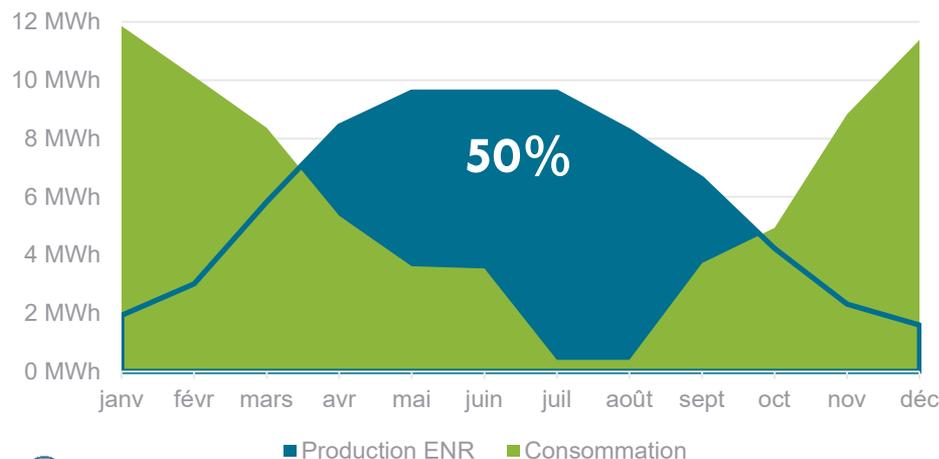


Neutralité carbone en 2050 = recours massif aux Energies Renouvelables (ENR)

- ▶ 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 profil 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

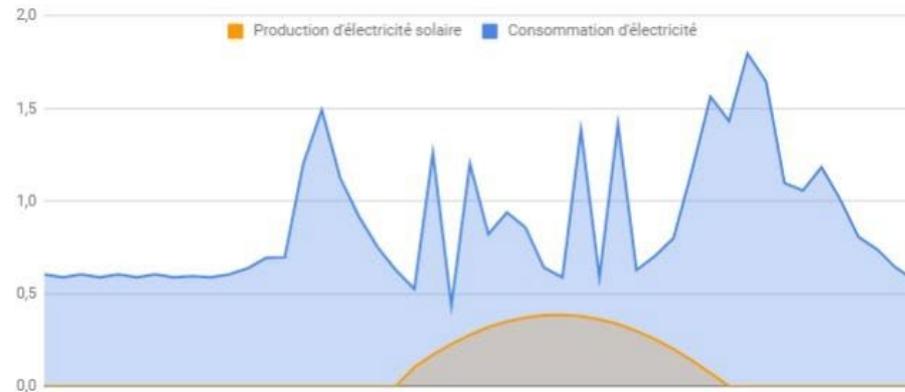


PHOTOVOLTAÏQUE

Production PV

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

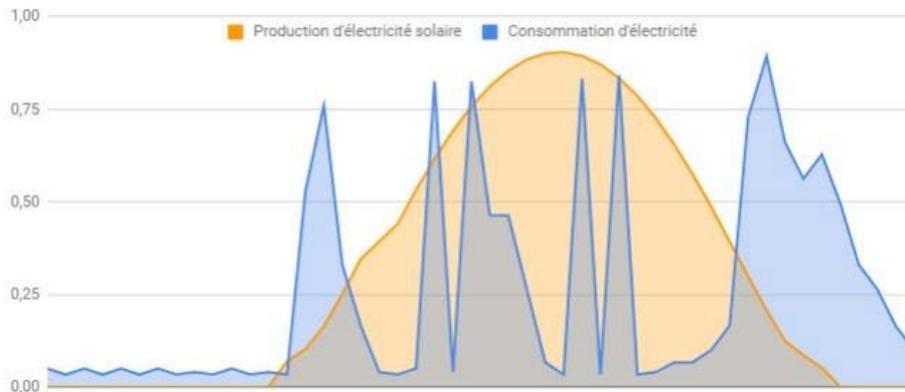
JANVIER



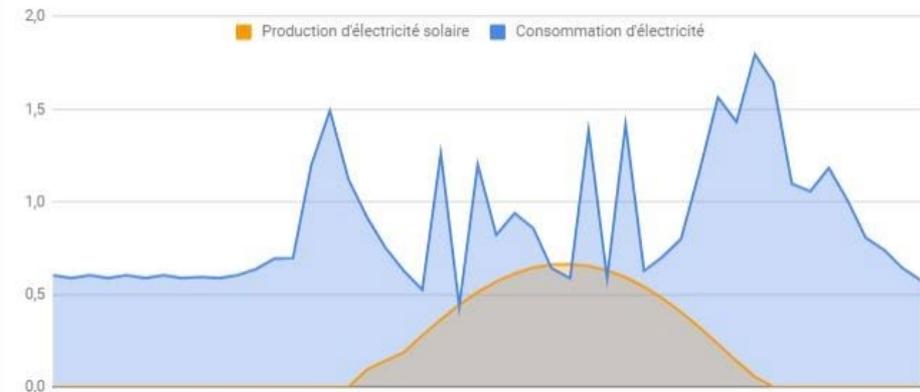
AVRIL



JUILLET



OCTOBRE



Intégration

- ▶ Puissance nominale : 200-250 Wc/m²
- ▶ Géométrie importante (inclinaison, orientation et ombrage)
- ▶ La carte solaire de la Région de Bruxelles-Capitale

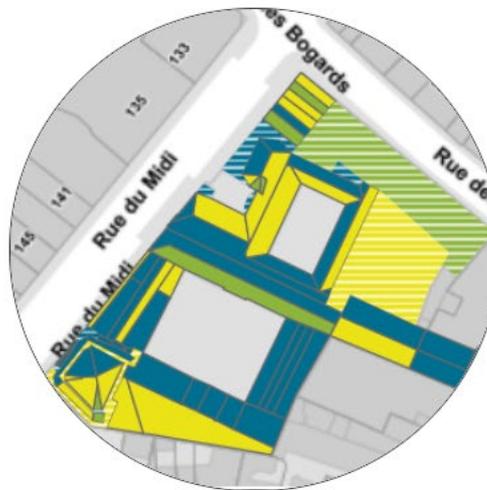


<https://geodata.environnement.brussels/client/solar/>

 geodata.environnement.brussels  > CARTE SOLAIRE



Revenir à la carte



Surface totale de toiture traitée
12 001 m²



■ Excellent potentiel 2 258 m²
■ Bon potentiel 4 624 m²
■ Faible potentiel (exclu du calcul) 5 119 m²



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 m² Excellent potentiel
- 2312 m² Bon potentiel
- 2559 m² Faible potentiel (exclu du calcul)

Ma toiture

6 000 m ²	Surface totale
1 092 m ²	Obstacles estimés
2 815 m ²	Surface utilisable

Mon énergie

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

Mon installation

48	Nombre de panneaux
	Monocristallin
77 m ²	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

Taux de base			1	1,81
Photovoltaïque	kWc	≤ 5	1,485	2,7
]5-36]	1,375	2,5
]36-100]	1,155	2,1
]100-250]	0,990	1,8
		> 250	0,825	1,5
	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



BIPV

- ▶ Puissance nominale : 80-200 Wc/m²
- ▶ 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



SOURCE : ISSOL



PREAMBULE

PRODUCTION ELECTRICITE

- ▶ Photovoltaïque
- ▶ **Eolien**
- ▶ Hydraulique

STOCKAGE

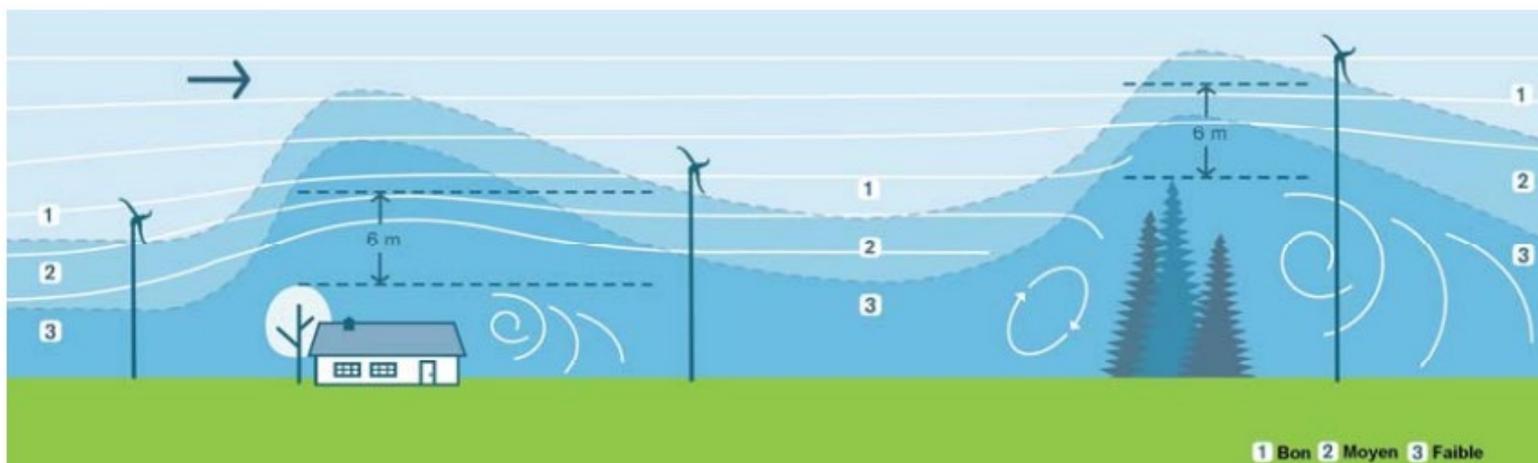
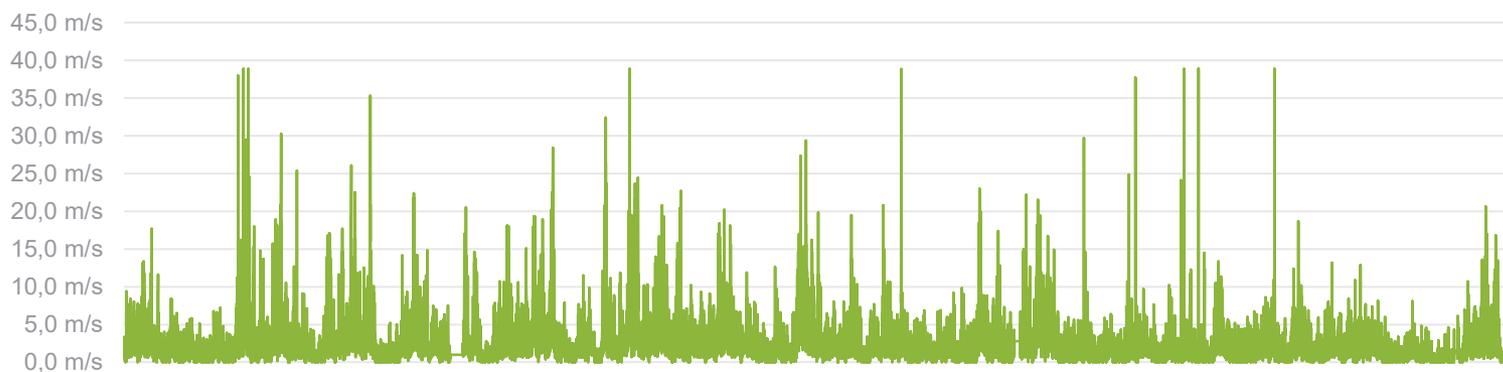
PRODUCTION CHALEUR



Production

- ▶ Variabilité météorologique et turbulences
- ▶ Etude de vent

Vitesse du vent



source : Compagnons Ecole 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



EOX M-26

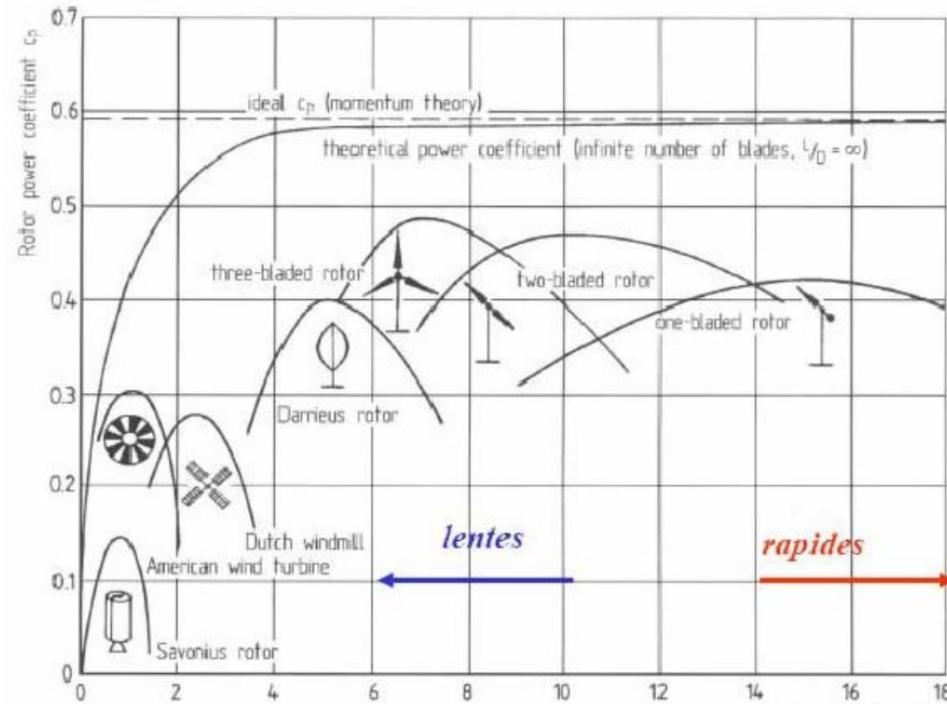
AVERAGE WIND SPEED (M/S)	GROSS OUTPUT (KWH/YEAR)
4.0	126,2
4.5	170,3
5.0	216,4
5.5	262,1
6.0	305,9
6.5	346,7
7.0	383,9
7.5	417,0

SOURCE : ENERSOL



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**

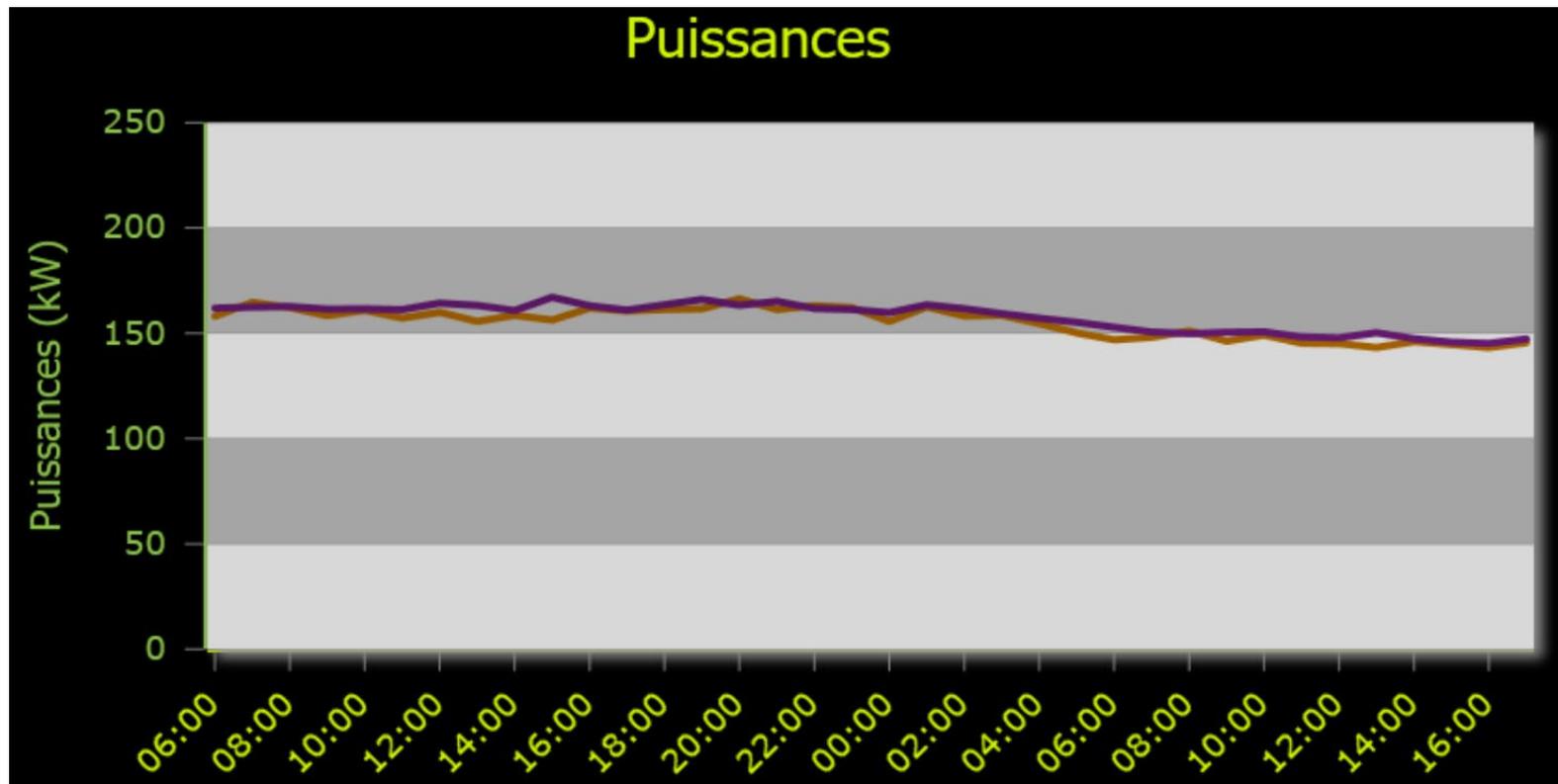
STOCKAGE

PRODUCTION CHALEUR



Production

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



PREAMBULE

PRODUCTION ELECTRICITE

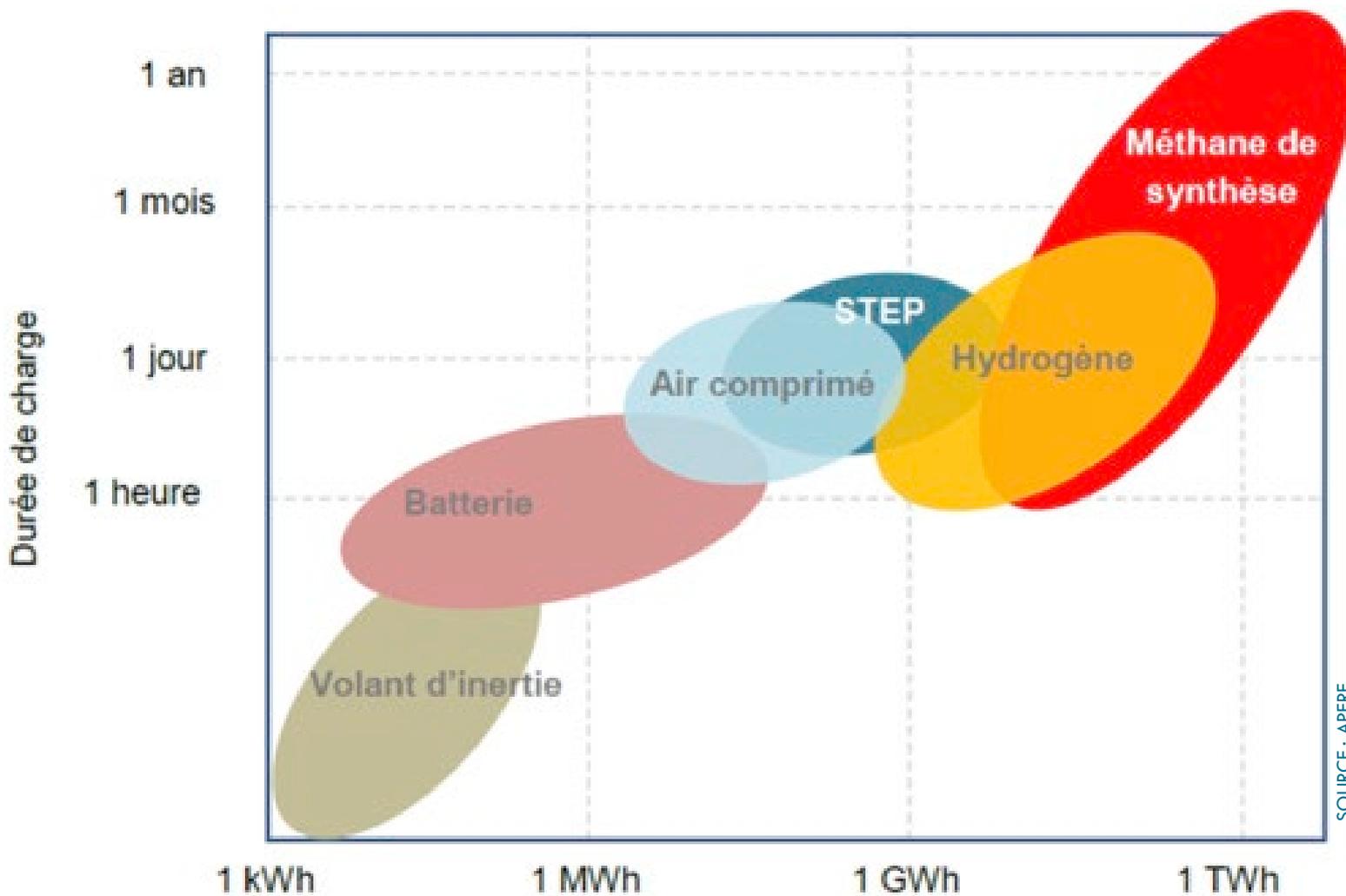
STOCKAGE ELECTRICITE

PRODUCTION CHALEUR

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



Technologie



SOURCE : APERE



Intégration Li-ion

- ▶ 1 journée consommation domestique = 10 kWh
 - = 50 à 100 kg
 - = 0,1 m³



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



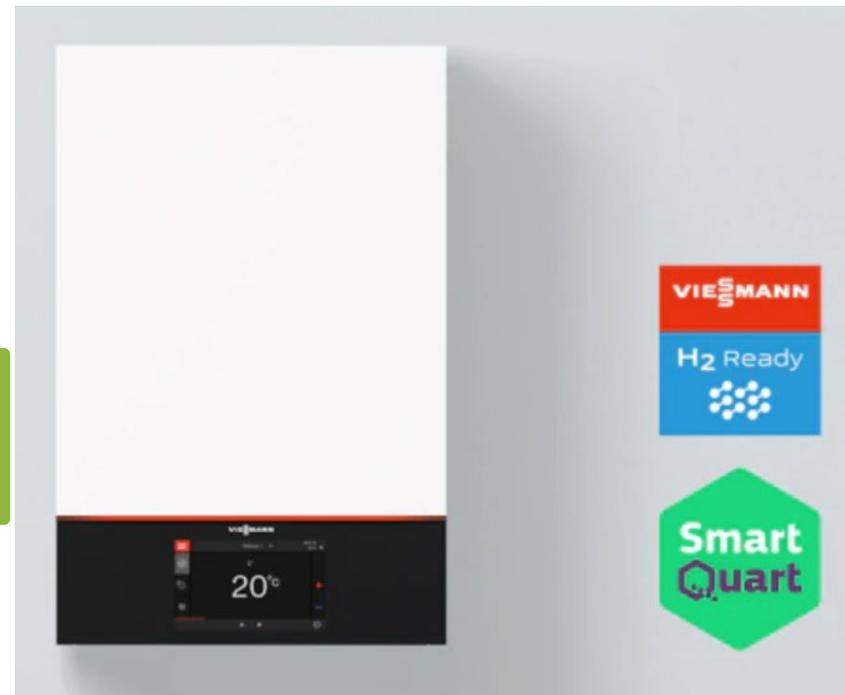
Hydrogène

- ▶ rendement électrolyse de l'eau = 40 %
- ▶ Stockage à 350/700 bars ou liquéfié à -253°C
- ▶ Rendement pile à combustible = 50 %

- ▶ 1 journée consommation domestique = 10 kWh =
 - 1/3 kg
 - 16 dm³ à 350 bars

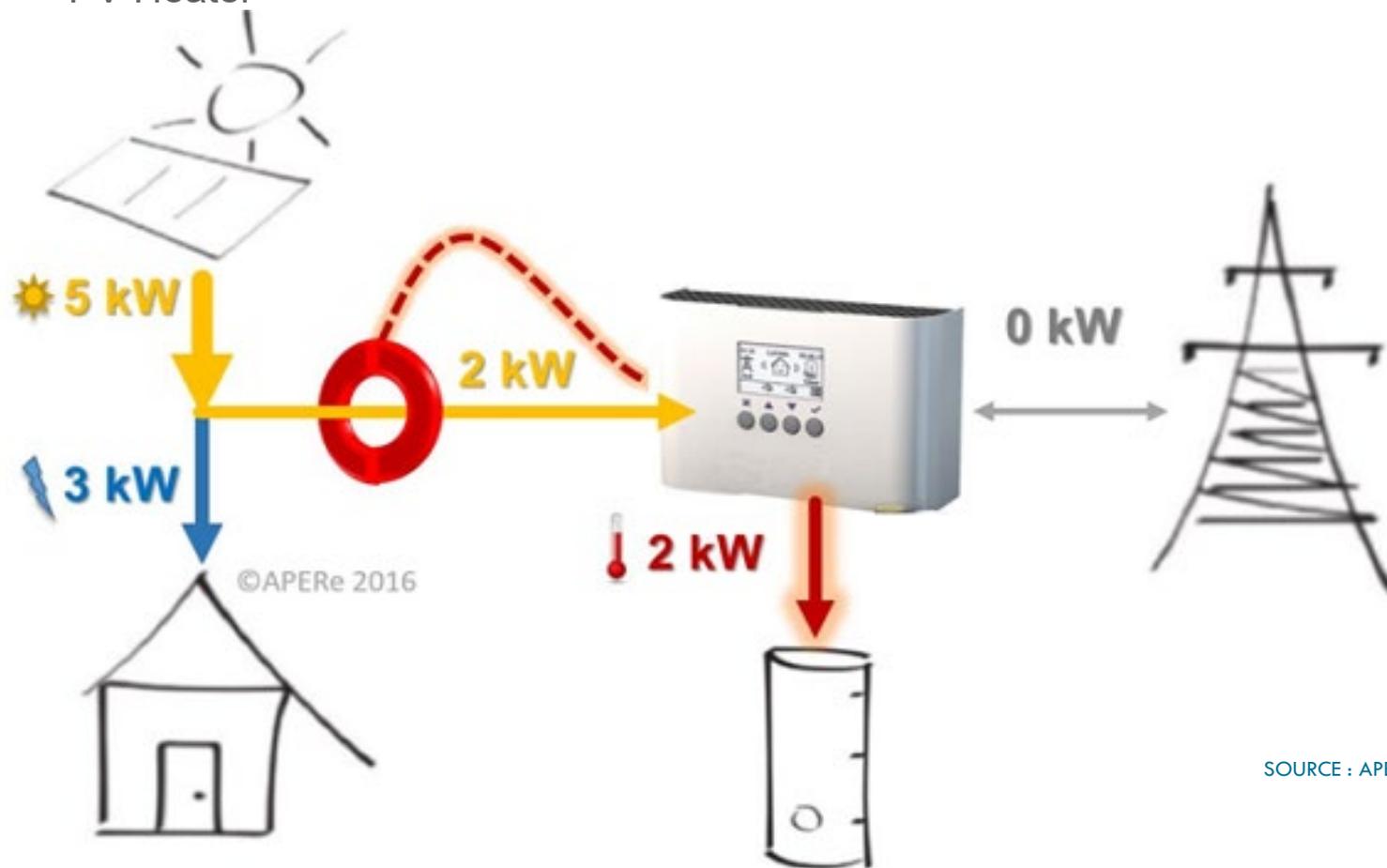
- ▶ Chaudière à condensation H2 ready jusqu'à 30% H₂

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

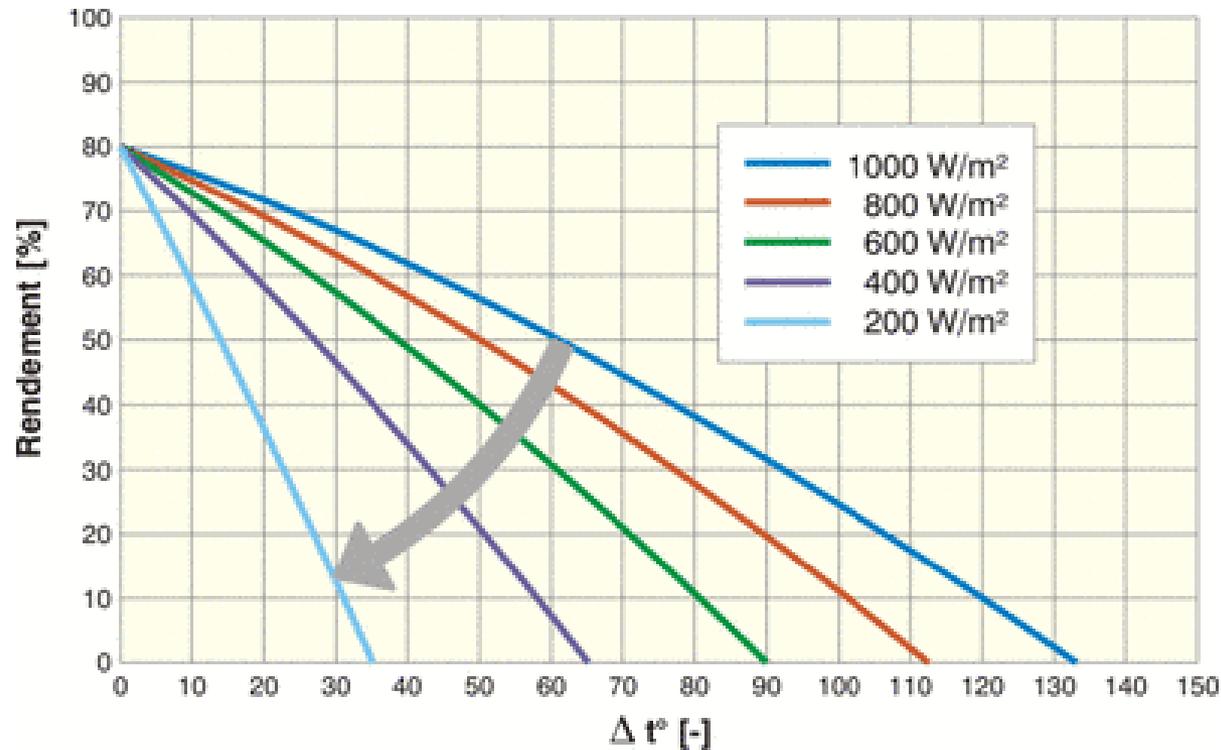
PRODUCTION CHALEUR

- ▶ **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+



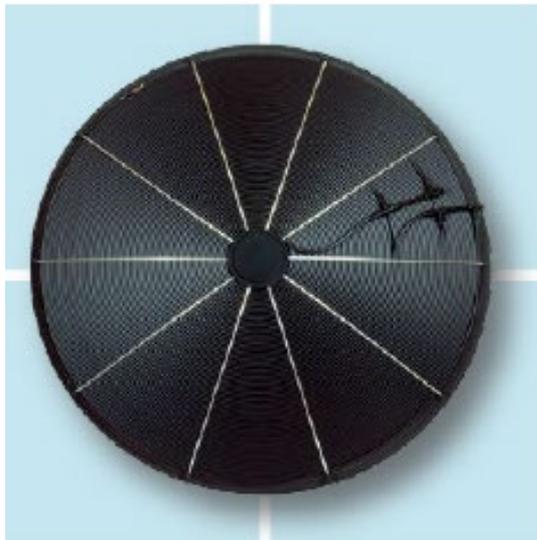
Intégration

- ▶ 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 : ±53 kg

Poids en pleine charge : ±80kg

Puissance maximale : 2 840 W*

Période de garantie : 10 ans

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

→ 685 W/m² (26/28/28)



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



Saint-Vith

- ▶ Commune forestière (41,5% territoire) – 66 hab./km²
- ▶ Potentiel bois d'industrie = 11.500 MWh/an
- ▶ Consommation mazout chauffage : 126.000 MWh/an



Ferme Nos Pilifs

- ▶ Plusieurs tonnes de déchets de bois (entretien espaces verts et élagage)
- ▶ ETA (Entreprise Travail Adapté)
- ▶ Outils de sensibilisation

Chaufferie

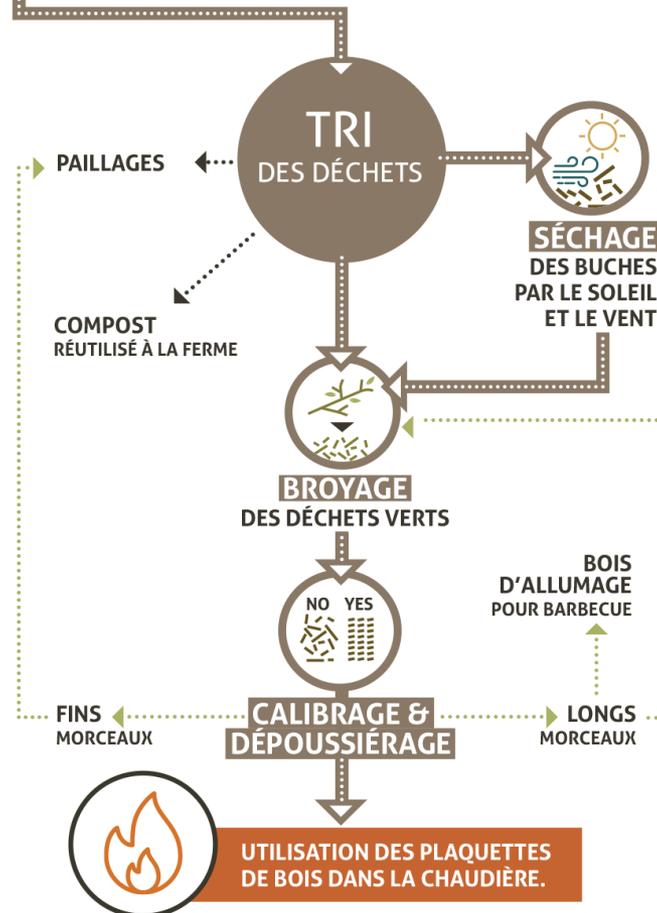
- ▶ 250 kW
- ▶ 400 m³ plaquette/an
- ▶ Bâtiment dédié

TRANSFORMATION DES DÉCHETS



RÉCUPÉRATION DE DIFFÉRENTS DÉCHETS :

- DÉCHETS VERTS ISSUS DE L'ENTRETIEN DU TERRAIN DE 5Ha DE LA FERME NOS PILIFS.
- DÉCHETS VERTS ET BOIS D'ÉLAGAGE, ISSUS DE L'ENTRETIEN DE JARDINS PRIVÉS OU PUBLICS PAR NOS JARDINIERS.
- PALETTES PROVENANT DE NOS COMMERCES.



PREAMBULE

PRODUCTION ELECTRICITE

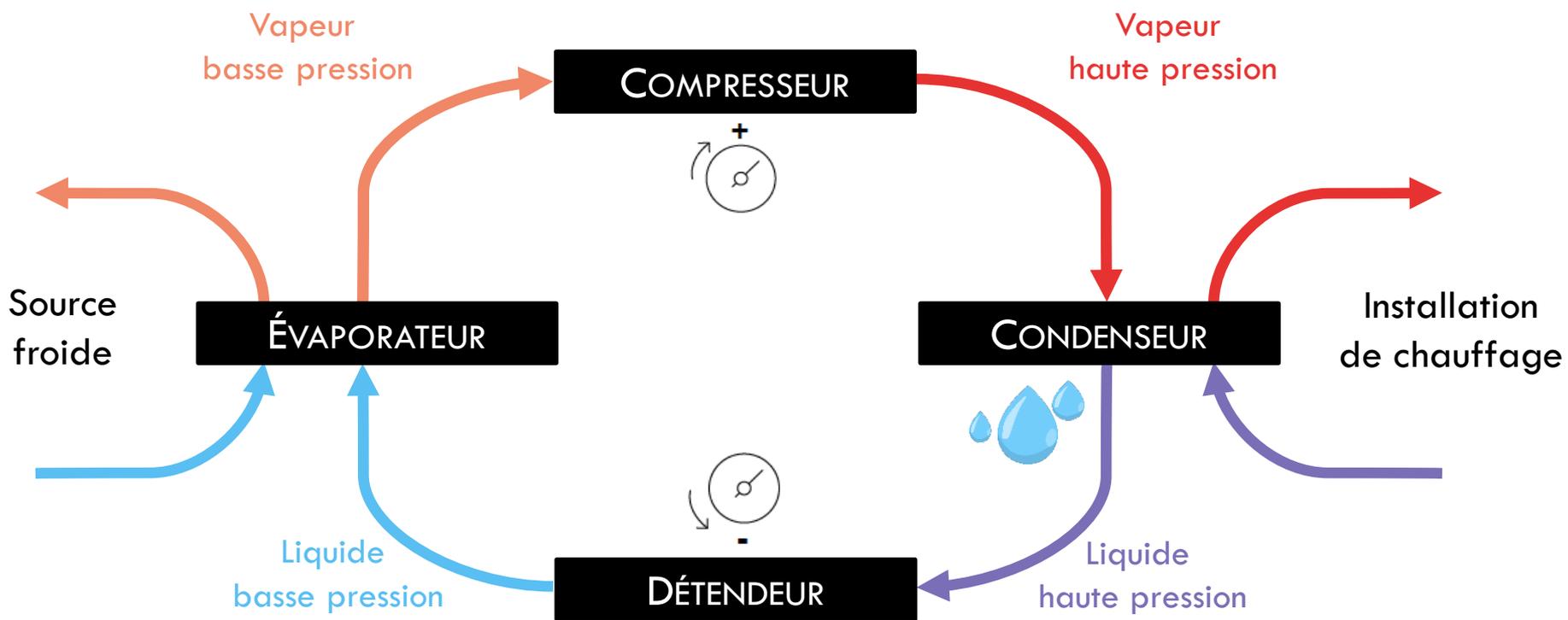
STOCKAGE

PRODUCTION CHALEUR

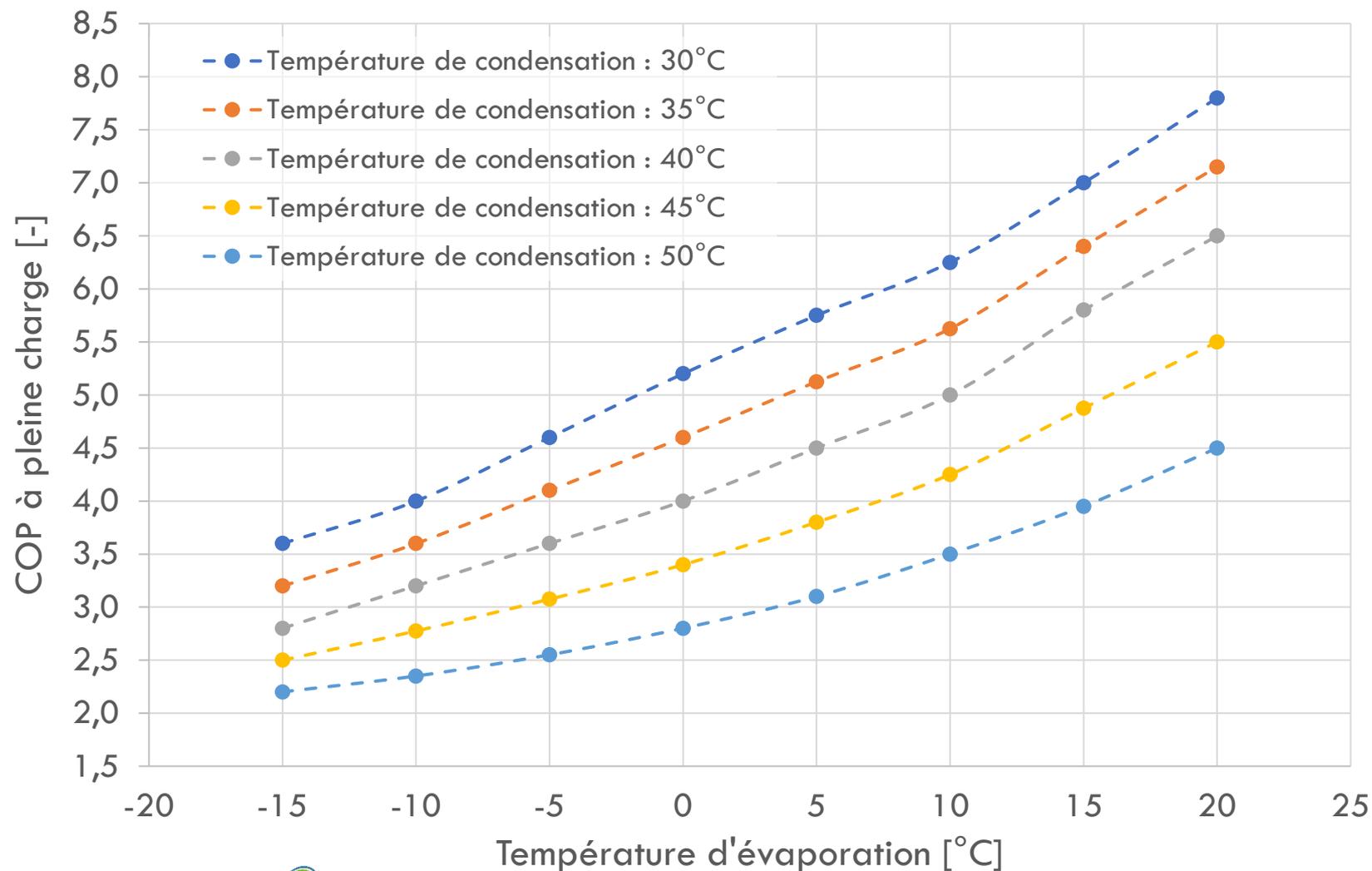
- ▶ Solaire thermique
- ▶ Biomasse
- ▶ **Pompe à chaleur**



Production



Rendement



PAC aérothermique

Version monobloc



Source / Bron : Aermec

Version split



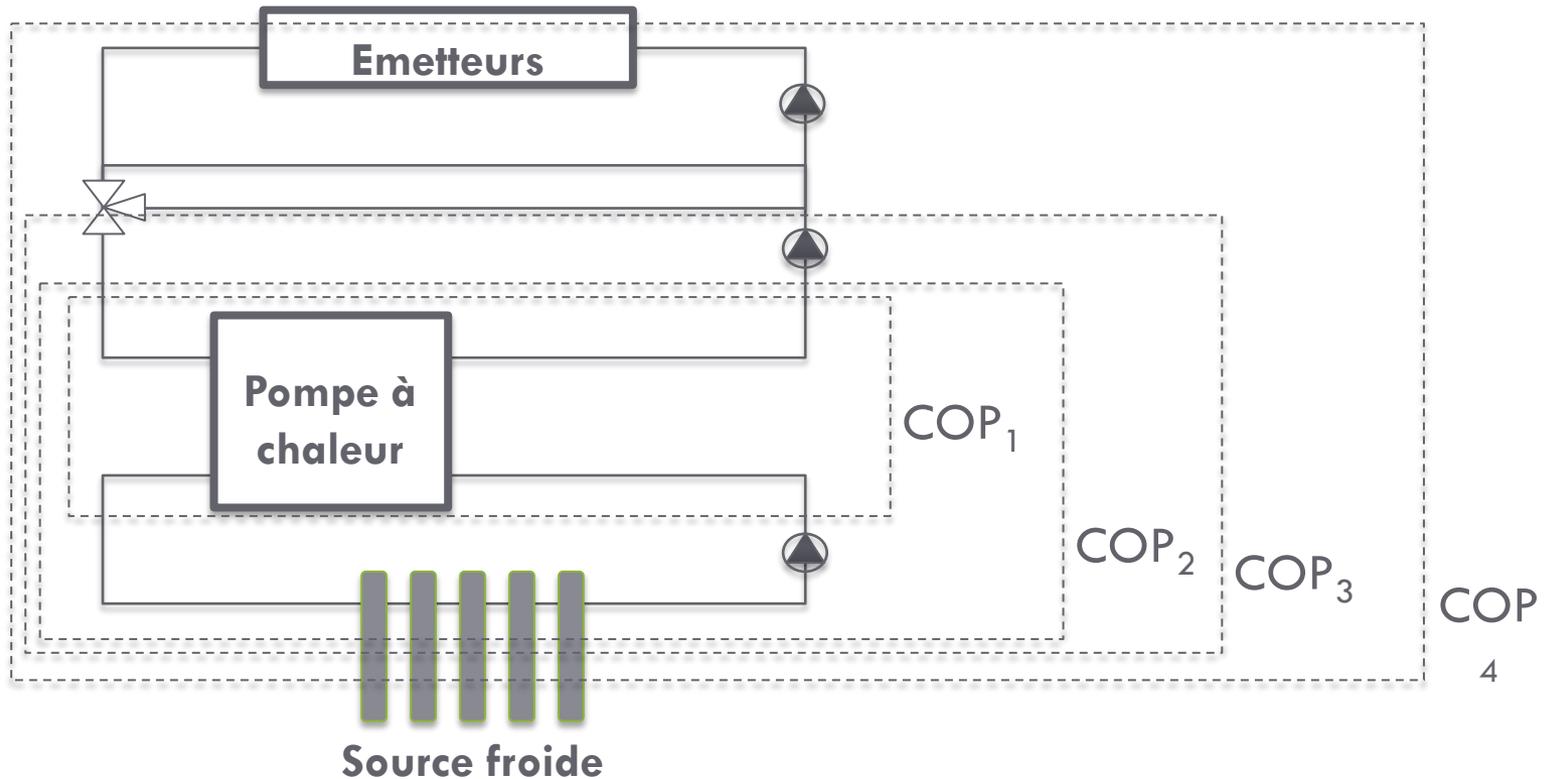
Grande puissance (200 kWth)

Source / Bron : 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

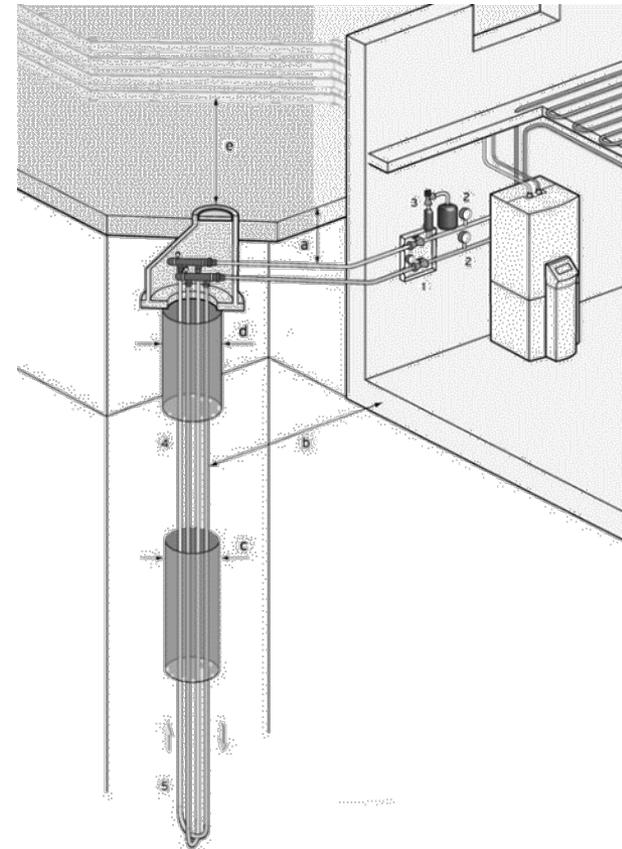
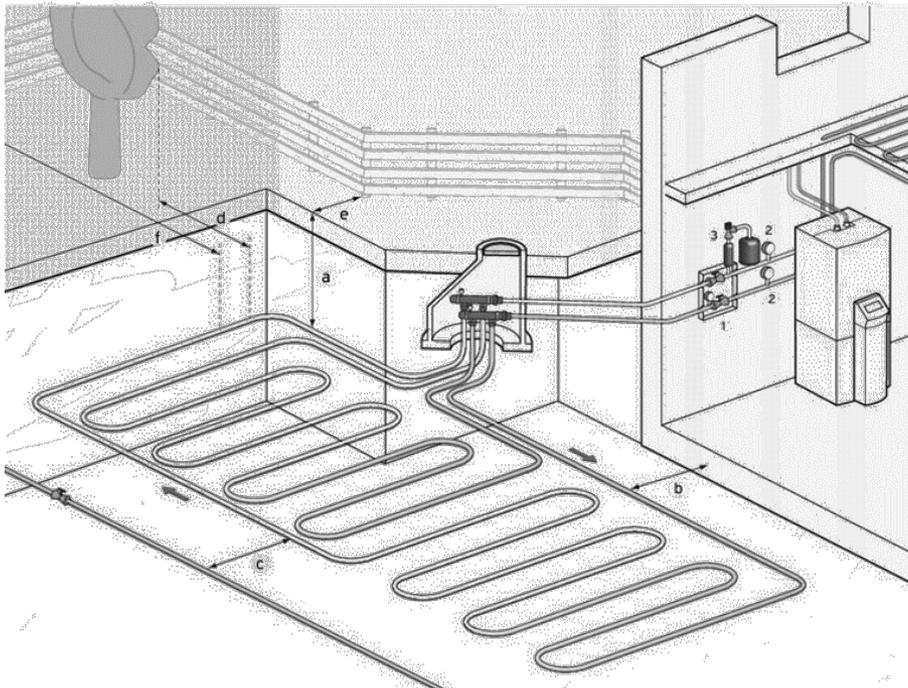
Gaz		GWP ₁₀₀
HFC	R410A	2100
	R-134a	1430
Propane	R290	20
CO ₂	R744	1
Amoniac	R717	0

Split 8 kW : 3,2 kg R410A
Pertes 30% : 1kg/an : 2.100 kg CO₂/an : 7.600 kWh électricité



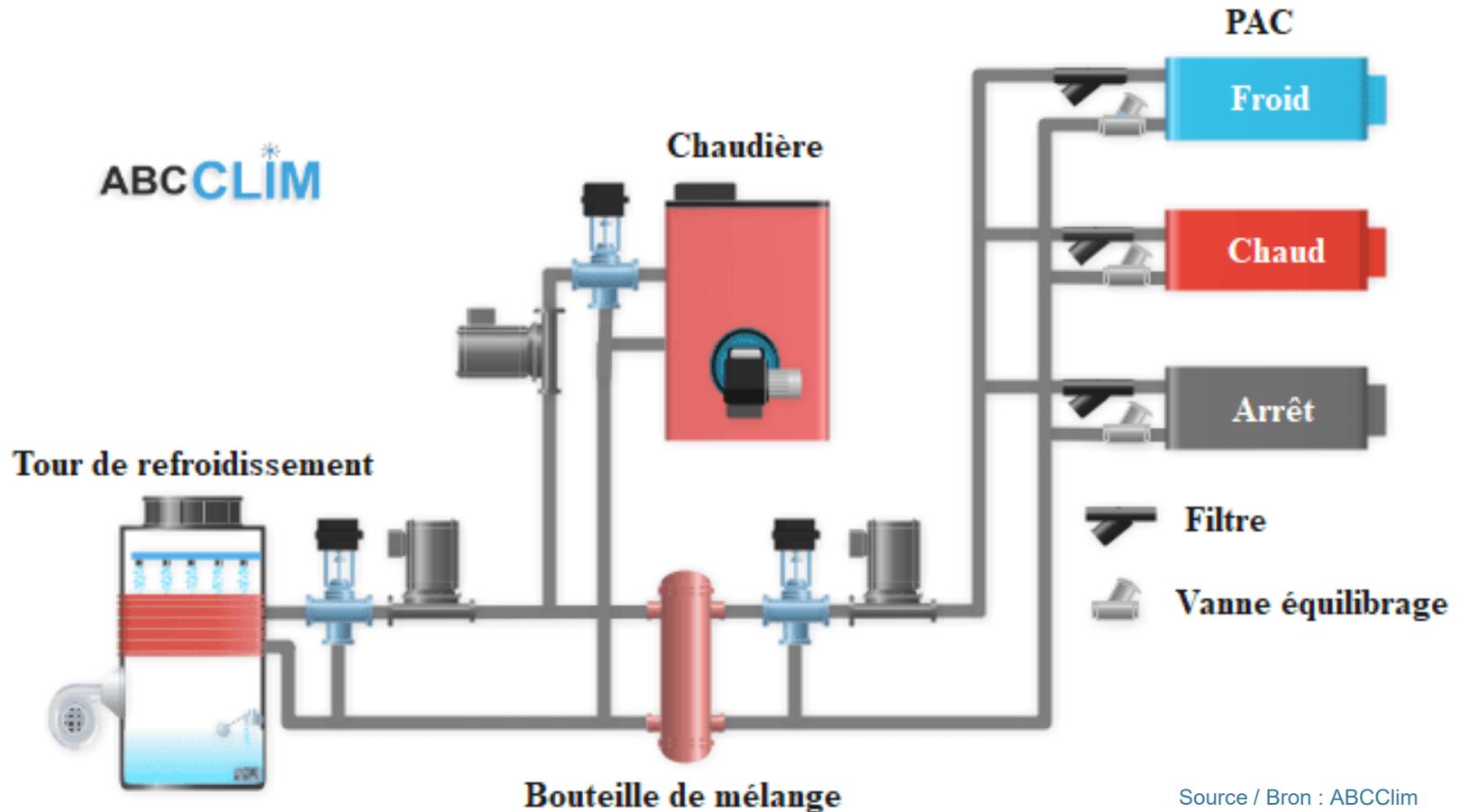
PAC géothermique

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



PAC sur boucle

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



PAC riothermie

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



Source / Bron : 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

- ▶ 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^E

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

éCORCE
INGÉNIERIE & CONSULTANCE



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

