

Les chaudières biomasse dans la transition énergétique

Prof. dr ir. Jean-Marie HAUGLUSTAINE,
Chargé de cours honoraire ULiège – EnergySuD

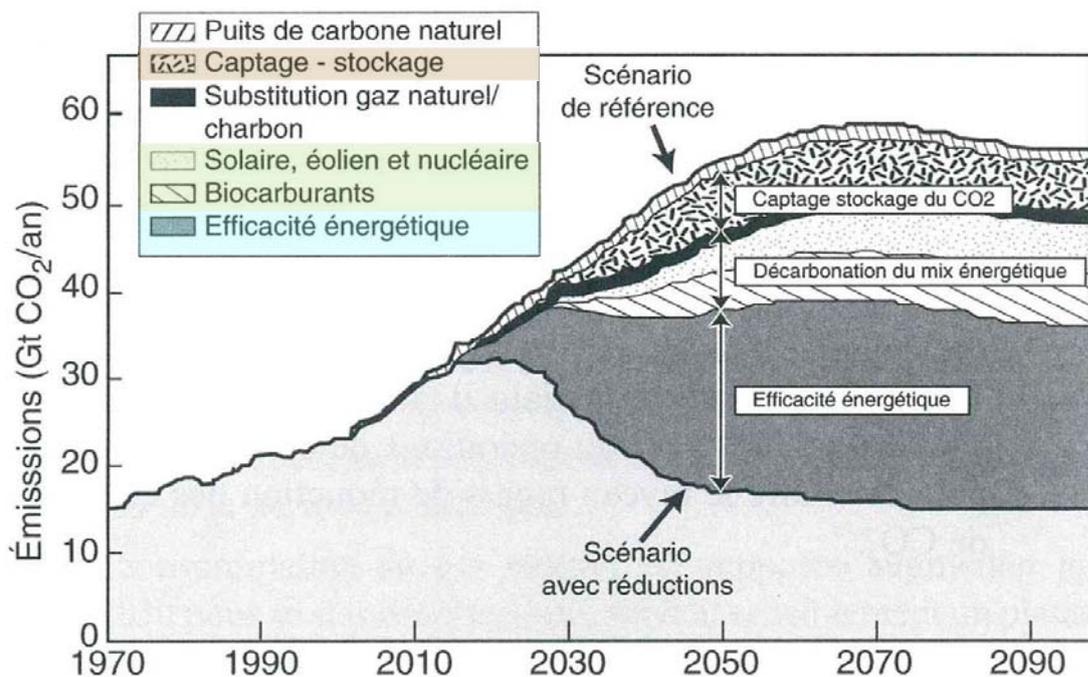
Clavier, 23/10/2023

Sommaire

- ▷ Enjeux planétaires : en quoi le bâti est-il concerné ?
- ▷ La stratégie de rénovation énergétique en Wallonie
- ▷ Bilan énergétique d'un bâtiment : rappel
- ▷ Chaudières au bois/biomasse
- ▷ Pompes à chaleur
- ▷ Apport solaire photovoltaïque
- ▷ Récapitulation



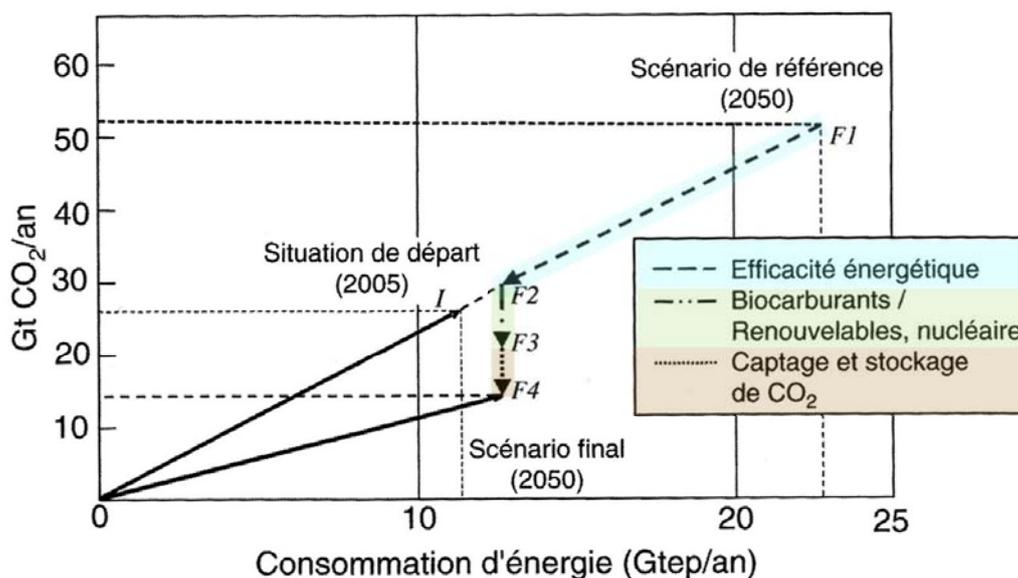
Que faire pour réduire les émissions de CO₂ ?



Source : ROJÉY A., *Energie & Climat – Réussir la transition énergétique*, Editions Technip, 219 p., 2008



Que faire pour réduire les émissions de CO₂ ?



Source : ROJÉY Alexandre, *Energie et climat – Réussir la transition énergétique*, Editions TECHNIP, 218 p., 2008, p185

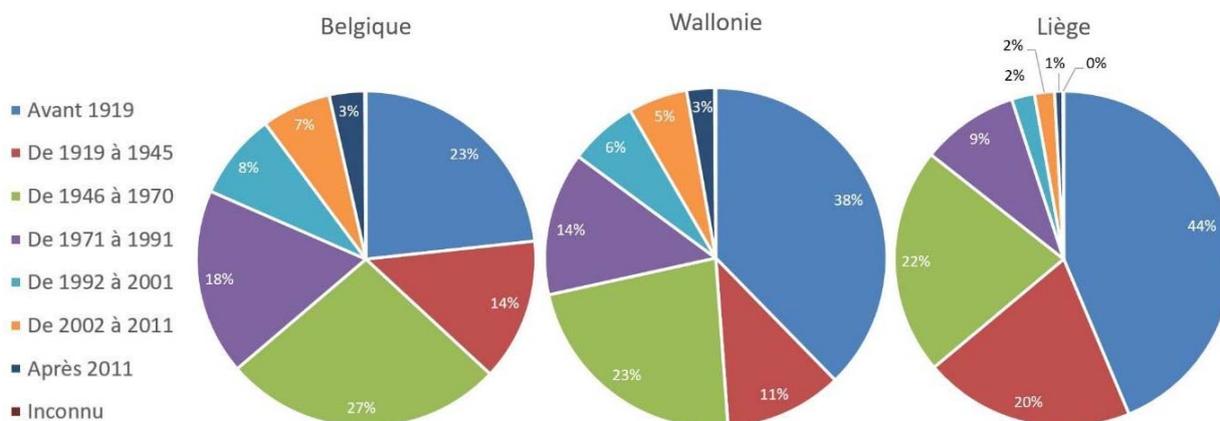
Figure 9.2 : Scénario d'évolution de la demande mondiale d'énergie et des émissions de CO₂ à l'horizon 2050



Sommaire

- ▷ Enjeux planétaires : en quoi le bâti est-il concerné ?
- ▷ La stratégie de rénovation énergétique en Wallonie
- ▷ Bilan énergétique d'un bâtiment : rappel
- ▷ Chaudières au bois/biomasse
- ▷ Pompes à chaleur
- ▷ Apport solaire photovoltaïque
- ▷ Récapitulation

Le parc résidentiel belge, wallon et liégeois : âge des logements



Répartition des bâtiments résidentiels en Belgique, Wallonie et à Liège, selon leur période de construction (données 2018)

Source : MONFILS S., HAUGLUSTAINÉ J.-M. (2019), *Feuille de route – Pour une rénovation durable, ambitieuse et efficace des copropriétés*, Projet InterReg North-West Europe "Accelerating Condominium Energy Retrofitting", page 10

Parc résidentiel wallon : présence d'isolation thermique dans les toitures (2012)

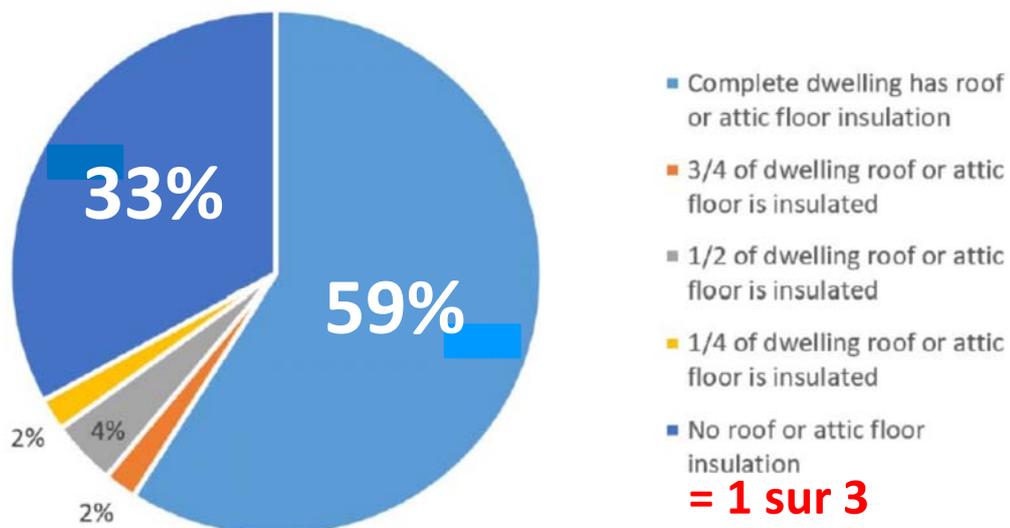
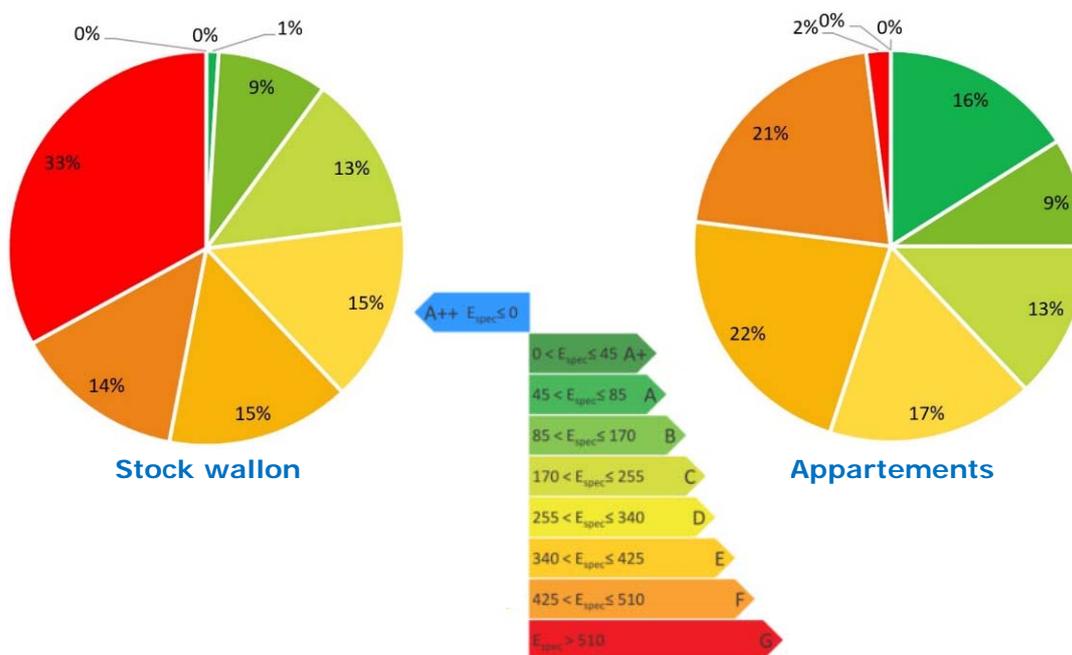


Fig.2.2.28 Presence of roof or attic floor insulation in Walloon dwellings: repartition of survey results

Source : EUROSTAT, 2012. *Energy Consumption Survey for Belgian Households*, SPF Economie



Classes énergétiques du stock résidentiel wallon (2015)



Source : EPBD Concerted Action, 2015. *Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), Featuring Country reports (2016)*, EU Publications Office, <https://www.epbd-ca.eu/>



Sommaire

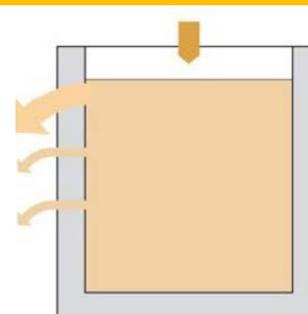
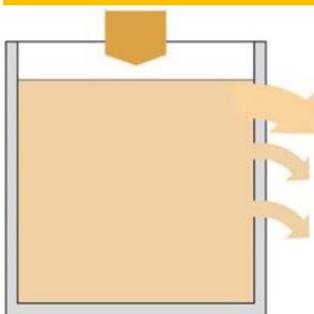
- ▷ Enjeux planétaires : en quoi le bâti est-il concerné ?
- ▷ La stratégie de rénovation énergétique en Wallonie
- ▷ Bilan énergétique d'un bâtiment : rappel
- ▷ Chaudières au bois/biomasse
- ▷ Pompes à chaleur
- ▷ Apport solaire photovoltaïque
- ▷ Récapitulation

Investir dans l'enveloppe ou dans les systèmes ?

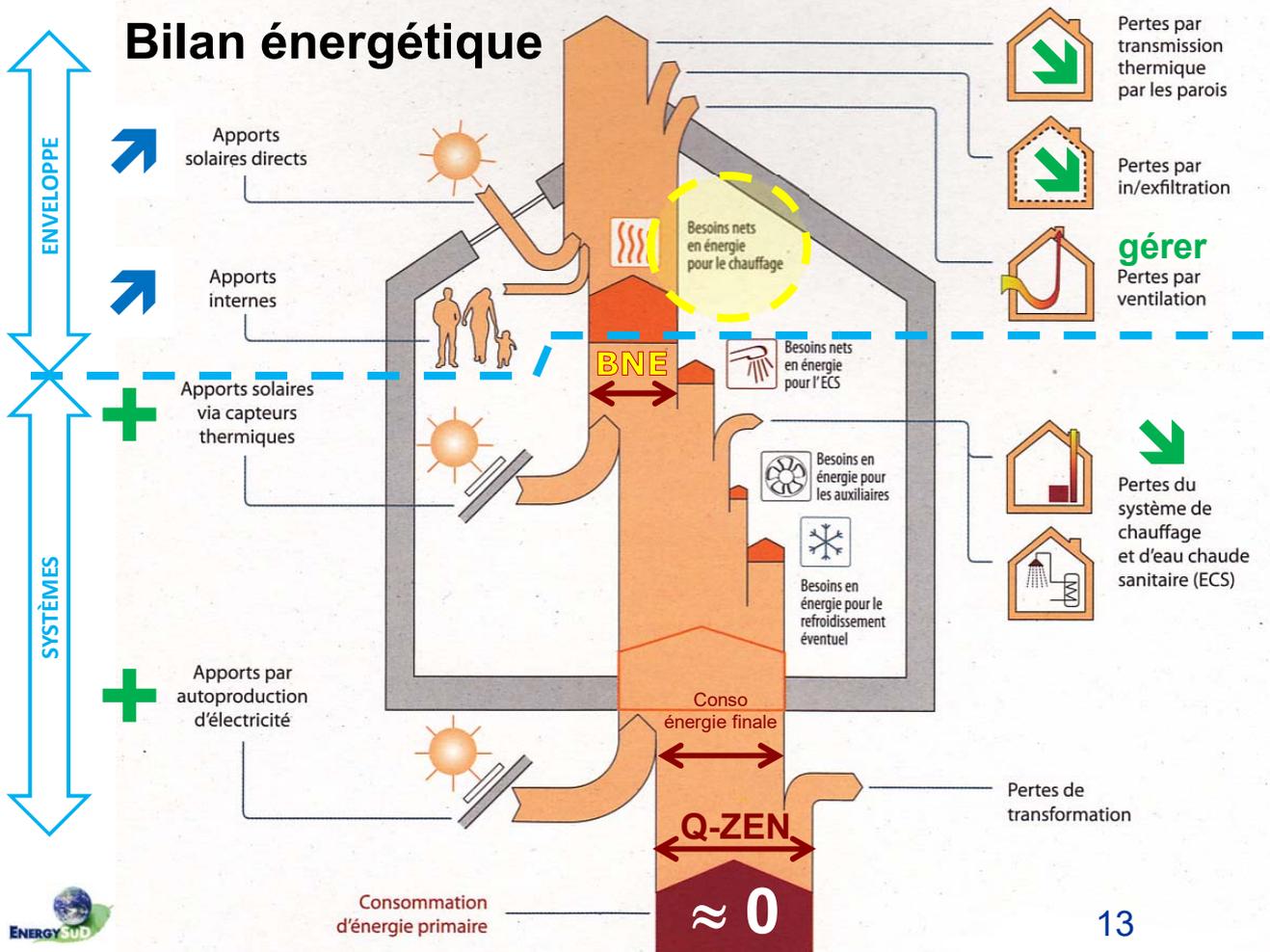


Besoins nets de chauffage

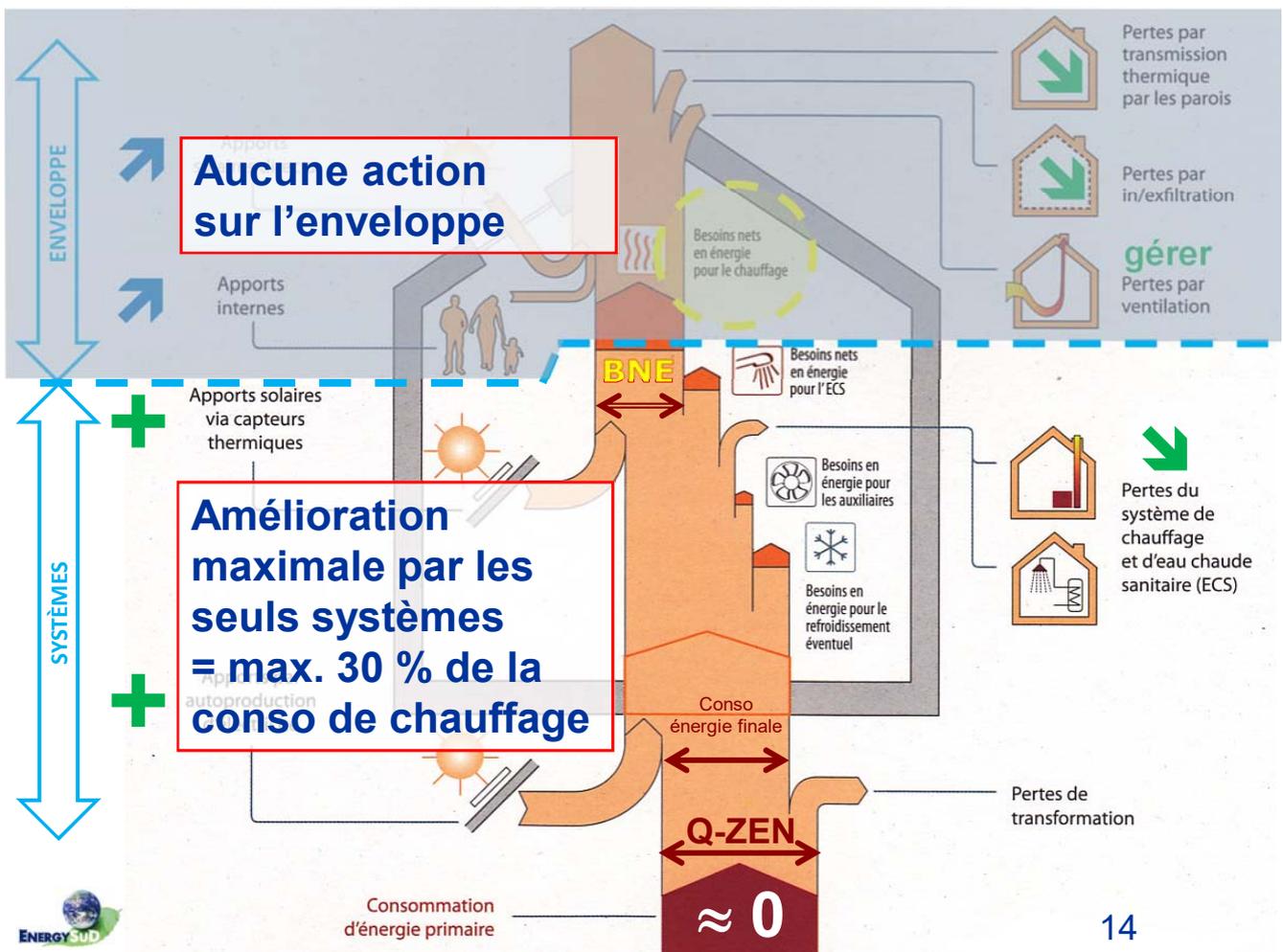
Pour un confort thermique constant, il faut compenser les pertes de chaleur par des apports équivalents.



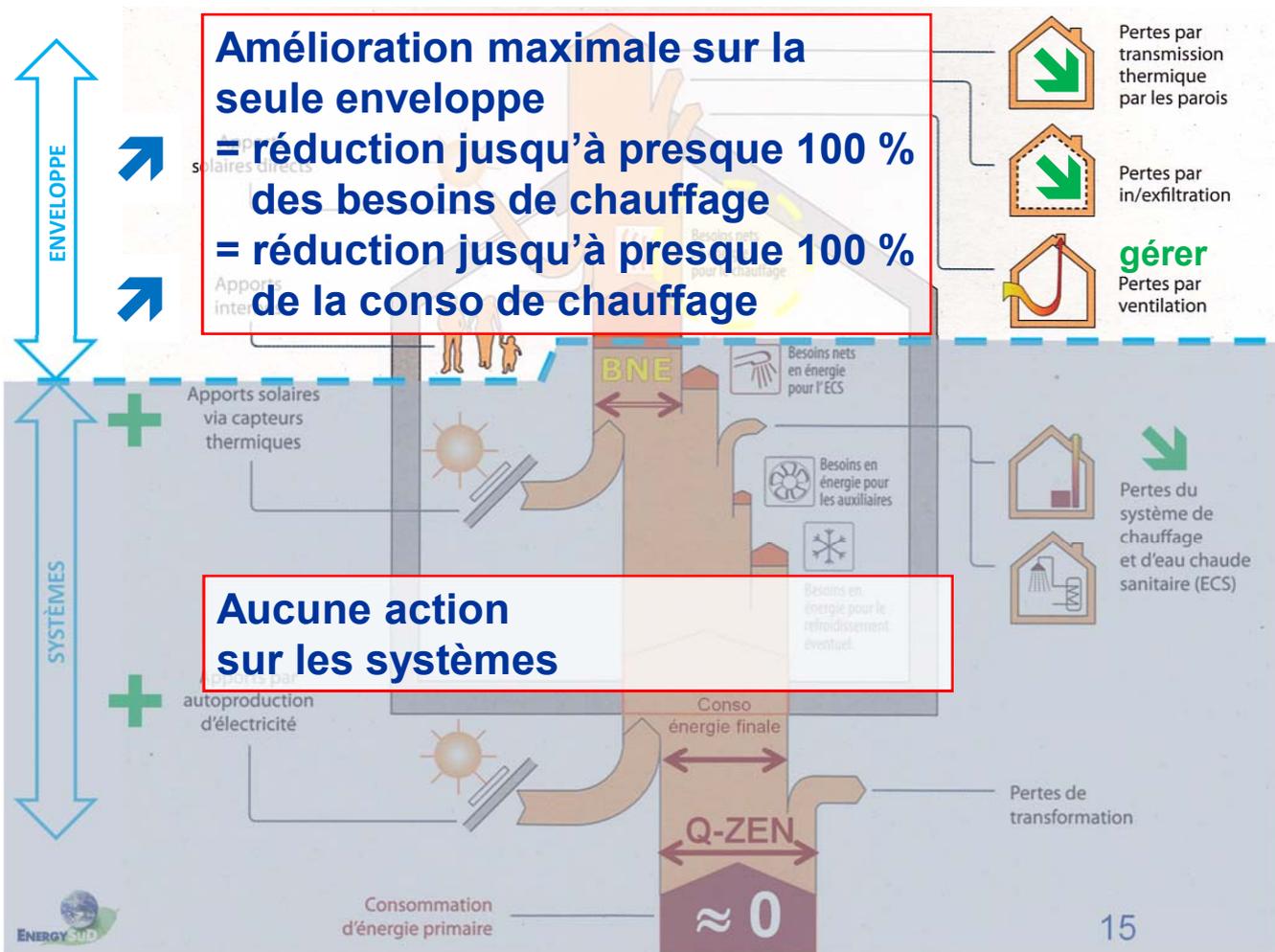
Bilan énergétique



13



14



Sommaire

- ▷ Enjeux planétaires : en quoi le bâti est-il concerné ?
- ▷ La stratégie de rénovation énergétique en Wallonie
- ▷ Bilan énergétique d'un bâtiment : rappel
- ▷ Chaudières au bois/biomasse
- ▷ Pompes à chaleur
- ▷ Apport solaire photovoltaïque
- ▷ Récapitulation

La biomasse

- ▷ La biomasse se différencie nettement des autres formes d'énergie renouvelable par 2 caractéristiques :
 - Elle est **stockable**
 - Susceptible de produire de l'énergie quand on en a besoin
 - Elle permet de **produire toutes les formes d'énergie utile**
 - Chaleur, électricité, biocarburants
 - Les autres énergies renouvelables sont mono-produit :
 - ▶ PV, éolien et hydraulique : électricité
 - ▶ Solaire thermique : chaleur



Biomasse : Bois – énergie

- ▷ Les différentes formes du combustible bois
 - **La bûche**
 - Forme de bois la plus utilisée par les particuliers
 - Combustion efficace si bois suffisamment sec
 - ▶ ⇒ stockage de deux ans est requis afin de réduire la proportion d'eau à moins de 20 %
 - ▶ L'utilisation d'un bois trop humide provoque une combustion incomplète, peu rentable et polluante
 - ▶ La bûche est commercialisée par stère (un stère est un empilement de 1 m x 1 m x 1 m de bûches)



Biomasse : Bois – énergie

■ Les plaquettes de bois ou chips

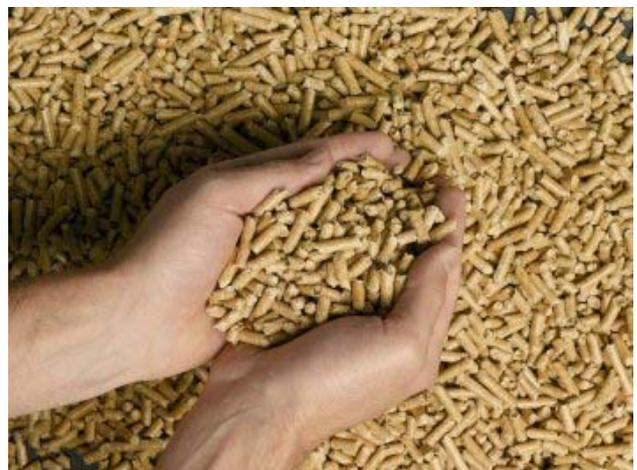
- = copeaux de taille de ± 3 cm obtenus par déchiquetage de branches, de sous-produits de l'industrie du bois...
- Qualité et stockage dépendent de l'humidité du bois ($\leq 30\%$)
- Double avantage par rapport aux bûches
 - ▶ Autorise l'alimentation automatique des chaudières
 - ▶ Prix sensiblement moins élevé
- Inconvénient
 - ▶ Foisonnement \Rightarrow volume plaquettes ou chips = 1,5 volume bûches



Biomasse : Bois – énergie

■ Les granulés ou pellets de bois

- = petits morceaux cylindriques faits de sciure bois comprimée et non traitée, ayant un diamètre de 5 à 15 mm (la plupart entre 6 et 8 mm) et une longueur de 10 à 20 mm
- Le procédé n'inclut aucun additif chimique, l'agent liant étant la lignine naturelle du bois



Biomasse : Bois – énergie

- Leur petite dimension et leur surface lisse leur procure une grande fluidité permettant l'entière automatisation des installations de production d'énergie
- Les pellets ont un taux de cendre (< 1%) et une humidité (< 10 %) très faibles
- Prix pellets > prix plaquettes
 - ▶ mais valorisent d'autres sous-produits de l'industrie du bois
 - ▶ occupent moins de place que les plaquettes



Chaudières au bois / biomasse

- ▷ L'avantage du bois réside surtout dans son **bilan global en émissions de CO₂** qui est meilleur que celui des combustibles fossiles
- ▷ Toutefois, son utilisation nécessite :
 - des **espaces de stockage** adaptés
 - et un **entretien** particulier
- ▷ Attention : dans le cas du bois, on ne peut parler de **combustible renouvelable**
 - que si la forêt dont le bois est issu est gérée de manière durable
 - c'est-à-dire en laissant aux plantations le temps d'atteindre leur maturité avant de procéder à leur abattage

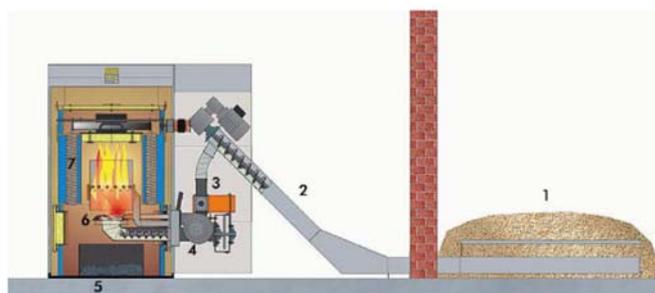


Chaudières au bois / biomasse

- ▷ Les chaudières à **bûches**, généralement chargées manuellement, sont pénalisées :
 - par la concurrence de systèmes moins contraignants
 - par la **modeste autonomie** d'un grand nombre d'appareils, qui confine presque exclusivement les ambitions de la filière à l'autoconsommation de rebuts de bois et de coupe d'entretien (artisanat, distribution rurale et périurbaine)
- ▷ Les chaudières au bois / biomasse sont couplées à un **ballon de stockage** :
 - qui permet de faire fonctionner la chaudière à puissance nominale, c'est-à-dire à son meilleur rendement
 - et qui restitue l'eau chaude au circuit de chauffage aux moments de la journée où un apport de chauffage est nécessaire, alors que la chaudière n'est plus en fonctionnement

Chaudières au bois / biomasse

- ▷ Les chaudières au **bois / biomasse** :
 - demandent un **stockage** du combustible :
 - les chaudières à **plaquettes, copeaux** ou **pellets** de bois (= formes fractionnées de bois) permettent un chargement automatique qui se fait par gravité, par aspiration ou par une vis sans fin
 - mais les **plaquettes** de bois occupent un volume plus important à cause du foisonnement résultant du découpage en plaquettes



Chaudière automatique à granulés de bois
1: silo de stockage des pellets, 2: vis d'extraction du combustible, 3: système de sécurité incendie, 4: ventilateur pour l'air primaire et secondaire, 5: cendrier, 6: brûleur, 7: chauffage de l'eau par tubes de fumée – système automatique de nettoyage des tubes (Source : Ökofen 2004)

Points particuliers aux chaudières à pellets

▷ La chaudière à **pellets** :

- si elle est équipée d'une alimentation automatique et accompagnée d'un espace de stockage des granulés accessible à un camion souffleur pour la livraison, permet une **facilité de gestion** équivalente à une chaudière (à gaz ou) au mazout
- présente de nombreux avantages inhérents aux propriétés à la fois du combustible et de son morcellement :
 - par le **dosage précis** de l'arrivée du combustible et de l'air comburant, la **combustion** peut être **très performante et propre**
 - l'allumage, l'alimentation en combustible, le contrôle du tirage, le décentrage, le nettoyage et la régulation sont entièrement **automatiques**

Chauffage central au bois

▷ Avantages :

- le **chargement automatique** des plaquettes ou pellets permet une facilité de gestion équivalente à celle d'un système de chauffage central au gaz ou au mazout
- le **rendement** des chaudières à pellets peut être très élevé
- le **bilan en émissions de CO₂** est plus favorable que celui des chauffages centraux à énergie fossile

▷ Inconvénients :

- le **coût d'installation** d'une chaudière à pellets de qualité est assez important
- il faut disposer d'un **espace de stockage**
 - suffisant pour stocker le bois nécessaire pendant la période entre livraisons + accessible au charroi d'approvisionnement
- un **chargement manuel** est requis en cas d'utilisation de **bûches**
- il engendre une émission importante de **particules fines**, surtout lorsque la combustion n'est pas optimale

Sommaire

- ▷ Enjeux planétaires : en quoi le bâti est-il concerné ?
- ▷ La stratégie de rénovation énergétique en Wallonie
- ▷ Bilan énergétique d'un bâtiment : rappel
- ▷ Chaudières au bois/biomasse
- ▷ Pompes à chaleur
- ▷ Apport solaire photovoltaïque
- ▷ Récapitulation



Pompes à chaleur

- ▷ Les PAC présentent pour principal avantage que l'**énergie** de l'air, de l'eau, mais plus particulièrement du sol est **disponible en permanence**, indépendamment des conditions météorologiques
- ▷ Cette énergie ne nécessite **pas de stockage** puisque son « réservoir » (air, eau, sol) joue lui-même ce rôle
- ▷ Inconvénient propre à toutes les PAC :
 - elles nécessitent une **alimentation en électricité**
 - mais cette électricité peut être produite à partir de sources d'énergie renouvelable
 - soit au niveau du fournisseur d'électricité (éolien...)
 - soit au niveau de l'utilisateur (solaire photovoltaïque)



Pompes à chaleur hybrides (= chaudière + PAC), en quelques mots...

- ▷ On maintient la **chaudière** (puissance P_n) avec l'ensemble de son système hydraulique de distribution vers les radiateurs
- ▷ On y adjoint une **PAC** (dont puissance $\cong 0,6 \cdot P_n$)
 - avec utilisation mixte :
 - la PAC est utilisée lorsque la $t_{ex} \geq t_{pivot}$ où son COP faiblit
 - la chaudière prend le relai lorsque $t_{ex} < t_{pivot}$
 - en pratique : t_{pivot} est de l'ordre de 8 à 10°C \Rightarrow la PAC fonctionne pendant une grande partie de la saison de chauffe
- ▷ Le pilotage du système hybride peut aussi donner priorité au coût d'utilisation :
 - le système utilise chaudière ou PAC selon :
 - le prix du kWh jour (et nuit)
 - et du m³ de gaz ou du litre de mazout



Sommaire

- ▷ Enjeux planétaires : en quoi le bâti est-il concerné ?
- ▷ La stratégie de rénovation énergétique en Wallonie
- ▷ Bilan énergétique d'un bâtiment : rappel
- ▷ Chaudières au bois/biomasse
- ▷ Pompes à chaleur
- ▷ Apport solaire photovoltaïque
- ▷ Récapitulation



Apport solaire photovoltaïque

▷ Avantages :

- une **longue durée de vie du système**, qui peut facilement atteindre 25/30 ans :
 - elle est un paramètre essentiel d'un investissement photovoltaïque
 - l'**onduleur**, par contre, devient moins efficace au bout d'une dizaine d'années, période au bout de laquelle il est préférable de le remplacer sans attendre la fin de vie du système complet
- l'installation de panneaux photovoltaïques permet à l'utilisateur d'être **moins dépendant du coût de l'électricité**
- la mise en place du système est particulièrement **simple**, même dans un habitat ancien
- le **caractère modulaire** des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques qui pourraient varier dans le futur



Apport solaire photovoltaïque

▷ Avantages (suite) :

- très **faibles coûts de fonctionnement**, vu les entretiens réduits
- le solaire PV ne nécessite ni combustible, ni transport, ni personnel hautement qualifié
- l'**énergie grise de départ** (nécessaire à la production des cellules photovoltaïques) est **rapidement récupérée** au bout de quelques années (< 5 ans)
- les cellules photovoltaïques peuvent, aujourd'hui, être recyclées quasi intégralement

▷ Inconvénients :

- la **fabrication** du module photovoltaïque relève d'une **haute technologie** et requiert des investissements importants



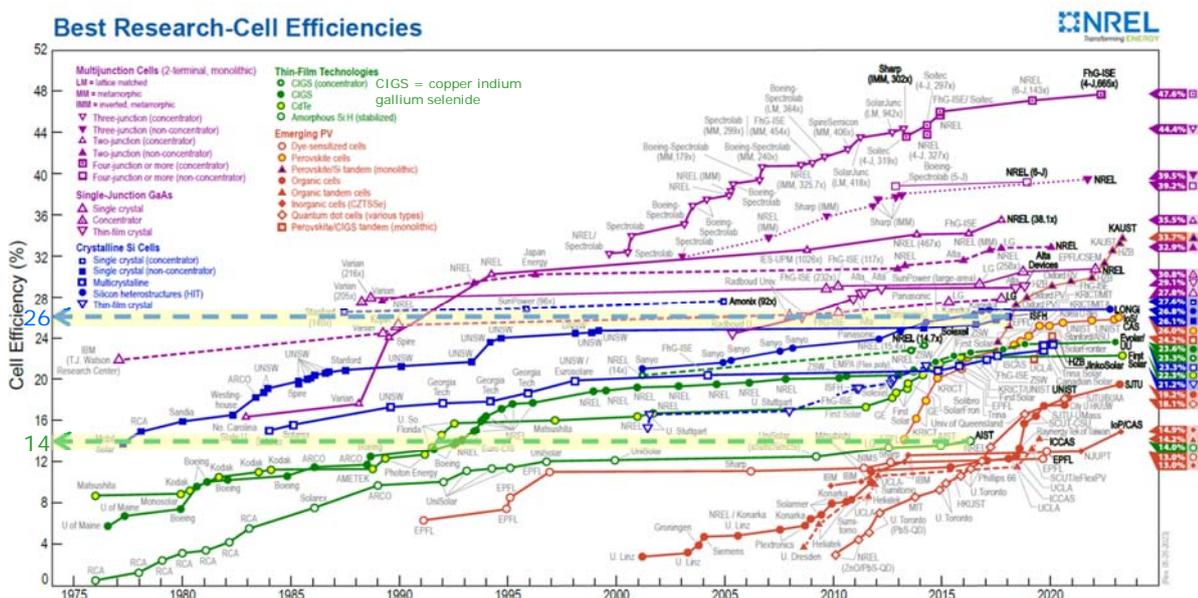
Apport solaire photovoltaïque

▷ Inconvénients (suite) :

- l'installation ne peut être envisagée que **si l'ombrage est faible**, voire inexistant
- la surface des modules doit être maintenue propre des poussières, déjections d'oiseaux, mousses... : une vérification régulière évite une perte de rendement que provoquent ces **salissures**
- le **faible rendement réel de conversion** d'un module, à savoir le ratio entre l'énergie électrique produite et l'énergie lumineuse reçue atteint :
 - au maximum 14 % (silicium amorphe)
 - jusqu'à 26 % (silicium monocristallin)



Apport solaire photovoltaïque



Source : NREL (National Renewable Energy Laboratory) (2023). Best Research-Cell Efficiency of the highest confirmed conversion efficiencies for research cells for a range of photovoltaic technologies, plotted from 1975 to the present (26/05/23), sur le site <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> visité le 9/06/23

Rendement de conversion des meilleures cellules photovoltaïques mesuré en laboratoire, de 1976 à 2023, pour différentes technologies photovoltaïques : en **vert**, le silicium amorphe ($\eta_{\max}=14\%$) – en **bleu** : le silicium monocristallin ($\eta_{\max}=26\%$)



Sommaire

- ▷ Enjeux planétaires : en quoi le bâti est-il concerné ?
- ▷ La stratégie de rénovation énergétique en Wallonie
- ▷ Bilan énergétique d'un bâtiment : rappel
- ▷ Chaudières au bois/biomasse
- ▷ Pompes à chaleur
- ▷ Apport solaire photovoltaïque
- ▷ Récapitulation



Récapitulation

	Appareil producteur	Disponibilité de captation ou d'espace extérieur	Disponibilité d'espace intérieur	Autre(s) contrainte(s)	Cheminée	Ballon de stockage tampon	Emetteurs à basse température (solution obligatoire à terme)	Emetteurs à haute température (solution condamnée à terme)	Couplage avec ECS	Coût d'investissement pour une installation complète	Coûts d'utilisation	Consommation d'énergie primaire	Impact environnemental en émissions de CO ₂		
ENERGIE SOLAIRE	Solaire thermique	Disponibilité de captation extérieure : parois de l'enveloppe bien orientées et peu ombragées (Rem 1)	-	-	-	oui	possibles, mais production inversement proportionnelle au besoin de chauffage + combinaison obligatoire avec un appareil producteur d'appoint	-	vocation première	€€€€€ pour chauffage (mais €€€€ pour ECS)	€	☺	☺		
	Solaire photovoltaïque		-	-	-	-	-	-	-	-	€	☺	☺		
CHAUFFAGE CENTRAL	PAC air-eau	Emplacement pour l'unité extérieure	-	Si puissance > 14 kW : PAC hybride ⇒ nécessité d'un chauffage d'appoint Disposer d'un raccordement électrique d'une puissance suffisante	-	généralement non	indispensables	-	possible, mais ↓ puissance	€€	€€	☹	☹		
	PAC air-air		-		généralement non	indispensables	-	possible, mais ↓ puissance	€	€€	☹	☹	☹	☹	
	PAC sol-eau (captage horizontal)		emplacement pour l'échangeur géothermique horizontal (surface importante)		-	généralement non	indispensables	-	possible	€€€	€€	☺☺	€€	☺☺	☺☺
	PAC sol-eau (captage vertical)		emplacement pour l'échangeur géothermique vertical		-	généralement non	indispensables	-	possible	€€€€	€€	☺☺☺	€€	☺☺☺	☺☺☺
	PAC sol-sol (détente directe)		emplacement pour l'échangeur géothermique horizontal (surface importante)		-	généralement non	indispensables	-	-	€€€	€€	☹	€€	☹	☹
	PAC eau-eau		captation d'eau de surface ou de la nappe Attention nécessaire : une autorisation de captage		-	généralement non	indispensables	-	possible	€€€	€€	☺☺	€€	☺☺	☺☺
	Chaudière pellets	si réserve de pellets à l'extérieur	si réserve de pellets à l'intérieur	-	oui (sauf si ventouse)	obligatoire	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle"	possible	€€€	€€	☹☹	☹☹		
	Chaudière bois/bûches	si réserve de bois-bûches à l'extérieur	si réserve de bois-bûches à l'intérieur	alimentation manuelle du combustible	oui (sauf si ventouse)	obligatoire	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle", mais rendement ↓	possible	€€€	€€	☹☹	☹☹		
	Chaudière gaz naturel	-	-	raccordement à un réseau de gaz naturel	oui (sauf si ventouse)	généralement non	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle", mais rendement ↓	possible	€	€€€	☹	☹ (Rem 2)		
	Chaudière propane	emplacement pour la citerne (aérienne ou enterrée), à l'écart du bâtiment	-	-	oui (sauf si ventouse)	généralement non	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle", mais rendement ↓	possible	€	€€€	☹☹	☹☹		
Chaudière mazout	si citerne placée à l'extérieur	si citerne placée à l'intérieur	-	oui (sauf si ventouse)	généralement non	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle", mais rendement ↓	possible	€	€€€	☹☹	☹☹ (Rem 3)			
Remarques	1 : toiture inclinée de 25°C à 60°C et orientée entre SE et SO, ou toiture plateforme, ou surfaces opaques verticales (mais moindre captation)											2 : l'appropriation devient ☹ si méthane dans le réseau de gaz	3 : l'appropriation devient ☹ si biocarburant au lieu de mazout		



Contraintes des chaudières bois / gaz / mazout

Appareil producteur	Disponibilité de captation ou d'espace extérieur	Disponibilité d'espace intérieur	Autre(s) contrainte(s)	Cheminée	Ballon de stockage tampon
Chaudière pellets	si réserve de pellets à l'extérieur	si réserve de pellets à l'intérieur	-	oui (sauf si ventouse)	obligatoire
Chaudière bois/bûches	si réserve de bois-bûches à l'extérieur	si réserve de bois-bûches à l'intérieur	alimentation manuelle du combustible	oui (sauf si ventouse)	obligatoire
Chaudière gaz naturel	-	-	raccordement à un réseau de gaz naturel	oui (sauf si ventouse)	généralement non
Chaudière propane	emplacement pour la citerne (aérienne ou enterrée), à l'écart du bâtiment	-	-	oui (sauf si ventouse)	généralement non
Chaudière mazout	si citerne placée à l'extérieur	si citerne placée à l'intérieur	-	oui (sauf si ventouse)	généralement non

Usages des chaudières bois / gaz / mazout

Appareil producteur	Emetteurs à basse température (solution obligatoire à terme)	Emetteurs à haute température (solution condamnée à terme)	Couplage avec ECS
Chaudière pellets	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle"	possible
Chaudière bois/bûches	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle", mais rendement ↓	possible
Chaudière gaz naturel	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle", mais rendement ↓	possible
Chaudière propane	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle", mais rendement ↓	possible
Chaudière mazout	possibles	possibles si chaudière "traditionnelle", mais rendement ↓	possible

Coûts / conso / impact environnemental des chaudières bois / gaz / mazout

Appareil producteur	Coût d'investissement pour une installation complète	Coûts d'utilisation	Consommation d'énergie primaire	Impact environnemental en émissions de CO ₂
Chaudière pellets	€€€	€€	☹️☹️	😊☹️
Chaudière bois/bûches	€€€	€€	☹️☹️	😊☹️
Chaudière gaz naturel	€	€€€	☹️	☹️ (Rem 2)
Chaudière propane	€	€€€	😊☹️	☹️
Chaudière mazout	€	€€€	☹️☹️	☹️☹️ (Rem 3)

Rem 2 : l'appréciation devient 😊😊 si méthane dans le réseau de gaz

Rem 3 : l'appréciation devient 😊😊 si biocarburant au lieu de mazout



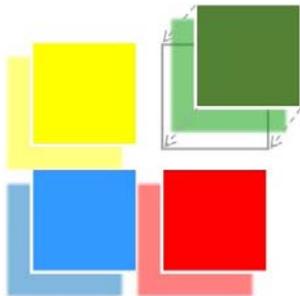
Coûts / conso / impact environnemental des PAC

Appareil producteur	Coût d'investissement pour une installation complète	Coûts d'utilisation	Consommation d'énergie primaire	Impact environnemental en émissions de CO ₂
PAC air-eau	€€	€€	☹️	☹️
PAC air-air	€	€€	☹️	☹️
PAC sol-eau (captage horizontal)	€€€	€€	😊☹️	😊☹️
PAC sol-eau (captage vertical)	€€€€	€€	😊☹️	😊☹️
PAC sol-sol (détente directe)	€€€	€€	☹️	☹️
PAC eau-eau	€€€	€€	😊☹️	😊☹️

+ possibilité d'alimentation électrique par des panneaux photovoltaïques



Merci de votre bonne attention



**Architecture &
Building
Performance
Consultancy srl**



Prof. Dr ir. J.-M. HAUGLUSTAINÉ
Administrateur statutaire
Rue Pire Pierre 14
4821 Andrimont
GSM : 0486 24 86 28
Courriel : jmhauglustaine@uliege.be

