

Rapport technique - Bâtiments exemplaires

→ Architectes et professionnels du secteur de la construction

Fiche 3.2 : comparatif des systèmes de chauffage et ECS pour les maisons individuelles et les immeubles à appartements en conception passive et rénovation basse énergie



Plus d'infos :

<http://www.bruxellesenvironnement.be/batimentsexemplaires>

→ Architectes et professionnels du secteur de la construction

BATIMENT
DURABLE



BRUXELLES ENVIRONNEMENT
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT



COMPARATIF DES SYSTEMES DE CHAUFFAGE ET ECS POUR LES MAISONS INDIVIDUELLES ET LES IMMEUBLES A APPARTEMENTS EN CONCEPTION PASSIVE ET RENOVATION BASSE ENERGIE

SOMMAIRE

ENJEUX	3
1. LES BESOINS EN ENERGIE	3
2. LES ÉMETTEURS DE CHALEUR	4
2.1. <i>Température d'émission</i>	4
2.2. <i>Plage de modulation de puissance et temps de réponse</i>	4
2.3. <i>Les émetteurs convectifs</i>	4
2.4. <i>Les émetteurs radiatifs à faible inertie</i>	5
2.5. <i>Les émetteurs radiatifs à forte inertie</i>	5
3. LES RESSOURCES RENOUVELABLES ET FOSSILES POUR REpondre AUX BESOINS	5
3.1. <i>Ressources fossiles</i>	5
3.2. <i>Ressources renouvelables</i>	8
4. COMBINAISON DE LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE ET D'ECS	17
4.1. <i>Globalisation des besoins</i>	17
4.2. <i>Sensibilité des systèmes de production au régime de température</i>	17
5. CENTRALISATION OU DECENTRALISATION DE LA PRODUCTION DE CHALEUR	17
DÉMARCHE	19
1. A L'ECHELLE DU QUARTIER	19
1.1. <i>Les systèmes appliqués aux ressources renouvelables et fossiles</i>	19
1.2. <i>Nouveau quartier passif</i>	19
1.3. <i>Rénovation d'un quartier à basse énergie</i>	22
1.4. <i>Les éléments pour orienter les choix</i>	22
2. A L'ECHELLE DU BATIMENT COLLECTIF	25
2.1. <i>Systèmes applicables aux ressources renouvelables</i>	25
2.2. <i>Nouvel immeuble de logements passif</i>	25
2.3. <i>Rénovation basse énergie de logements collectifs</i>	31
2.4. <i>Les éléments pour orienter les choix</i>	32
3. A L'ECHELLE DU LOGEMENT INDIVIDUEL	34
3.1. <i>Systèmes applicables aux ressources renouvelables</i>	34
3.2. <i>Nouvelle maison individuelle passive</i>	34
3.3. <i>Rénovation basse énergie d'une maison individuelle</i>	36
3.4. <i>Les éléments pour orienter les choix</i>	37
CONCLUSION	39
1. ENJEUX	39
2. COHABITATION DES ENERGIES RENOUVELABLES ET FOSSILES	39
3. CHOIX DES PRODUCTIONS DE CHALEUR	39
3.1. <i>Quartier</i>	39
3.2. <i>Bâtiment collectif : immeuble à appartement</i>	39
3.3. <i>Logement individuel : maison unifamiliale ou appartement isolé</i>	40

PUBLIC-CIBLE

Architectes et professionnels du secteur de la construction



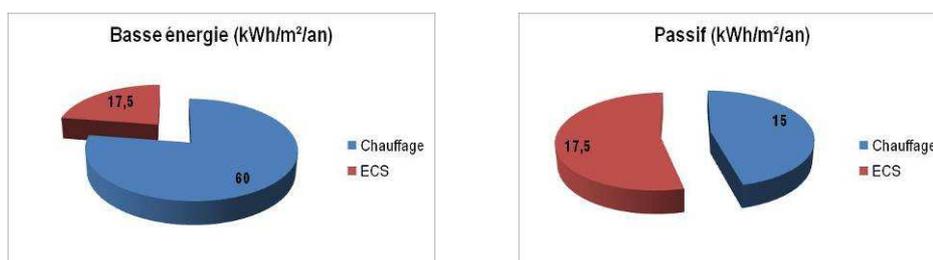
ENJEUX

1. LES BESOINS EN ÉNERGIE

Lorsque la performance énergétique des bâtiments approche celle du passif, tout en passant par des stades intermédiaires comme la basse et la très basse énergie, les besoins énergétiques résiduels peuvent être pris totalement ou en partie par des énergies renouvelables, ce qui permettrait de rencontrer les objectifs ambitieux de réduction des émissions de CO₂ de 20 % voire plus à l'horizon 2020 pour une ville comme Bruxelles.

L'enjeu est donc de déterminer les systèmes les mieux appropriés pour assurer conjointement la couverture des besoins de chaleur de chauffage et d'ECS dans les maisons individuelles ou les logements collectifs en rénovation basse énergie et en conception passive en région bruxelloise et ce en garantissant une efficacité énergétique et environnementale pour un confort optimal.

Rappelons « **que la vraie économie d'énergie que l'on peut faire dans un bâtiment est celle que l'on ne consomme pas** ». Ceci est valable tant pour les déperditions thermiques des parois, les infiltrations, les besoins de ventilation hygiéniques, ... que des consommations d'ECS.



Ordre de grandeur des besoins nets¹ de chaleur en rénovation basse énergie et en conception passive

Que ce soit dans le cadre d'une conception ou d'une rénovation, la performance énergétique d'un bâtiment conditionne le choix des systèmes de production de chaleur pour le chauffage et pour l'eau chaude sanitaire.

En effet, comme le montre les graphiques précédents, plus on tend vers le passif, plus les besoins d'ECS prennent l'ascendant sur les besoins de chauffage. Pour cette raison, plus on tend vers la performance, plus le choix sera orienté en mettant la priorité sur les besoins d'ECS.

Ce qui signifie :

- Que les besoins d'eau chaude sanitaire doivent être limités par la responsabilisation des occupants des immeubles à la gestion de l'eau en réduisant le temps d'utilisation, par la limitation des pressions et débits d'eau en imposant d'emblée des équipements adéquats comme des réducteurs de pression et des limiteurs de débit au niveau des points de puisage ;
- Qu'aussi bien en rénovation basse énergie qu'en conception passive, le choix d'un système de chauffage indépendant d'un système d'ECS devient un non-sens d'autant plus que l'on souhaite couvrir un maximum de besoins par une énergie renouvelable.



Cartouche mousser



Pommeau de douche à débit réglable

¹ Les besoins nets de chaleur sont à différencier des besoins bruts sachant que ces derniers, dépendant du type de système de production de chaleur, tiennent compte des rendements d'émission, de distribution, de production et de régulation.

2. LES ÉMETTEURS DE CHALEUR

2.1. Température d'émission

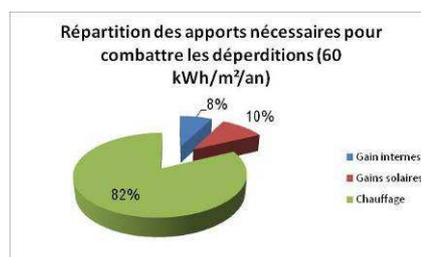
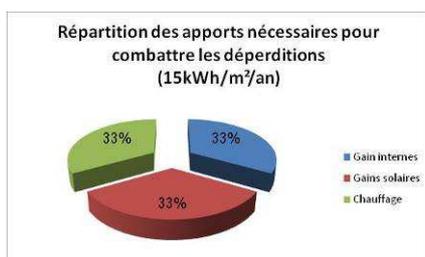
Vu les faibles déperditions des bâtiments passifs et à basse énergie (respectivement de 2 à 5 kW par logement passif et par -10°C de température externe et de 8 à 15 kW par logement à basse énergie pour une surface d'environ 85 m²), il est impératif de s'orienter vers des technologies d'émission adaptées par rapport à celles que l'on préconise habituellement dans l'habitat classique ou modérément performant d'un point de vue énergétique. Dans cette optique, pour une même taille d'émetteur, les régimes de température d'eau pouvant être plus faibles, l'éventail des systèmes de production de chaleur avec des énergies renouvelables s'ouvre.

En effet, classiquement, on retrouvait des températures de dimensionnement d'émetteur de 90-70°C dans les bâtiments peu ou pas isolés, ou encore de 80-60°C pour les bâtiments modérément isolés. En conception passive et en rénovation basse énergie, les régimes de température des émetteurs peuvent atteindre des valeurs de 70-50°C pour des émetteurs classiques comme les radiateurs ou encore 40-30°C voire moins pour les planchers chauffants.

Les températures des émetteurs influencent considérablement le choix parmi les énergies renouvelables et leur performance. A titre d'exemple, la pompe à chaleur pourra être envisagée avec des émetteurs à basse température comme les planchers chauffants sachant, entre autre, que leur performance SPF (Seasonal Performance Factor) devient d'autant meilleure que la température d'émission est faible.

2.2. Plage de modulation de puissance et temps de réponse

- Plus on se rapproche des performances des bâtiments passifs moins les puissances de chauffage sont importantes. Dans cette optique, les gains tant internes qu'externes prennent l'ascendant sur les déperditions. Ce constat implique qu'une faible fluctuation des apports internes ou externes entraîne des fluctuations rapides des besoins de chauffage lorsqu'on se dirige vers le passif. Ce qui nécessite de disposer d'émetteurs à réponse rapide. Les radiateurs classiques et les planchers chauffants à basse inertie ont respectivement des temps de réponse courts (quelques minutes) et relativement courts (de l'ordre de 20-30 minutes) ;



- Le marché classique offre une gamme importante de puissance de radiateur et de planchers chauffants.

2.3. Les émetteurs convectifs

L'air, dont la capacité calorifique est très faible, est intéressant pour répondre à cette demande de chaleur fluctuante à faible puissance.

- Dans le cas des projets passifs, le chauffage sur l'air hygiénique, par exemple, est possible sans introduire des températures de batterie chaude trop élevées. Ces basses températures sont nécessaires à la sélection possible de systèmes de chauffage comme les pompes à chaleur qui obtiennent leur meilleure efficacité énergétique pour des basses températures de source chaude. De plus, on considère qu'il n'y a plus de paroi froide dans une maison passive, ce qui permet de se passer d'émetteur de chaleur devant les fenêtres, comme les radiateurs par exemple, et donc de pouvoir moduler facilement les emplacements des bouches de ventilation.
- A contrario, dans les maisons à basse énergie, le chauffage sur l'air hygiénique sera difficilement envisageable sachant qu'il faudrait des températures d'eau de batterie chaude de l'ordre de 55°C (45°C température d'air de chauffage par exemple) pour arriver à assurer les consignes de température des pièces de la maison. Dans ce cas, on privilégiera les émetteurs classiques comme les radiateurs. Attention toutefois



que l'on ne peut pas dépasser aussi des valeurs de température d'air : 45°C devient limite en termes de confort.

On retrouvera dans cette catégorie :

- Les batteries à eau chaude sur l'air hygiénique ;
- Les résistances électriques sur l'air hygiénique.

2.4. Les émetteurs radiatifs à faible inertie

Les émetteurs à faible inertie peuvent aussi donner une réponse adéquate pour assurer des besoins de faible puissance et fluctuant rapidement que le bâtiment soit passif ou à basse énergie.

Dans cette catégorie, on trouve :

- Les radiateurs à eau chaude ;
- Les radiateurs électriques rayonnant ;
- Des planchers ou murs chauffants à faible inertie, ... ;



Plancher chauffant basse inertie
(source : <http://www.opal-systems.be>. A titre illustratif)

2.5. Les émetteurs radiatifs à forte inertie

Le choix de ce type d'émetteur devient délicat dans les bâtiments étudiés car l'inertie joue en sa défaveur pour répondre aux fluctuations rapides des besoins de puissance. La plupart du temps, les émetteurs « masse » entraîneront des surchauffes. Pour cette raison, les émetteurs radiatifs comme les planchers chauffants à forte inertie ne conviendront pas. De plus, les poêles masses à bûches ou les poêles à pellets ne conviendront pas en tant qu'émetteur direct dans le volume chauffé mais pourrait convenir comme production centralisée en chaufferie avec un ballon tampon sur lequel les émetteurs à faible inertie viendraient puiser leur puissance de chauffe.

3. LES RESSOURCES RENOUVELABLES ET FOSSILES POUR REpondre AUX BESOINS

Lorsqu'on évolue vers un parc immobilier bruxellois à faible empreinte énergétique, on se doit de couvrir les faibles besoins énergétiques résiduels qui en découlent en privilégiant les ressources énergétiques renouvelables avant les énergies fossiles.

Cependant, l'accès aux énergies renouvelables en milieu urbain n'est pas toujours aisé et/ou représente un coût financier non négligeable. En effet, cela implique l'accès facile au sol, au soleil, aux forêts, aux champs de colza, ... Cet accès est d'autant plus difficile que la démarche est individuelle par rapport à une démarche collective.

Pour ces diverses raisons, le recours aux ressources fossiles peut être nécessaire pour « épauler » les énergies renouvelables, d'où l'idée de « cohabitation raisonnée des énergies renouvelables et fossiles ».

3.1. Ressources fossiles

C'est bien connu, en Belgique on n'a pas de pétrole ni de gaz. Tous ces vecteurs énergétiques doivent être importés.

Dans le cadre de conception passive ou de rénovation basse énergie de quartiers, d'immeubles à appartements et de maisons individuelles, le choix de ressources fossiles doit être considéré comme un appoint aux énergies renouvelables.



Fuel

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable		Potentiel et intérêt de développement			
				Intérêt mitigé					
				Peu favorable					
				Quartier		Logements collectifs		Logement individuel	
				Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie
Mazout	Chaudière	Proximité des ressources	Réseau de distribution très développé. Pas de production de proximité	A éviter d'un point de vue énergétique et environnemental	A éviter d'un point de vue énergétique et environnemental	Si chaudière récente existante	A éviter d'un point de vue énergétique et environnemental	Si chaudière récente existante	
		Production	Rendement limité (de l'ordre de 90 % à régime nominale)						
		Durée de vie de l'installation associée	Les chaudières peuvent avoir une durée de vie entre 20 et 30 ans selon le niveau d'entretien						
		Impact environnement	Rejet soufre (pluie acide) et rejet de CO ₂ , ..., Métaux lourds, risque de fuite						
		Impact sur la santé	Métaux lourds, rejet de particules fines						
		Stockage	En citerne. Nécessité de cuvelage.						
		Coût	Faible						
		Temps de réponse au besoin	Rapide						



Gaz

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable		Potentiel et intérêt de développement			
				Intérêt mitigé					
				Peu favorable					
				Quartier		Logements collectifs		Logement individuel	
		Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie		
Gaz	Chaudière, cogénération, PAC gaz	Proximité des ressources	80 % des habitations sont connectées au réseau de gaz. Cependant, n'oublions pas que le gaz n'est pas extrait du sol belge (fuite en ligne)	Cogénération envisageable	Cogénération intéressante	PAC gaz, chaudière à condensation envisageable	PAC gaz, chaudière à condensation intéressantes	Chaudière de très faible puissance	Chaudière de très faible puissance
		Production	Le rendement des chaudières à condensation sur PCI peut atteindre 104 %						
		Durée de vie de l'installation	Les chaudières peuvent avoir une durée de vie entre 20 et 30 ans selon le niveau d'entretien						
		Impact environnement	Limité dû à l'excellente combustion						
		Impact sur la santé	Peu de rejet toxique (les chaudières ventouses avec sortie en façade sont permises moyennant la réglementation NBN D 51-003) et peu de nuisance sonore						
		Stockage	Pas de stockage						
		Coût	Faible						
		Temps de réponse au besoin	Rapide						



Electricité

Vecteurs énergétiques		Production et appoint		Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable		Potentiel et intérêt de développement			
						Intérêt mitigé					
						Peu favorable					
						Quartier		Logements collectifs		Logement individuel	
						Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie
Electricité directe	Radiateur radiant, à bain d'huile, boiler	Proximité des ressources	Oui	Envisageable pour autant qu'il y ait une compensation PV	Consommations trop importantes par rapport à la production PV	Envisageable pour autant qu'il y ait une compensation PV	Consommations trop importantes par rapport à la production PV	Envisageable pour autant qu'il y ait une compensation PV	Consommations trop importantes par rapport à la production PV	Envisageable pour autant qu'il y ait une compensation PV	Consommations trop importantes par rapport à la production PV
		Transport du combustible	Non								
		Production	Rendement : 100 % par émission directe								
		Durée de vie de l'installation	> 20 ans								
		Impact environnement	Dépend de la production en centrale électrique, mais de manière général, l'impact est important								
		Impact sur la santé	Faible								

3.2. Ressources renouvelables

Ressources à importer : le potentiel biomasse

- Le bois et les produits dérivés



Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable		Potentiel et intérêt de développement			
				Intérêt mitigé					
				Peu favorable					
				Quartier		Logements collectifs		Logement individuel	
		Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie		
Bois	Chaudière, cogénération	Proximité des ressources	Limitée		Cogénération, chaudière bois centralisée envisageable	Cogénération, chaudière bois centralisée intéressante	Difficulté de stockage et individualisation déconseillée	Chauffage pellet de petite puissance	
		Production	Rendement limité (de l'ordre de 92 % à régime nominal). Gamme de puissance de chaudière élevée. Puissance de cogénération élevée						
		Durée de vie de l'installation	Les chaudières peuvent avoir une durée de vie entre 15 et 25 ans						
		Impact environnement	Rejet soufre (pluie acide) et rejet de CO ₂ faible, risque de pollution des sols inexistant						
		Impact sur la santé	Rejet de micro particule						
		Stockage	Volume de stockage important						
		Coût	Elevé (de l'ordre de 2 à 3 fois les systèmes gaz et fuel)						
		Temps de réponse au besoin	Pellets : rapide Plaquette et bûche : lent						

- Les biocarburants

Huile végétale	Cogénérateur	Proximité des ressources	Limitée		Cogénération envisageable	Cogénération intéressante	Cogénération envisageable	Cogénération intéressante	Très faible puissance indisponible Cogénération seule difficilement envisageable
		Production	Production de chaleur et d'électricité locale intéressante réduisant l'impact environnemental de 5 à 20 %. Favorable au réseau de chaleur						
		Durée de vie de l'installation	Les cogénérateurs peuvent avoir une durée de vie entre 10 et 15 ans selon le nombre d'heure de fonctionnement et l'entretien. La gamme de puissance est de 7,5 kW à ...						
		Impact environnement	Pour une cogénération de qualité (critère d'accès aux primes et aux certificats verts) les rejets de CO ₂ devront être inférieurs à 5 % par rapport au système de référence						



	Impact sur la santé	Bruit limité dans un caisson insonorisé,	
	Stockage	Citerne. Inconnue sur la stabilité du combustible	
	Coût	Elevé (de l'ordre de 3 à 4 fois les chaudières gaz)	
	Temps de réponse au besoin	Relativement rapide	

Ressources disponibles sur place

1. Quel potentiel géothermique (systèmes fermés et systèmes ouverts)?

Dans le cadre de la rénovation ou de la construction d'un ilot d'habitations, d'un immeuble à appartement, d'une maison individuelle, ..., on évaluera la possibilité de développement de la géothermie très basse température avec pompe à chaleur.

• Systèmes fermés (sondes géothermiques verticales)

Comme le montre la carte ci-contre, le potentiel géothermique pour les systèmes fermés est variable suivant l'endroit de Bruxelles concerné par le projet. Il est dès lors impératif de réaliser des essais de sol par des entreprises spécialisées. De plus, l'énergie que l'on peut « tirer » du sol doit être limitée pour assurer sa régénération. En effet, si le projet de géothermie est susceptible de pomper trop d'énergie, le sol, à moyen terme, risque de devenir trop froid et donc inexploitable. On peut éviter cet écueil :

- En permettant la mixité des logements avec des commerces ou des bureaux au niveau des quartiers. En effet, des besoins de froid au niveau des commerces permettraient de régénérer le sol en lui injectant de la chaleur ;
- En réduisant les besoins de chaleur au niveau des immeubles à appartements et des maisons individuelles (conception passive)

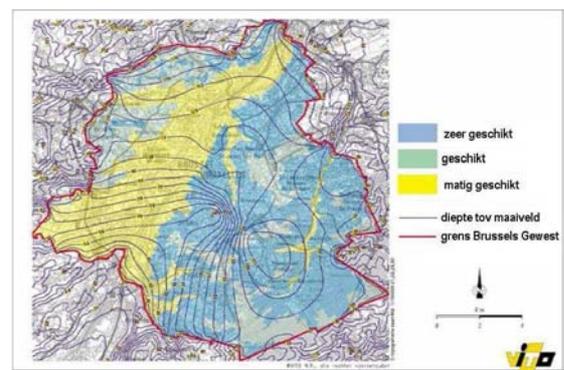
• Systèmes ouverts (captage et réinjection d'eau souterraine)

Extraire les calories de l'eau souterraine et réinjecter ce flux d'eau dans l'aquifère après en avoir extrait des calories via la pompe à chaleur présente l'avantage de disposer en permanence d'une source froide inépuisable et à température constante, ce qui n'est pas forcément le cas des systèmes à sondes géothermiques verticales. En conséquence, ces systèmes ouverts présentent un meilleur SPF (Seasonal Performance Factor) que les systèmes fermés. Encore faut-il avoir à disposition au niveau du sous-sol au droit du site:

- D'un aquifère dans lequel on peut capter le débit nécessaire d'un point de vue thermique, et ceci sans impact environnemental négatif (attention à l'impact sur d'éventuels captages voisins et aux conséquences géotechniques d'un rabattement de nappe trop important)
- D'une nappe d'eau souterraine dont les caractéristiques géochimiques permettent un captage et une réinjection de longue durée sans problème majeur (attention au colmatage de l'installation par des particules fines et/ou précipitations minérales)

En résumé, les systèmes ouverts nécessitent toujours une étude hydrogéologique et géochimique approfondie. A priori, en région bruxelloise, seuls les aquifères du Bruxellien et du Landénien pourraient présenter les caractéristiques requises.

Notons que les systèmes ouverts offrent des rendements énergétiques et économiques plus élevés lorsqu'ils sont appliqués pour le chauffage (période hivernale) et le refroidissement (période estivale) d'un bâtiment du secteur tertiaire (bureau, hôpital, maison de repos, commerce,.... En effet, l'inversion du sens d'écoulement du flux d'eau souterraine (le puits de captage devenant un puits d'injection et vice-versa) permet de mettre en œuvre un refroidissement du bâtiment à condition que ce dernier puisse être climatisé à un régime de haute température (dalle de béton activé, plafond froid,.....).



Potentiel géothermique à Bruxelles par sondes verticales (Source : Vito)

Ces systèmes nécessitent des études préalables très détaillées et sont économiquement rentable pour les grands projets pour lesquels il existe des besoins en chaleur et en froid plus ou moins équivalents. Pour cette raison, les systèmes géothermiques ouverts avec captage et réinjection de l'eau souterraine ne sont pas préconisés pour les projets du secteur résidentiel.

Pour le secteur résidentiel on envisagera la géothermie par systèmes fermés à Bruxelles au cas par cas en fonction :

- de la nature du sous-sol (conductivité et capacité thermique) : ces données sont essentielles pour les systèmes fermés ;
- de l'espace disponible ;
- de la présence de nappes d'eaux souterraines car celles-ci influencent les potentialités d'échanges thermiques entre le sous-sol et l'eau glycolée qui circule dans les sondes ;
- du profil thermique du projet (en chaud et en froid) ;

En d'autres termes, une simulation thermique dynamique sera toujours conseillée pour ce type de ressource. Les ressources géothermiques sont exploitées pour la production de chaleur des habitats au travers des systèmes comme les pompes à chaleur (PAC) eau/eau ou eau/air.

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable		Potentiel et intérêt de développement				
				Intérêt mitigé						
				Peu favorable						
				Quartier		Logements collectifs		Logement individuel		
				Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	
Géothermique	Pompe à chaleur « sol »/eau	Proximité des ressources	Limitée en termes d'accessibilité, de surface et nécessite des sols libres de tout impétrant	Un besoin de froid est nécessaire pour la pérennité du sol (dans le cas de logement + commerce, c'est envisageable)	Pour des besoins faibles de chaleur avec une géothermie horizontale	Les besoins de chaleur sont trop importants par rapport à la régénération du sol surtout en géothermie verticale	Pour des besoins faibles de chaleur avec une géothermie horizontale	Les besoins de chaleur sont trop importants par rapport à la régénération du sol surtout en géothermie verticale		
		Production	La performance énergétique saisonnière (SPF : Seasonal Performance factor) est variable selon les sources chaudes et froides. Une source chaude à basse température (émetteurs dans les logements) est réaliste dans les logements à basse et passifs.							
		Durée de vie de l'installation	Les PAC peuvent avoir une durée de vie de l'ordre de 15 ans selon l'entretien et le type de régulation du compresseur. En fonction du soutirage dans le sol, la disponibilité des calories peut devenir insuffisante pour assurer les besoins de chaleur							
		Impact environnement	Limité							
		Impact sur la santé	Aucun, pour autant que les sondes géothermiques soit fermées							
		Stockage	Le stockage d'énergie est dans le sol							
		Temps de réponse au besoin	Lent (20 à 30 minutes)							



2. Quel potentiel hydrothermique (eau de surface) ?

L'hydrothermie consiste en la captation de l'énergie nécessaire au chauffage des bâtiments dans une masse d'eau suffisante. Le potentiel hydrothermique de Bruxelles se situe à proximité des plans d'eau, le long du canal, ... Pour autant que le débit d'écoulement soit suffisant pour couvrir les besoins de chaleur sans perturber l'écosystème du plan d'eau ou le cours d'eau considéré (canal, ...), l'hydrothermie est envisageable.

Comme pour les ressources géothermiques, les ressources hydrothermiques sont exploitées pour la production de chaleur des habitats au travers des systèmes comme les pompes à chaleur (PAC) eau/eau ou eau/air.

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable		Potentiel et intérêt de développement				
				Intérêt mitigé						
				Peu favorable						
				Quartier		Logements collectifs		Logement individuel		
		Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie			
Hydrothermie	Pompe à chaleur eau-eau	Proximité des ressources	Limitée en termes d'accessibilité des cours d'eau à Bruxelles et de leur débit		Pour autant que le débit soit suffisant et que le cours d'eau soit à proximité, l'hydrothermie est envisageable					
		Production	La performance énergétique saisonnière (SPF : Seasonal Performance factor) est variable selon les sources chaudes et froides. Une source chaude à basse température (émetteurs dans les logements) est réaliste dans les logements à basse, très basse énergie et passifs. Une source froide à haute température est souhaitable pour améliorer la performance de la pompe à chaleur (plan d'eau, rivière, ...)							
		Durée de vie de l'installation	Les PAC peuvent avoir une durée de vie de l'ordre de 15 ans selon l'entretien et le type de régulation du compresseur. En fonction du soutirage dans le cours d'eau, la disponibilité des calories peut devenir insuffisante pour assurer les besoins de chaleur							
		Impact environnement	Limité							
		Impact sur la santé	Aucun pour autant que le soutirage de chaleur soit limité (un refroidissement trop important du cours d'eau pourrait avoir un impact sur son écosystème).							
		Stockage	Le stockage d'énergie est dans le plan d'eau ou le cours d'eau pour autant qu'un débit de réalimentation suffisant soit présent.							
		Temps de réponse au besoin	Lent (20 à 30 minutes)							



3. Quel potentiel aérothermique ?

L'aérothermie consiste en la captation de l'énergie nécessaire au chauffage des bâtiments dans l'air externe. La ressource aérothermique est très facile d'accès. Le système de production de chaleur couramment utilisé est la pompe à chaleur air/eau ou air/air.

Vecteurs énergétiques		Production et appoint		Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable		Potentiel et intérêt de développement			
				Intérêt mitigé		Peu favorable					
Air		Pompe à chaleur air /eau ou air/air		Proximité des ressources Oui Transport du combustible Non Production La performance énergétique saisonnière (SPF : Seasonal Performance factor) des PAC dont la source froide est l'air, est en général moins bonne que celle à eau (géothermie ou hydrothermie) Durée de vie de l'installation Les PAC peuvent avoir une durée de vie de l'ordre de 15 ans selon l'entretien et la régulation appliquée au compresseur Impact environnement Limité Impact sur la santé Les nuisances sonore et visuelle des unités externes		Quartier		Logements collectifs		Logement individuel	
						Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie
						La performance des PAC est très réduite car il est nécessaire de produire de l'eau chaude en permanence à haute température		L'intérêt est mitigé de par la nécessité de maintenir une boucle de distribution à haute température		Bonne performance quand la température de distribution est basse	
										Performance réduite de par les températures élevées de distribution	



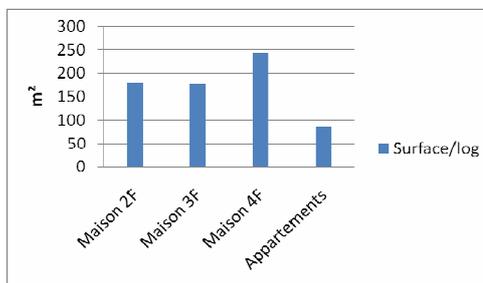
4. Quel potentiel éolien ?

Afin d'évaluer le potentiel éolien en RBC, on se réfère aux conclusions de l'étude réalisée par le CERAА en collaboration avec l'ICEDD, ULB/ATM et ULB/BEAMS : « Potentiel éolien en RBC ; juillet 2009 ». Le seul intérêt de parler de l'éolien par rapport à la production de chaleur est le complément que peut donner cette ressource au chauffage par pompe à chaleur et au chauffage électrique direct.

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable		Potentiel et intérêt de développement			
				Intérêt mitigé					
				Peu favorable					
				Quartier		Logements collectifs		Logement individuel	
		Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie		
Eolien	Eolienne et PAC ou chauffage direct	Proximité des ressources	Limité pour la simple raison que les éoliennes nécessitent des sites dégagés de toute habitation pour garantir l'efficacité de l'éolienne et la sécurité des occupants de proximité		<p style="text-align: center;">Dans un quartier bien exposé avec un espace suffisamment dégagé l'éolien est envisageable</p> <p style="text-align: center;">Turbulence des vents en milieu urbain, immeubles de logements de faible hauteur, stabilité du mat, sécurité, ... nécessite une étude poussée au cas par cas</p>				
		Transport du combustible	Non						
		Production	Une pompe à chaleur ou un chauffage électrique direct pourrait être associé à l'éolienne.						
		Durée de vie de l'installation	20 ans (source ADEME)						
		Impact environnement	faible						
		Impact sur la santé	Sonore et visuelle						

5. Quel potentiel solaire ?

Une étude de 2008 réalisée pour Bruxelles Environnement par le CERAА concernant l'application des principes de la maison passive en région de Bruxelles Capital, a permis d'établir quelle était la surface moyenne occupée par les différents types de logements comme le montre le graphe ci-contre. Vu qu'une majorité des immeubles à Bruxelles sont des immeubles à appartements, on considère qu'un appartement occupe en moyenne de l'ordre de 85 m². Sur cette base, le calcul des surfaces de toitures disponibles pour la pose idéale de panneaux solaires thermiques donne entre 26 et 28m² quel que soit son type (à 2 versants ou plate). Il est utile de préciser que le solaire thermique et le photovoltaïque entrent en compétition, à savoir :



Surface moyenne d'un logement en fonction de son type (source : CERAА)

- Le solaire thermique, couvre de l'ordre de 350 à 500 kWh_{thermique}/(m².an) de consommation de besoin de chaleur (ECS) ;
- Le photovoltaïque, quant à lui, couvre environ ±120 à 160 kWh_{électrique}/(m².an). Pour produire de l'ECS à



45°C, une pompe à chaleur n'a pas un bon COP (de l'ordre de 2). Ce qui veut dire que 1m² de PV ne peuvent produire que 240 à 320 kW_{thermique}/(m².an).

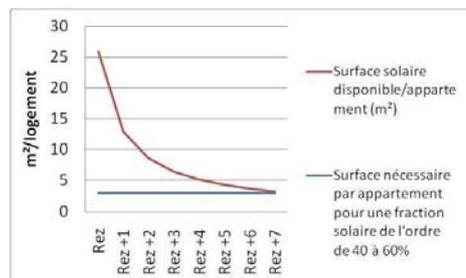
En conséquence, pour ce qui est de la préparation d'ECS, le placement de panneaux solaires thermiques sera préféré à celui des panneaux photovoltaïques.

En ce qui concerne le chauffage, le solaire thermique n'est intéressant sachant que la plupart des gains solaires sont en dehors de la saison de chauffe. On lui préférera le photovoltaïque en complément d'une pompe à chaleur, par exemple.

• **Pour le solaire thermique**

Ces données permettent de se faire une idée du potentiel d'exposition solaire par étage :

Pour un immeuble à deux versants orienté nord sud ou un immeuble à toiture plate sans ombre reportée, on se rend compte, que pour couvrir de l'ordre de 40 à 60 % des besoins en eau chaude sanitaire (fraction solaire en ECS) avec en moyenne entre 2 et 4 m² de panneaux solaires thermiques par appartement, on pourrait alimenter de l'ordre de 7 à 8 étages par immeuble (si le rez-de chaussée est habitable).



Disponibilité des ressources solaires thermiques

Comme on l'a montré ci-avant, lorsqu'on envisage la rénovation ou la construction de maisons ou immeubles passifs, les besoins d'eau chaude sanitaire prennent une part importante des besoins énergétiques. La production d'ECS solaire devra donc être envisagée dans ce type de projet tout en sachant que la rentabilité sera toujours dépendante des primes à investissement.

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable		Potentiel et intérêt de développement			
				Intérêt mitigé					
				Peu favorable					
		Quartier		Logements collectifs		Logement individuel			
		Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie		
Solaire thermique	Solaire thermique associé à une chaudière	Proximité des ressources	Limitée suivant la surface disponible et l'orientation	En habitat collectif, la couverture solaire est plus importante qu'en habitat individuel				Couverture solaire réduite car les besoins sont décalés par rapport aux apports solaires	
		Transport du combustible	Non						
		Production	Couverture limitée pour les capteurs solaires (entre 40 et 60 %)						
		Durée de vie de l'installation	De l'ordre de 25 ans						
		Impact environnement	Très faible						
		Impact sur la santé	Nul						



• **Pour le photovoltaïque**

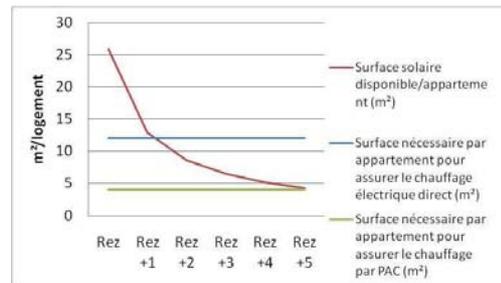
Serait-il intéressant de chauffer les immeubles de Bruxelles à l'électricité directe si le parc immobilier était passif ?

En prenant l'hypothèse, comme pour le solaire thermique, que la surface disponible idéale de toiture pour la pose de panneaux photovoltaïques est en moyenne à Bruxelles de l'ordre de 26 à 28m², un bref petit calcul pour montrer l'intérêt du potentiel photovoltaïque à Bruxelles :

- 1 m² de panneaux PV qui donnerait ±0,125 kWc et de ±106 kWh/an ;
- Un appartement passif devrait consommer en électricité directe (rendement d'émission proche de 100 %) 15 kWh/m²/an de chauffage, soit pour un appartement de 85 m² en moyenne, 1.275 kWh/an.

Il faudrait donc 16 m² de PV en moyenne par appartement pour subvenir uniquement aux besoins de chauffage par radiateurs électriques directs en utilisant une ressource renouvelable électrique.

La figure ci-contre montre le potentiel PV uniquement pour le chauffage sachant que les autres consommations électriques classiques sont bien plus importantes (de l'ordre de 3500 kWh/an en éclairage, bureautique , ... pour un ménage moyen).



Disponibilité des ressources solaires photovoltaïques

On se rend compte que le photovoltaïque:

- ne permettrait pas d'assurer les besoins de chauffage électriques directs renouvelables des immeubles passifs de Bruxelles sachant qu'en moyenne la hauteur des bâtiments est supérieure à rez+1 ;
- couvrirait les besoins de chauffage assurés par une PAC dont le SPF (Seasonal Performance Factor) est de 3.

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité		Favorable			Potentiel et intérêt de développement				
				Intérêt mitigé							
				Peu favorable			Quartier		Logements collectifs		Logement individuel
				Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie	Neuf passif	Rénovation basse énergie		
Photovoltaïque	Association avec PAC	Proximité des ressources	Oui	Pour la préparation d'ECS, il vaut mieux garder la surface disponible des toitures pour le solaire thermique						Dépend de la performance de PAC associée	
		Transport du combustible	Non								
		Production	Rendement : 100 % par émission directe								
		Durée de vie de l'installation	20 ans								
		Impact environnement	Faible								
		Impact sur la santé	Faible								



4. COMBINAISON DE LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE ET D'ECS

4.1. Globalisation des besoins

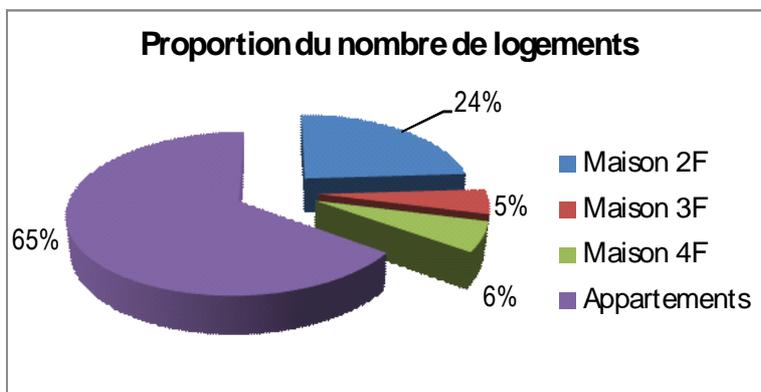
L'intérêt de combiner la production de chauffage et d'ECS en un point de la maison, de l'immeuble à appartements ou encore du quartier, est de regrouper le maximum de besoins de chaleur qui devront être couverts énergétiquement par une ressource renouvelable.

Globaliser la production de chaleur revient à développer le chauffage central au niveau de l'habitat ou urbain au niveau du quartier en couvrant les besoins de chaque immeuble et ménage avec un échangeur sur le réseau de chaleur. L'idée est intéressante dans le sens où cette globalisation permet de centraliser la production à un endroit propice à l'exploitation de ressources renouvelables plus facilement et à grande échelle.

Comme le montre le graphique ci-contre, en milieu urbain, la densité de population étant importante (majorité de logements à appartements), la globalisation des besoins pose moins de problème qu'en site rural vu que les distances entre la production et une grande quantité émetteurs potentiels sont plus faibles.

Le « revers de la médaille », lorsqu'on regroupe les besoins de chauffage et d'ECS, est que les deux régimes de température ne sont pas nécessairement les mêmes :

- La réduction des besoins en chauffage des habitations modernes a pour conséquence de permettre de réduire les températures d'émission et, par conséquent, les températures d'eau des systèmes de production. Pour des habitats passifs, le régime de température des planchers chauffants pourraient être de 40-30°C par exemple, voire 35-25°C;
- Par contre, le régime de température des systèmes de production d'ECS est resté le même (55°C minimum en tout point du réseau d'ECS), « légionelles » obligeant.



Etude réalisée par le CERAA pour
Bruxelles Environnement - IBGE (2008)

4.2. Sensibilité des systèmes de production au régime de température

Certains systèmes de production de chaleur sont plus sensibles que d'autres aux régimes de température élevés nécessaires à la distribution de la chaleur et de l'ECS combinées. Par exemple :

- Avec la pompe à chaleur (PAC) on obtiendra des performances énergétiques nettement meilleures lorsque la température d'eau de distribution sera faible (comme avec un plancher chauffant) → régime d'eau de 40-30°C voire moins ;
- En ce qui concerne la chaudière bois ou la cogénération au bois ou à l'huile de colza, la performance énergétique est moins sensible à la température élevée d'eau de distribution → régime d'eau de 80-60°C ;
- La chaudière gaz à condensation, moyennant un soin attentif au niveau du réseau hydraulique de distribution pourra exploiter sa meilleure performance même avec des températures d'eau chaude de l'ordre de 50°C → régime d'eau de 70-50°C ;
- ...

5. CENTRALISATION OU DECENTRALISATION DE LA PRODUCTION DE CHALEUR

La centralisation de la production de chaleur, qu'elle soit au niveau du quartier ou d'un immeuble à appartements nécessite une distribution. Cette distribution génère des pertes en ligne et impose de rehausser le niveau de régime de température de la production. De plus, dans le cas d'un réseau de chaleur pour un quartier, il est nécessaire de prévoir des échangeurs de chaleur. Le pincement de température entre le primaire et le secondaire de l'échangeur nécessite aussi de rehausser le régime de température de la production.

En fonction du type de ressources renouvelables choisis, un système de production de chaleur sera imposé :



- Dans le cas des pompes à chaleur exploitant la géothermie, l'hydrothermie, on envisagera pour les grandes installations de quartier de décentraliser les PAC dans chaque immeuble composant le quartier ;
- Dans le cas des systèmes ne nécessitant pas des régimes de température bas pour être performants, les besoins de chauffage et d'ECS peuvent être repris par un seul système centralisé.

Le tableau suivant² présente les points forts des productions centralisées ou décentralisées :

Centralisation	Chauffage
	<p>Un coût d'installation inférieur à la somme des coûts des installations individuelles qu'elle remplace ;</p> <p>Un encombrement plus faible (voire une nuisance acoustique plus faible dans certains cas) ;</p> <p>Une meilleure fiabilité et durée de vie ;</p> <p>Un coût de maintenance plus faible (un seul appareil de production, un seul conduit d'évacuation des gaz brûlés) ;</p> <p>Un rendement de production souvent supérieur à ceux des appareils décentralisés ;</p> <p>La possibilité de valoriser des énergies renouvelables (solaire thermique, cogénération...)</p>
	Eau chaude sanitaire
	<p>Une possibilité de valoriser l'effet de foisonnement des demandes (simultanéité des besoins), d'où des puissances et des volumes de stockage moindres ;</p> <p>Une possibilité d'installer des panneaux solaires (initialement ou ultérieurement).</p>
Décentralisation	Chauffage
	Chaque locataire paye ses propres charges et a un contrat avec le distributeur.
	Eau chaude sanitaire
	Une installation décentralisée limite les pertes de distribution. La boucle de circulation est supprimée.

² Extrait du guide de rénovation des immeubles à appartements RELESO ; « Optimiser la production de chaleur et d'ECS » ; T. Geotghebuer ; MATRIciel ; 2009.



DÉMARCHE

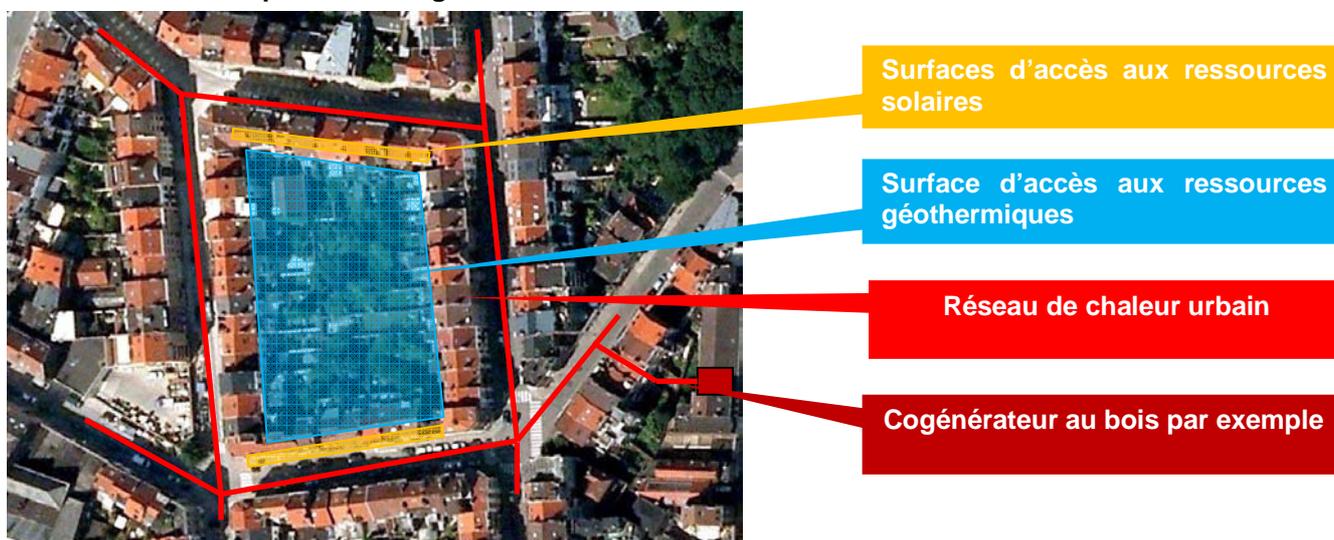
L'objectif est de couvrir le maximum des besoins de chauffage et d'ECS en favorisant :

- les énergies renouvelables comme couverture énergétique avec des systèmes de production de chaleur offrant une efficacité énergétique et environnementale maximale ;
- les énergies fossiles respectueuses de l'environnement comme complément de puissance ou simplement comme « backup » des systèmes de production de chaleur. D'emblée, le gaz sera généralement préféré aux autres vecteurs énergétiques fossiles entre autres pour l'excellent rendement des chaudières gaz à condensation (de l'ordre de 104 % sur PCI).

1. A L'ECHELLE DU QUARTIER

1.1. Les systèmes appliqués aux ressources renouvelables et fossiles

Quelles ressources pour les énergies renouvelables ?



(Source : google earth)

1.2. Nouveau quartier passif

Produire la chaleur

1. Intérêt de la géothermie et de l'hydrothermie

Dans un système centralisé, la géothermie ou l'hydrothermie (source froide) est associée généralement à une PAC eau/eau. On sait qu'une PAC offre une bonne performance lorsque la température de sa source froide (ressource du sol ou de l'eau) est élevée et la température de source chaude (la distribution et les émetteurs) basse.

• Systèmes centralisés

La PAC doit être le plus près possible des émetteurs pour éviter des pertes de distribution, le recours aux échangeurs de chaleur et, par conséquent, des régimes de température élevés. La centralisation de la source chaude en aval d'une PAC perd de son intérêt pour ces raisons.

En bref, la centralisation de la source chaude ne convient pas aux PAC.

• Systèmes décentralisés

Au niveau d'un quartier, on parlera de décentralisation quand chaque immeuble composant le quartier sera équipé d'une PAC. Ceci n'empêche pas la centralisation de la source froide.



2. Intérêt de l'aérothermie

Tout comme la géothermie et l'hydrothermie, l'aérothermie doit être le plus près possible des émetteurs pour éviter des pertes de distribution, le recours aux échangeurs de chaleur et, par conséquent, des régimes de température élevés.

On s'intéressera donc plus à la décentralisation au niveau de l'immeuble.

3. Intérêt de la cogénération

• Systèmes centralisés

La cogénération a un intérêt si elle est dimensionnée sur les besoins de chauffage mais surtout d'ECS. Dans le cas d'un quartier passif, une cogénération (bois, huile végétale, ...) a des chances d'être intéressante sachant que plus la puissance de la cogénération sera grande et plus longtemps elle fonctionnera, meilleure sera la rentabilité énergétique et financière. Il sera toujours nécessaire de lui adjoindre une chaudière gaz de performance élevée sachant qu'une chaudière à condensation ne saura pas nécessairement valoriser sa condensation.

La cogénération, si elle est envisagée, sera nécessairement de qualité en valorisant une réduction des émissions de CO₂ supérieures à 5 %.

• Systèmes décentralisés

La décentralisation du système de cogénération revient à le centraliser au niveau de l'immeuble (voir ci-après)

4. Intérêt de la biomasse

RUE FAES

La production de chaleur de chauffage et d'ECS pour la menuiserie et l'appartement est réalisée au moyen d'une chaudière bois (déchet de la menuiserie complété par un appoint de bûches importées). Des panneaux solaires thermiques permettent de couvrir une partie des besoins d'ECS.

Cet exemple montre que suivant le niveau d'activité de la menuiserie, la chaleur pourrait être distribuée à l'échelle de plusieurs maisons, d'un îlot ou d'un quartier sous forme d'un chauffage urbain.



(Source : Bruxelles Environnement - IBGE)

Pour plus d'informations sur le projet Rue Faes, voir la fiche du **PROJET BATIMENTS EXEMPLAIRES n°63 (2008)**.

• Systèmes centralisés

Dans le cadre de l'intégration au projet de conception passive d'une filière de valorisation de déchets de bois (Menuiserie par exemple), on pourrait envisager un système de production de chaleur au bois tel qu'une chaudière bois. Si ce type de production de chaleur est sélectionné, on sera attentif de choisir une ou des chaudières bois dont de rendement nominal se situe au moins à 92 %.

• Systèmes décentralisés

La décentralisation du système de chauffage bois revient à le centraliser au niveau de l'immeuble (voir ci-après).

5. Intérêt du solaire

Pour une bonne exposition (sud, sud-est, sud-ouest), la couverture solaire des besoins d'ECS en préchauffage peut atteindre de l'ordre de 40 à 60 % en solaire thermique. Ce type d'installation est complémentaire à une production d'ECS et sera plutôt décentralisée par immeuble ou bloc d'immeuble plutôt qu'au niveau du quartier entier d'un point de vue des pertes en ligne (distance limitée entre les panneaux solaires et le ballon).



Distribuer la chaleur

1. Réseau de chaleur

Un réseau de chaleur devient économiquement intéressant lorsque la densité de raccordement est supérieure à 1.500 kWh/mc et 1,5 kW/mc de fouille (surinvestissement dans le réseau et pertes de distribution supplémentaires).

On considère que :

- deux immeubles passifs contigus sont séparés par 10 mètres de réseau enterré ;
- chaque immeuble nécessite de l'ordre de 2,5 à 5kW de puissance de chauffe maximum par niveau, soit respectivement un appartement 2 façades au 1^{er} étage et un appartement dans les combles (2 versants de toiture et pignon).

Pour atteindre 1,5 kW/m x 10 m = 15 kW (seuil de rentabilité d'un réseau de chaleur), un immeuble de minimum de rez+3 est nécessaire.

Réseau de chaleur urbain : exemple d'installation d'une cogénération au gaz de 160 kWth - 99 kWé pour le projet de lotissement « Bervoets ». Etude de pertinence réalisée par le Facilitateur en Cogénération de la Région de Bruxelles-Capitale le 17 septembre 2007 pour Bruxelles Environnement - IBGE.

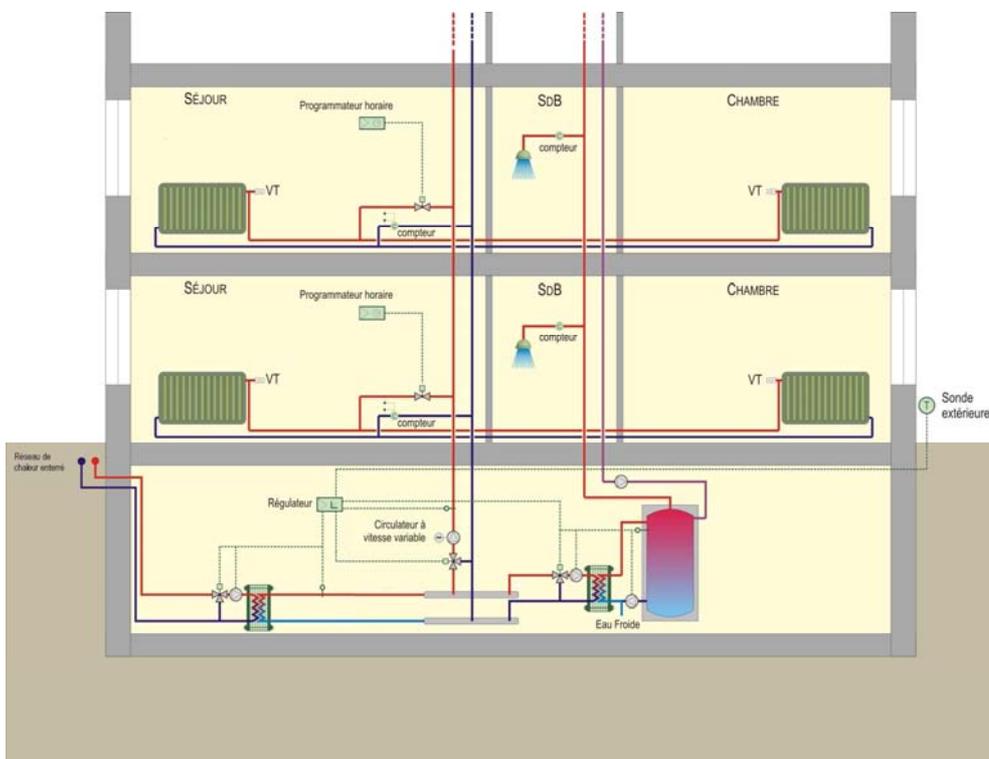
2. Echangeur

Que ce soit au niveau d'un quartier ou d'un îlot d'immeubles, le développement d'un réseau urbain de chaleur permet de simplifier la distribution à l'échelle de l'immeuble. En effet, au droit de chaque immeuble à appartements ou maison d'habitation, il suffit de prévoir un échangeur eau/eau. Le secondaire de l'échangeur alimentera un collecteur desservant :

- Les départs vers les différents circuits de radiateurs ;
- Le ballon de stockage d'eau chaude sanitaire.

Les pertes thermiques des réseaux de chaleur sont un frein pour le développement de ce système de chauffage. Il faudra veiller, si cette option est prise, de ne pas dépasser 5 % de la production sur l'ensemble du réseau de distribution.

Que l'habitat soit un immeuble de logement collectif ou une maison individuelle, le principe de raccordement serait du type de la figure ci-dessous.



Réseau de chaleur enterré au niveau du trottoir + échangeur de chaleur en cave (Source : RELOSO)



Réguler la chaleur

- La régulation de la chaleur au niveau de la production centrale devra être modulante sur la plus large gamme de puissances possible de manière à « coller » au mieux aux besoins de chaleur des différents immeubles composant le quartier ;
- La température de l'eau et de la distribution devra être glissante par rapport à la température externe.

1.3. Rénovation d'un quartier à basse énergie

Produire la chaleur

En rénovation, on tentera de conserver l'installation de chauffage existante si elle est récente. L'adjonction d'un système à énergie renouvelable ne pose pas trop de problème d'adaptation hydraulique.

Tout comme le projet de conception passive, la rénovation d'un quartier à basse énergie fera appel :

- aux énergies renouvelables comme couverture énergétique maximale ;
- aux énergies fossiles comme complément de puissance ou simplement comme « backup » des systèmes de production de chaleur

D'emblée, chaque bâtiment basse énergie (BE) étant plus déperditif qu'un bâtiment passif, la puissance nécessaire est plus importante. On envisagera, par conséquent, des systèmes de production de chaleur de puissance plus importante.

Distribuer la chaleur

Sachant que les déperditions moyennes pour un appartement à basse énergie sont de l'ordre de 8 à 15 kW, pour atteindre $1,5 \text{ kW/m} \times 10 \text{ m} = 15 \text{ kW}$ (seuil de rentabilité d'un réseau de chaleur), un minimum de rez+1 par immeuble est nécessaire.

Réguler la chaleur

Si on conserve la production existante, la régulation de la production devra être modifiée de manière à réaliser une cascade :

- en faisant passer en priorité le système à énergie renouvelable ;
- en donnant le complément avec le système existant.

1.4. Les éléments pour orienter les choix

Energies renouvelables

Pour les projets de conception de quartier passif, la motivation d'investir dans des énergies renouvelables est résumée dans le tableau suivant :



Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité Potentiel et intérêt de développement		Favorable	
				Intérêt mitigé	
				Peu favorable	
		Quartier			
		Neuf passif	Rénové à basse énergie		
Bois et huile végétale	Chaudière, cogénération	Production	Production centralisée		
		Puissance	Large gamme de puissance		
		Stockage	Facile		
		Réseau de chaleur	Production centralisée pour autant que la densité de chaleur du réseau de chaleur soit > 1,5 MWh/mc de conduite du réseau	Production centralisée pour autant que la densité de chaleur du réseau de chaleur soit > 1,5 MWh/mc de conduite du réseau	
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance donné par une chaudière gaz la plupart du temps		
Géothermie et hydrothermie	PAC eau/eau et sol/eau	Production	Production décentralisée au niveau de chaque immeuble avec une source froide commune		
		Puissance	Large gamme de puissance		
		Source froide	La géothermie peut être difficile à mettre en place et est coûteuse L'hydrothermie est facile à mettre en place et moins coûteuse que la géothermie	Dans un ilot existant, la géothermie est difficile à mettre en place et coûteuse	
		Pérennité de la source froide	pour la géothermie à sonde verticale, pérennité assurée si des besoins de froid au niveau d'immeubles mixtes avec des commerces existent ; pour géothermie plan, pérennité assurée pour autant que le dimensionnement soit correct		
		Source chaude	Vu les faibles déperditions, les températures des émetteurs peuvent être basses, ce qui améliore la performance énergétique de la PAC	Les déperditions étant plus importantes, les températures des émetteurs seront plus élevées qu'en passif, ce qui limite la performance énergétique de la PAC	
		Performance de la PAC	Pour une source chaude basse température, bonne performance	Pour une source chaude moyenne température, performance moyenne	
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance donné par une chaudière gaz à condensation la plupart du temps		
Aérothermie	PAC air/eau	Production	Production décentralisée au niveau de chaque immeuble avec une source froide commune		
		Puissance	Large gamme de puissance		
		Source froide	Disponible partout ; Attention aux nuisances sonores		



		Source chaude	Vu les faibles déperditions, les températures des émetteurs peuvent être basses, ce qui améliore la performance énergétique de la PAC	Les déperditions étant plus importantes, les températures des émetteurs seront plus élevées qu'en passif, ce qui limite la performance énergétique de la PAC
		Performance de la PAC	Pour une source chaude de basse température et une température de source froide basse, performance moyenne	Pour une source chaude de moyenne température et une température de source froide basse, performance limite
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance donné par une chaudière gaz à condensation la plupart du temps	
Solaire thermique	Pour ECS	Production	Production décentralisée au niveau de chaque immeuble	
		Puissance	Puissance limitée en fonction de la surface des toitures. Pas trop de problème à Bruxelles	
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance donné par une chaudière gaz à condensation la plupart du temps	

Energie fossile

On préférera le gaz comme vecteur énergétique de par la possibilité d'exploiter :

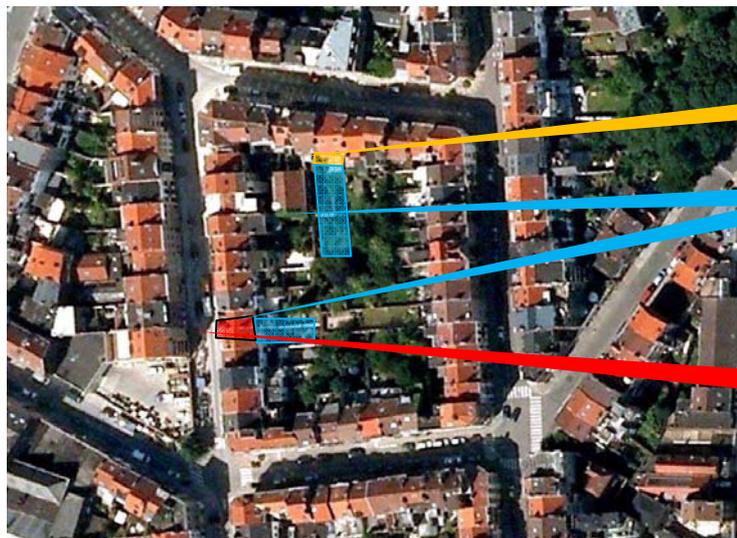
- la très bonne performance énergétique des chaudières gaz à condensation ;
- la bonne performance énergétique et environnementale des PAC gaz ;
- la réduction de l'impact environnemental des cogénérations gaz.

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité Potentiel et intérêt de développement		Favorable	
				Intérêt mitigé	
				Peu favorable	
		Quartier			
		Neuf passif	Rénové à basse énergie		
Gaz	Chaudière, PAC gaz, cogénération	Production	Production centralisée		
		Puissance	Large gamme de puissance		
		Stockage	Pas de stockage		
		Réseau de chaleur	Production centralisée pour autant que la densité de chaleur du réseau de chaleur soit > 1,5 MWh/mc de conduite du réseau	Production centralisée pour autant que la densité de chaleur du réseau de chaleur soit > 1,5 MWh/mc de conduite du réseau	
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance si cogénération ou PAC gaz		



2. A L'ECHELLE DU BATIMENT COLLECTIF

2.1. Systèmes applicables aux ressources renouvelables



Surfaces d'accès aux ressources solaires

Surface d'accès aux ressources géothermiques

Surfaces défavorable d'accès aux ressources solaire

(Source : google earth)

A titre local, la couverture des besoins de chaleur par des énergies renouvelables dépend de :

- la disponibilité du sol qui dépend de la présence ou pas d'une parcelle à l'avant ou l'arrière de l'immeuble et de son accessibilité ;
- l'accès au soleil qui est fonction de l'orientation et des surfaces disponibles sur les toitures (orientation sud, sud-est, sud-ouest à privilégier), en tenant compte de la présence importante d'ombres portées qui sont dues aux immeubles voisins à grande hauteur, ... ;
- L'accès de la ville pour les produits dérivés du bois fait intervenir des démarches comme l'exploitation durable des forêts de proximité, l'intérêt de brûler du bois plutôt que de favoriser la conception passive en bois, l'augmentation du charroi sur le « ring » pour l'acheminement du combustible en centre-ville, le stockage dans des maisons de taille réduite, ...

2.2. Nouvel immeuble de logements passifs

Produire et distribuer la chaleur

1. Intérêt de la géothermie et l'hydrothermie

Du point de vue purement de la production, l'intérêt de la géothermie est variable suivant la performance du bâtiment. En effet, un immeuble de type passif se dotera d'une géothermie à capteurs plans plutôt qu'à sondes verticales sachant qu'il est impératif de régénérer le sol (à force de « tirer » la chaleur du sol, il se refroidit irrémédiablement). Aussi, on sait que dans un bâtiment passif, les besoins d'ECS prennent le dessus sur les besoins de chauffage. Ce qui limite la performance énergétique de la pompe à chaleur couplée à la géothermie de par la nécessité de produire de l'eau à haute température, ce que la PAC n'apprécie pas. Ceci étant dit, le bilan restera positif par rapport au chauffage direct électrique.

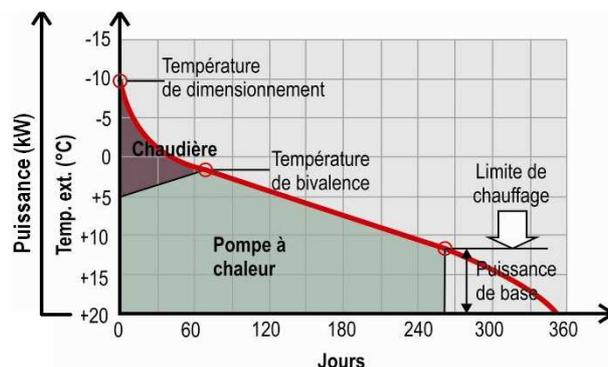
● Systèmes centralisés

Pour favoriser la couverture des besoins de chauffage et d'ECS, le bon compromis, c'est de développer une cohabitation raisonnée entre la PAC « géothermique » et une chaudière à gaz à condensation sachant qu'habituellement dans ce type d'immeuble la puissance de chauffe est doublée.

Comme le montre la figure ci-contre, une pompe à chaleur (PAC) eau/eau de bonne conception (SPF : Seasonal Performance Factor de 4 par exemple peut être approché en géothermie) sera équipée d'un variateur de vitesse « INVERTER » permettant de moduler la puissance entre 40 et 100 % et travaillera en pression flottante sur l'évaporateur, ...



La chaudière gaz viendra en appoint « puissance » de la PAC en saison froide au même titre qu'une seconde chaudière en cascade et en cas de panne de la PAC. Il est intéressant aussi d'envisager le préparateur gaz performant d'ECS avec une possibilité de by-pass vers le circuit de chauffage en appoint de puissance.



(Source : Energie+)

- **Systèmes décentralisés**

Tout comme au niveau du quartier, la décentralisation de la production évite d'augmenter la température de la source chaude et, par conséquent de dégrader la performance de la PAC. On pourra, par exemple, délocaliser la pompe à chaleur au niveau de l'appartement raccordée sur une boucle d'eau froide raccordée à la source froide.

2. Intérêt de l'aérothermie

La température moyenne en ville est de l'ordre de 2°C plus élevée qu'en milieu rural. Sachant que l'on améliore le COP de la PAC de 3%/°C de température d'augmentation de la source froide (à savoir l'air), l'aérothermie a donc son intérêt en ville.

- **Systèmes centralisés**

Dans une démarche commune au niveau de l'immeuble, le choix d'une pompe à chaleur air/eau pourrait se révéler intéressante pour autant que la performance énergétique annuelle (SPF : Seasonal Performance Factor) respecte les critères de la RBC (ordre de grandeur de 2.8 à 4 selon le type de source froide et chaude : <http://www.bruxellesenvironnement.be>). Une PAC en toiture est intéressante d'un point de vue sonore si les bâtiments voisins sont au même niveau.

Comme pour la géothermie et l'hydrothermie, un appoint de puissance par une chaudière gaz à condensation est important surtout pour assurer les besoins d'ECS.

- **Systèmes décentralisés**

Pour l'aérothermie individuelle par appartement, il est important de tenir compte des nuisances sonores non négligeables et esthétiques.

3. Intérêt de la cogénération

- **Systèmes centralisés**

La cogénération a un intérêt si elle est dimensionnée sur les besoins de chauffage et d'ECS. Dans le cas des immeubles passifs, il est impératif de grouper les besoins de chauffage à ceux de l'ECS. D'un point de vue financier, plus la puissance de la cogénération et son temps de fonctionnement seront importants (immeuble de taille importante) meilleure sera la rentabilité énergétique et financière.

Ici, une cogénération de petite puissance sera nécessaire (11 à 30 kW). Des cogénérateurs à l'huile végétale de cette puissance existent sur le marché. A l'inverse, les cogénérateurs au bois n'existent pas pour les petites puissances.

Il sera toujours nécessaire de lui adjoindre une chaudière gaz de performance élevée sachant qu'une chaudière à condensation ne saura pas nécessairement valoriser sa condensation.

La cogénération, si elle est envisagée, sera nécessairement de qualité en valorisant une réduction des émissions de CO₂ supérieure à 5 %. De plus, on n'oubliera pas que la cogénération est aussi appréciable pour la génération de certificats verts (CV) qui est souvent à la base de sa bonne rentabilité.

- **Systèmes décentralisés**

La micro-cogénération est en plein développement actuellement. Cependant, dans les logements collectifs, l'intérêt financier est très limité.



4. Intérêt de la biomasse

- **Systèmes centralisés**

Introduire le bois en ville sous forme de pellets ou de plaquettes n'a pas toujours de l'intérêt pour un immeuble de logements collectifs sachant que le stockage posera nécessairement un problème. Il sera nécessaire de comparer l'intérêt de cette filière par rapport aux besoins de place pour les communs. Indépendamment de cette contrainte, la biomasse est intéressante d'un point de vue environnemental. Si ce type de production de chaleur est sélectionné, on sera attentif de choisir une ou des chaudières bois dont de rendement nominal se situe au moins à 92 %.

- **Systèmes décentralisés**

Les petits poêles à pellets individuels dans chaque appartement sont à proscrire car ils nécessitent une cheminée par appartement, ce qui augmente les montants d'investissement. De plus, le rendement réduit, la combustion imparfaite des poêles de petite puissance, la gestion des cendres, ... rend difficilement crédible cette filière.

5. le cycle stationnaire de la production

Les cycles de fonctionnement peuvent influencer fortement l'efficacité énergétique des systèmes de production de chaleur sachant qu'en régime transitoire, les rendements sont médiocres par rapport au régime stationnaire. Typiquement, il ne faudra pas descendre en dessous des valeurs des cycles de fonctionnement du tableau ci-contre.

Dans le cas des systèmes de production/émission se trouvant dans le volume chauffé, un temps de cycles stationnaire trop long n'est pas ou peu compatible avec une enveloppe passive voire même à basse énergie.

Système	Temps de cycle recommandé (minutes)
Chaudière gaz	1
Poêles et chaudière à pellets	30
Poêles et chaudière à bûches	60
Pompes à chaleur	20

Système	Temps de cycle recommandé (minutes)	Inertie du système	Ballon tampon ?	Combiné avec l'ECS ?
Chaudière gaz	1	Faible (volume d'eau faible)	Pas obligatoire	Oui
Poêles et chaudière à pellets	30	Moyen à forte	Conseillé	Oui
Poêles et chaudière à bûches	60	forte	Conseillé	Oui
Pompes à chaleur	20	Ballon de faible capacité (PAC modulante grâce à la technologie « inverter »)	En partie basse du ballon	En préchauffage

6. Combinaison de la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire

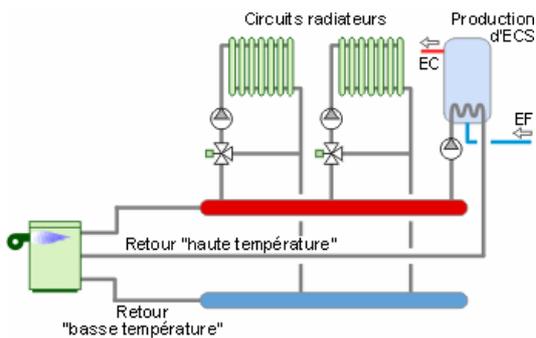
Une installation combinant la production de chaleur pour le chauffage et l'ECS permet de réduire l'investissement pour autant que le surdimensionnement du système de production soit maîtrisé. Les cahiers des charges énergétiques d'Energie+ (voir site : <http://www.energieplus-lesite.be/>) recommande la combinaison des deux systèmes de production de chaleur lorsque la puissance nécessaire pour produire l'ECS est supérieure à 30 % de la puissance du chauffage du bâtiment. Dans le cas contraire, une préparation de l'ECS par un système de production indépendant de celui du système de chauffage est à conseiller.

Attention toutefois que cette combinaison est délicate sachant que :

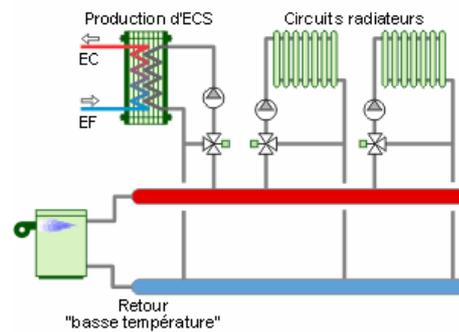


- le système de production de chaleur doit rester en service en mi-saison et en été. A ce moment, les pertes à l'arrêt des chaudières, les pertes du collecteur et un plus mauvais rendement de combustion des brûleurs qui fonctionnent souvent en cycles courts dégradent quelque peu le rendement. Ces arguments ne sont cependant plus réellement pertinents avec les chaudières modernes de qualité. Une régulation adéquate permet aux chaudières à faible volume d'eau de descendre en température, les pertes à l'arrêt des chaudières à grand volume d'eau sont très faibles. Enfin les plages de modulation de la chaudière moderne sont très larges (10 à 100%) ;
- pour une installation mal conçue la préparation de l'eau chaude sanitaire peut augmenter la température de retour et limiter la condensation. Des alternatives existent cependant pour ne pas perturber la condensation et ne pas détériorer par la même occasion le rendement de production.

Par exemple, en système centralisé :



Production de chaleur en semi-instantanée avec échangeur dans le ballon et retour à « haute température »
(Source : Energie+)



Production de chaleur avec échangeur à plaques dimensionné pour une température de retour de 4-45°C
(Source : Energie+)

7. Production instantanée ou semi-instantanée d'ECS?

Comme on l'a vu précédemment, la surface disponible en toiture doit être exploitée pour le placement de capteurs solaires thermiques vu, qu'en moyenne, les besoins d'ECS pourraient être couverts à hauteur de 40 à 60 % pour un immeuble de rez+4 à rez+6 suivant la configuration de la toiture (plate ou à deux versants).

Le choix du placement d'une installation solaire pour l'ensemble des logements d'un immeuble conditionne le choix d'un système de stockage d'ECS. Dans cette configuration, les systèmes à production d'ECS à accumulation ou à semi-instantané seront privilégiés.

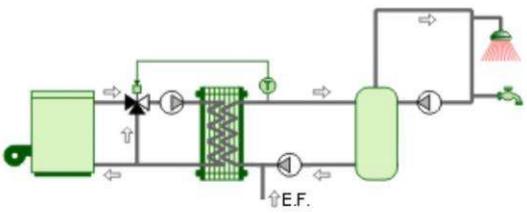
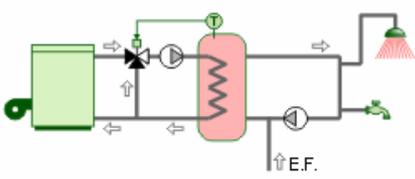
Indépendamment de la présence d'une installation solaire thermique, dans les logements collectifs, le choix d'une installation semi-instantanée est préférable sachant qu'en instantané pur les consommations électriques du circulateur primaire et les déperditions thermiques des échangeurs à plaques sont loin d'être négligeables.

Cependant, il est intéressant de comparer les différents systèmes. Le tableau suivant synthétise les points forts des deux alternatives principales³ :

	Principe	Points forts
Production instantanée	<p>(Source : Energie+)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - le faible encombrement ; - la faible charge au sol ; - l'absence de pertes par stockage ; - la bonne performance hygiénique : l'eau chaude ne stagne pas dans le préparateur, les risques de propagation de la légionnelle sont réduits ; - le faible coût d'investissement ; - éventuellement, le rendement de combustion, si l'échangeur à plaques est dimensionné pour une température de retour de 40...45°C.

³ Extrait du guide de rénovation des immeubles à appartements RELESO ; « Optimiser la production de chaleur et d'ECS » ; T. Geotghebuer ; MATRIciel ; 2009.



La préparation semi-instantanée	 <p>Echangeur à plaques extérieur au ballon (Source : Energie+)</p>  <p>Échangeur dans le ballon (source : Energie+)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - le confort ; - grâce au ballon d'eau chaude, les temps de réponse sont courts et les fluctuations de température réduites ; - la puissance ; - la puissance de production à installer est plus réduite qu'en instantané pur ; - éventuellement, le rendement de combustion, si l'échangeur à plaques est externe et dimensionné pour une température de retour de 40...45°C.
---------------------------------	--	--

ESPOIR

Le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire sont assurés par un système centralisé. La production est une chaudière à gaz à condensation. Un complément de préchauffage de l'ECS est assuré par des capteurs solaires thermiques (40 m²) et 2 ballons de 800 litres. Le placement de capteurs solaires thermiques dans un immeuble de logements collectifs implique souvent la centralisation des besoins de chauffage et d'ECS.



(Source : Ecorce)

Pour plus d'informations sur le projet Espoir, voir la fiche du **PROJET BATIMENTS EXEMPLAIRES n°060 (2008)**.

RUE WAUTERS

Le chauffage, la production de l'ECS et la ventilation hygiénique des duplex sont produits par une seule « machine » compacte décentralisée.

Le chauffage sur l'air hygiénique et l'ECS sont assurés par une pompe à chaleur eau/eau raccordée à une source froide géothermique.

Ce système est intéressant pour des espaces réduits ou en rénovation.



Production de chauffage, d'ECS et ventilation hygiénique

(Source : Bruxelles Environnement - IBGE)

Pour plus de renseignements sur le projet Rue Wauters, voir la fiche du **PROJET BATIMENTS EXEMPLAIRES n°017 (2007)**.

8. Intérêt du solaire thermique

Pour une bonne exposition (sud, sud-est, sud ouest), la couverture solaire des besoins d'ECS en préchauffage peut atteindre de l'ordre de 40-60 %. Ce type d'installation est complémentaire à une production classique par une chaudière à gaz à condensation par exemple. Le chauffage solaire thermique convient particulièrement



bien dans les logements collectifs car la chaleur centralisée peut être facilement refacturée par le syndic aux différents utilisateurs.

9. Dimensionnement de la production

• Chauffage

Les normes NBN B62-003 et NBN EN 12831 donne la méthode de dimensionnement des systèmes de production de chaleur en fonction :

- Des déperditions thermiques des parois,
- Des pertes par infiltration ;
- Des pertes et des besoins de chauffage liés à la ventilation hygiénique.

On limitera le surdimensionnement des installations de chauffage en se référant aux cahiers des charges énergétiques sur le site d'Energie+ : <http://www.energieplus-lesite.be/>. Attention toutefois que dans certains cas le surdimensionnement est apprécié sachant, par exemple, que la chaudière gaz à condensation a un meilleur rendement, lorsque légèrement surdimensionnée, elle travaille à faible régime. Par contre, une pompe à chaleur trop surdimensionnée ne pourra pas réguler sa puissance en dessous de 40 % en mi-saison.

• Eau chaude sanitaire

En termes de dimensionnement, les cahiers de charge énergétique Energie+ (<http://www.energieplus-lesite.be>) conseille de ne pas trop surdimensionner la puissance de production de chaleur combinée selon la règle suivante :

Dimensionnement production combinée = puissance de chauffage + puissance de chauffe de l'ECS – (surpuissance de relance + surpuissance de dimensionnement).

Réguler la chaleur

1. Règles générales

Avec le mode de production de chaleur, la qualité de la distribution et le choix du mode d'émission, la régulation constitue un des 4 éléments intervenant dans la qualité de l'installation de chauffage.

La régulation a un impact extrêmement important sur la consommation :

- l'absence d'intermittence en période d'inoccupation entraîne une surconsommation de 5 à 30 % (en fonction de l'inertie du bâtiment, de son niveau d'isolation et de la durée de l'inoccupation).

Une régulation de qualité de l'installation de chauffage doit permettre :

- de tenir compte du confort ressenti dans les différents espaces de l'immeuble ;
- le respect des températures de consigne intérieures, tenant compte des apports de chaleur gratuits ;
- l'intermittence de la fourniture de chaleur en période d'inoccupation ou d'inactivité (par exemple la nuit) ;
- la limitation des pertes de distribution et de production ;
- de tenir compte de modifications rapides de conditions météorologiques.

2. Mise en œuvre

Le choix d'une régulation prendra en compte les règles de mise en œuvre générales, à savoir :

- pour une régulation centralisée, chaque zone homogène en température sera alimentée par un circuit de distribution qui lui est propre. Les circuits de chauffages seront régulés en température glissante par rapport à l'extérieur et le circuit d'ECS par rapport à sa température de consigne de 60°C ;
- que la production soit centralisée ou pas, la régulation dans chaque appartement sera individuelle, assurera le respect des consignes de température indépendamment des apports internes et externes par le placement de vannes thermostatiques sur des radiateurs ou d'un thermostat d'ambiance pour un plancher chauffant basse inertie et permettra l'intermittence en période d'inoccupation par une programmation horaire par exemple.

On partira du principe que le regroupement de plusieurs besoins individuels permet :



- de rentrer dans des gammes de puissance de production plus compatibles avec le marché ;
- réaliser des économies d'échelle par rapport aux énergies renouvelables. Le placement de sondes géothermiques se justifiera plus facilement pour un groupe de besoins qu'un seul par exemple.

2.3. Rénovation basse énergie de logements collectifs

Produire et distribuer la chaleur

En rénovation, on tentera de conserver l'installation de chauffage existante si elle est récente. L'adjonction d'un système à énergie renouvelable ne pose pas trop de problème d'adaptation hydraulique.

Ce qui différencie ici la production et la distribution de chaleur dans les immeubles de logements à basse énergie par rapport aux logements passifs, c'est principalement :

- La puissance des équipements, vu que le niveau de déperdition est plus important. Le marché des équipements de systèmes permettant d'exploiter les énergies renouvelables est plus large. Par exemple, il est assez facile trouver des cogénérateurs dans la gamme des puissances de > 30 kW ;
- Les températures des sources chaudes et des émetteurs qui doivent être plus élevées et, par conséquent, réduisent la performance des systèmes de production de chaleur comme par exemple la PAC ;
- Les puissances plus élevées à « tirer » de la géothermie entraînent souvent « l'épuisement » du sol (il ne se régénère plus après quelques années). Le choix de la géothermie en basse énergie n'est pas le meilleur choix.

Distribuer et émettre la chaleur

Le fait de conserver l'installation existante permet de favoriser les bas régimes de température. En effet, les émetteurs étant surdimensionnés, pour une même puissance, les températures d'eau peuvent être plus basses, tout profit pour des systèmes comme les PAC.

Réguler la chaleur

Si on conserve la production existante, la régulation de la production devra être modifiée de manière à réaliser une cascade :

- en faisant passer en priorité le système à énergie renouvelable ;
- en donnant le complément avec le système existant.

Les planchers chauffants existants à forte inertie seront délicats à réguler en mi-saison. Une solution de régulation est de placer la sonde de température externe au sud sous abri de manière à prévenir des surchauffes en mi-saison.

MUNDO-B

Le chauffage d'une partie de bâtiment est assuré par une pompe à chaleur eau/eau couplée à une géothermie. Une source froide composée de 4 sondes verticales de 115 m de profondeur forées dans la cour interne permet d'alimenter une pompe à chaleur de 28 kW en énergie renouvelable.

Cet exemple montre qu'il est possible même en pleine ville d'envisager un forage géothermique à l'intérieur d'un îlot en valorisant des énergies renouvelables pour un immeuble ou plus large au niveau d'un îlot d'immeubles.



(Source : EREC)

Pour plus de renseignements, consulter le site : <http://www.erec.org> et la fiche du **PROJET BATIMENTS EXEMPLAIRES n°067 (2008)**.



2.4. Les éléments pour orienter les choix

Pour les projets de conception d'immeubles de logements, la motivation d'investir dans des énergies renouvelables est résumée dans le tableau suivant :

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité Potentiel et intérêt de développement		Favorable	
				Intérêt mitigé	
				Peu favorable	
		Immeuble de logement			
		Neuf passif	Rénové à basse énergie		
Huile végétale	Cogénération	Production	Production centralisée et semi-instantanée plus avantageuse	Conservation de l'installation existante si système en bon état	
		Puissance	Gamme < 11 kW limitée	Large gamme de puissance entre 11 et 30 kW voire plus	
		Stockage	Facile		
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance donné par une chaudière gaz la plupart du temps	Donné par le système existant	
Géothermie et hydrothermie	PAC eau/eau et sol/eau	Production	Production décentralisée au niveau de chaque appartement avec une source froide commune	Conservation de l'installation existante si système en bon état pour l'ECS et le backup	
		Puissance	Large gamme de puissance		
		Source froide	La géothermie peut être difficile à mettre en place et est coûteuse L'hydrothermie est facile à mettre en place et moins coûteuse que la géothermie	Dans un ilot existant, la géothermie est difficile à mettre en place et coûteuse	
		Pérennité de la source froide	Pour la géothermie à sonde verticale, pérennité assurée si des besoins de froid au niveau d'immeubles mixtes avec des commerces ou bureaux existent ; Pour la géothermie à capteur plan, pérennité assurée pour autant que le dimensionnement soit correct	Le sol ne se régénère plus dans la plupart des cas.	
		Source chaude	Vu les faibles déperditions, les températures des émetteurs peuvent être basses, ce qui améliore la performance énergétique de la PAC	Les déperditions étant plus importantes, les températures des émetteurs seront plus élevées qu'en passif, ce qui limite la performance énergétique de la PAC	
		Performance de la PAC	Pour une source chaude basse température, bonne performance	Pour une source chaude moyenne température, performance moyenne	
		Complément de puissance	Si système centralisé, besoin d'un complément comme la chaudière gaz à condensation ou encore le préparateur d'ECS. Adjoindre le solaire thermique	Système de chauffage existant et solaire thermique	



Aérothermie	PAC air/eau	Production	Production décentralisée au niveau de chaque appartement avec une source froide commune	Conservation de l'installation existante si système en bon état pour l'ECS et le backup
		Puissance	Large gamme de puissance	
		Source froide	Disponible partout ; Attention aux nuisances sonores	
		Source chaude	Vu les faibles déperditions, les températures des émetteurs peuvent être basses, ce qui améliore la performance énergétique de la PAC	Les déperditions étant plus importantes, les températures des émetteurs seront plus élevées qu'en passif, ce qui limite la performance énergétique de la PAC
		Performance de la PAC	Pour une source chaude de basse température et une température de source froide basse, performance moyenne	Pour une source chaude de moyenne température et une température de source froide basse, performance limitée
		Complément de puissance	Si système centralisé, besoin d'un complément comme la chaudière gaz à condensation ou encore le préparateur d'ECS. Adjoindre le solaire thermique	Système de chauffage existant et solaire thermique
Solaire thermique	Pour ECS	Production	Production centralisée au niveau de chaque immeuble	
		Puissance	Puissance limitée en fonction de la surface des toitures. Pas trop de problème à Bruxelles	
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance donné par une chaudière gaz à condensation la plupart du temps	

Energie fossile

On préférera le gaz comme vecteur énergétique de par la possibilité d'exploiter :

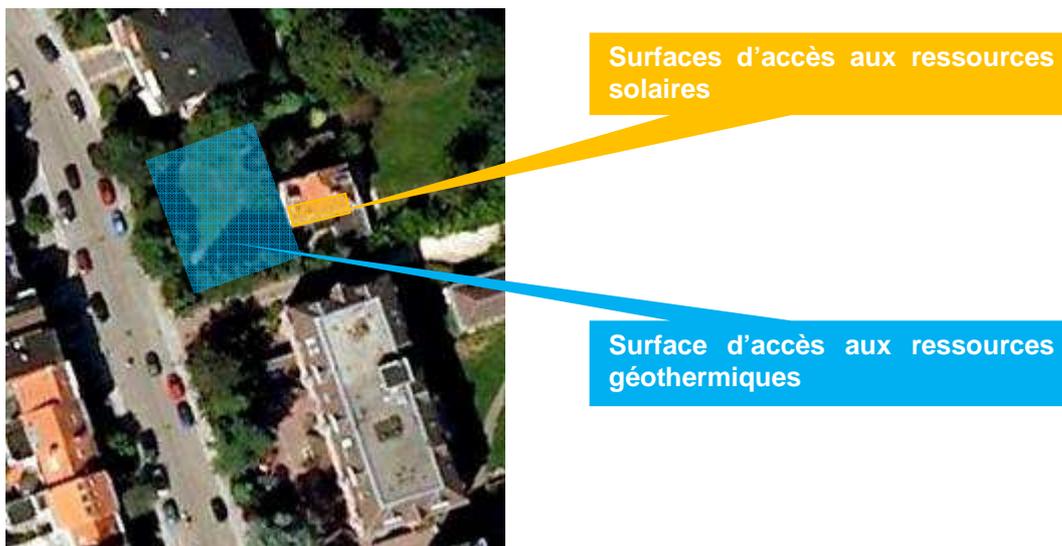
- la très bonne performance énergétique des chaudières gaz à condensation ;
- la bonne performance énergétique et environnementale des PAC gaz ;
- la réduction de l'impact environnemental des cogénérations gaz.

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité Potentiel et intérêt de développement		Favorable	
				Intérêt mitigé	
				Peu favorable	
Gaz	Chaudière, PAC gaz, cogénération	Logement collectif			
		Neuf passif		Rénové à basse énergie	
		Production	Production centralisée	Si mazout à remplacer	
		Puissance	Large gamme de puissance		
		Stockage	Pas de stockage		
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance si cogénération ou PAC gaz		



3. A L'ECHELLE DU LOGEMENT INDIVIDUEL

3.1. Systèmes applicables aux ressources renouvelables



(Source : google earth)

3.2. Nouvelle maison individuelle passive

Produire, distribuer, émettre et réguler la chaleur

Le choix de la production de chaleur en chauffage et en ECS pour les maisons individuelles passives fait appel à des petites puissances au niveau de la production. C'est à ce niveau qu'il faut faire attention de ne pas introduire des systèmes de production incompatibles avec un habitat peu gourmand en énergie. Autant la cohabitation raisonnée d'un système de production de chaleur à énergie fossile avec un système à énergie renouvelable peut se justifier dans le collectif, autant on évitera de multiplier les sources de production dans l'habitat individuel passif mis à part, bien entendu, le solaire thermique pour la préparation de l'ECS.

On essayera de garder à l'esprit qu'une maison passive, est une maison quasi sans système de chauffage tout en sachant qu'il sera toujours nécessaire de fournir de l'ECS.

En individuel, la production de chauffage et d'ECS combinés est une pratique courante dans les maisons passives en tenant compte du fait que les besoins d'ECS deviennent prépondérants.

Au niveau de l'émission de chauffage, on envisagera de le réaliser par l'air hygiénique sachant que les débits de ventilation peuvent être suffisants pour délivrer la chaleur nécessaire. Attention que c'est du cas par cas.

Sur base d'une étude de l'UCL⁴ les combinaisons des systèmes de production de chaleur pour le chauffage et l'ECS se focalisent sur :

- Les pompes à chaleur ;
- Les poêles ou chaudières au bois (bûches et pellets).
- Les chaudières gaz à condensation ;
- L'électricité en direct;

1. Intérêt de la géothermie, hydrothermie et aérothermie (PAC)

Ce qui distingue les PAC entre elles est la nature des sources chaudes et froides, à savoir :

- La géothermie, tout comme l'hydrothermie, fera appel à une PAC eau/eau puisque le transfert de chaleur entre le sol et la PAC est réalisé via de l'eau (glycolée ou pas) au travers de sondes verticales ou de capteurs plan pour la géothermie, et un échangeur pour l'hydrothermie. La source chaude sera la plupart du temps de l'eau ;

⁴ Note de synthèse : « Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons individuelles à basse et très basse consommation d'énergie » ; C. Massart et L. Georges ; Architecture et Climat ; novembre 2009



- l'aérothermie, quant elle, utilisera souvent une PAC air/eau. Cependant, Il existe aussi des PAC compactes air/air intégrées dans le système de ventilation mécanique hygiénique. Le chauffage se fait donc sur l'air avec un appoint éventuel électrique (résistance chauffante)

Les critères de sélection seront :

- La performance énergétique des PAC. En général, de par la nature des sources froides (en Belgique, la température moyenne des sols est supérieure à celle de l'air), les PAC eau/eau ont une meilleure performance énergétique (SPF : Seasonal Performance Factor ou COP saisonnier) ;
- la surface disponible au sol dans le cas de la géothermie. Lorsqu'il y a un manque de place, pour autant que la composition du sol le permette, les sondes verticales pourront être envisagées ;
- les nuisances sonores et l'exposition par rapport au soleil pour l'aérothermie.

Il est nécessaire, pour ce type de technologie, d'adapter la puissance en fonction du niveau de performance du bâtiment. Les PAC ont les caractéristiques suivantes :

- Les puissances minimales sont de l'ordre de 6 kW ;
- La modulation de puissance est comprise entre 40 et 100 % de la puissance nominale pour les PAC équipées « d'inverter » ;
- Le cycle de fonctionnement est de l'ordre de 20 minutes (ce qui est relativement long) ;
- L'investissement est très fluctuant suivant le type de source chaude et froide envisagée. Par exemple, la géothermie coûte de l'ordre de 50 €/m foré ;
- Suivant la performance saisonnière de la PAC (SPF : seasonal Performance Factor), le bilan environnemental est positif. Une PAC eau/eau géothermique peut atteindre un SPF de l'ordre de 4, une PAC air/eau l'ordre de 3 ;
- Une PAC associée avec un ballon de stockage et combinant la production de chauffage et d'ECS, risque de voir sa performance énergétique « dégringoler » lorsque les températures du ballon sont élevées pour lutter contre la prolifération des légionelles (température de source chaude trop élevée) ;
- En ville, les PAC aérothermique.....risquent de devenir une source de nuisance si elles sont développées à grande échelle. La Division Inspectorat de Bruxelles Environnement – IBGE est régulièrement confrontée au traitement de dossiers de plaintes pour nuisance sonore relative à des installations HVAC, dont une partie concerne des pompes à chaleur aérothermiques.

Intérêt de la biomasse

Dans les logements passifs, les poêles avec inertie ne seront pas conseillés sachant que l'on risque la surchauffe. Combiné avec la production d'ECS via un ballon tampon, ce système peut être intéressant sachant qu'il peut compenser le manque de modulation de puissance (minimum 50 % de la puissance nominale).

Indépendamment de la problématique de chauffer une ville avec du bois, l'avantage certain de la filière bois est que le bilan environnemental est très favorable.

Toutefois attention :

- Au besoin de stockage par toujours évident en ville ;
- A l'investissement qui est conséquent (de l'ordre de 2 à 3 fois celui d'une chaudière gaz à condensation) ;
- A la gestion des cendres ;
- A l'émission de particules fines.

Intérêt du solaire thermique

Une habitation individuelle passive sera encore plus intéressante pour envisager une installation solaire thermique. En effet, on envisagera la possibilité financière de surdimensionner l'installation solaire thermique pour couvrir une partie des besoins de chauffage.

Attention, toutefois, aux ombres portées plus présentes lorsque les bâtiments sont bas, ce qui est le cas pour les logements individuels.



Intérêt du gaz

A Bruxelles, la plupart des habitations disposent d'un raccordement au gaz naturel, ce qui fait de ce vecteur énergétique une source privilégiée mais de nature fossile.

Elle présente les avantages suivants :

- Rendement élevé de chaudière à gaz à condensation (de l'ordre de 104 %) ;
- Temps de réponse rapide aux fluctuations des besoins ;
- Puissance de chaudière bien adaptée aux faibles besoins ;
- Modulation de puissance comprise entre 10 et 100 % ;

D'un point de vue financier, l'investissement est moyen. Une des seules ombres au tableau est que, d'un point de vue environnemental, c'est une énergie fossile.

Les émetteurs associés peuvent être des radiateurs à basse température ou une batterie chaude dans le système de ventilation hygiénique par exemple.

Intérêt de l'électricité

De manière très générale, dans les immeubles à basse énergie ou passifs, l'approche pour les systèmes de chauffage et d'ECS électriques sont attirantes sachant que :

- Le temps de réponse des radiateurs électriques est très faible et donc bien adapté lorsque les besoins sont faibles ;
- Il n'y a pas de stockage de combustible ;
- L'investissement est faible ;
- ...

Ce système souffre cependant des prix pratiqués pour l'électricité de jour et de son bilan environnemental défavorable en terme de consommation d'énergie primaire (selon la réglementation PEB, 1 kWh « électrique » correspond à 2,5 kWh d'énergie primaire) et en terme d'émission de CO₂ (0,395 kg CO₂/kWh_{électrique} contre 0,060 kg CO₂/kWh pour le bois en RBC). En ce qui concerne l'ECS, par accumulation, on peut bénéficier du tarif de nuit plus favorable mais le bilan environnemental restera défavorable.

3.3. Rénovation basse énergie d'une maison individuelle

Produire la chaleur

En rénovation, on tentera de conserver l'installation de chauffage existante si elle est récente. L'adjonction d'un système à énergie renouvelable ne pose pas trop de problème d'adaptation hydraulique.

En rénovation basse énergie, se chauffer avec l'air hygiénique est illusoire. Les débits de ventilation ne sont pas suffisants pour que l'air, caloporteur limité en capacité calorifique (0,34 Wh/(m³h)/K), puisse assurer les besoins de chaleur. L'augmentation des débits permettant d'assurer ces besoins, nécessiterait :

- de surdimensionner le réseau aéraulique en entraînant :
 - Des tailles de gaines de ventilation non négligeables souvent incompatibles avec l'architecture interne ;
 - Un surcoût des installations ;
 - Des consommations électriques des ventilateurs importantes susceptibles de concurrencer les consommations de chauffage proprement dites, ...
- d'augmenter les vitesses d'air mais entraînerait des problèmes acoustiques importants.

Pour les nouveaux systèmes, on adoptera le principe de choix de la production de chaleur des bâtiments collectifs, toute proportion gardée bien entendu en tenant compte :

- d'une puissance de chauffe plus faible ;
- d'une combinaison des besoins de chauffe et d'ECS ;



Distribuer et émettre la chaleur

Le fait de conserver l'installation existante permet de favoriser les bas régimes de température. En effet, les émetteurs étant surdimensionnés, pour une même puissance, les températures d'eau peuvent être plus basses, tout profit pour des systèmes comme les PAC ;

Aussi, la boucle d'ECS n'est pas nécessaire sachant que les besoins sont en général discontinus au cours de la journée.

Remarque :

Dans les maisons individuelles à basse énergie, au cas par cas, on traitera le problème des poêles « masse » ou à faible inertie dans le volume chauffé.

Réguler la chaleur

La régulation de la production devra être modifiée de manière à réaliser une cascade :

- en faisant passer en priorité le système à énergie renouvelable ;
- en donnant le complément avec le système existant.

Les planchers chauffants existants à forte inertie seront délicats à réguler en mi-saison. Une solution de régulation est de placer la sonde de température externe au sud sous abri de manière à prévenir des surchauffes en mi-saison.

Enfin, on intensifiera les plages d'intermittence en cas d'inoccupation sachant que le bâtiment se refroidira moins vite qu'un bâtiment fort déperditif.

3.4. Les éléments pour orienter les choix

Energies renouvelables

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité Potentiel et intérêt de développement		Favorable
				Intérêt mitigé
				Peu favorable
			Quartier	
			Neuf passif	Rénové à basse énergie
Bois	Chaudière, poêle masse et à pellets	Production	Décentralisé	Branché sur l'installation existante
		Technico-économique	Economiquement parlant, cette technique s'en sort assez bien quand on considère les bûches ou les pellets.	
		Environnement	Le bilan environnemental est excellent pour autant que l'on privilégie les filières renouvelables du bois (production et consommation locale du bois). En ville, la filière bois de proximité est assez réduite	
		Puissance	Large gamme de puissance	
		Stockage	Mitigé suivant la surface allouée	
		Complément de puissance	Solaire thermique	Système existant et solaire thermique
Hydrothermie urbaine	Production et appoint	Production	Production centralisée avec le solaire thermique	
		Puissance	Large gamme de puissance	



		Source froide	La géothermie est plus facile à mettre en place (pour autant que de l'espace soit disponible) et est coûteuse L'hydrothermie est facile à mettre en place et moins coûteuse que la géothermie	Pour une maison existante, la géothermie est difficile à mettre en place et coûteuse
		Pérennité de la source froide	pour la géothermie à sonde verticale, il faut être très attentif à la pérennité de la ressource et une modélisation détaillée à l'aide de logiciels spécifiques est indispensable. Par ailleurs, il se peut, qu'en absence de besoins de froid, le sous-sol au droit du site ne puisse pas garantir la pérennité de la ressource sans que le nombre de mètres de sondes ne devienne exagérément élevés	
		Source chaude	Vu les faibles déperditions, les températures des émetteurs peuvent être basses, ce qui améliore la performance énergétique de la PAC	Les déperditions étant plus importantes, les températures des émetteurs seront plus élevées qu'en passif, ce qui limite la performance énergétique de la PAC
		Performance de la PAC	Pour une source chaude basse température, bonne performance	Pour une source chaude moyenne température, performance moyenne
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance électrique pour le dégivrage et solaire thermique	Système existant et solaire thermique
Solaire thermique	Pour ECS	Production	Production centralisée	
		Puissance	Puissance limitée en fonction de la surface des toitures. Pas trop de problème à Bruxelles	
		Complément de puissance	Besoin d'un complément de puissance renouvelable de préférence	Installation existante

Energies fossiles

Vecteurs énergétiques	Production et appoint	Critères énergétiques, de confort et de durabilité Potentiel et intérêt de développement		Favorable
				Intérêt mitigé
				Peu favorable
		Quartier		
		Neuf passif	Rénové à basse énergie	
Gaz	Chaudière, PAC gaz	Production	Production centralisée	Si mazout, remplacement chaudière
		Puissance	Large gamme de puissance	
		Stockage	Pas de stockage	
		Environnement	Cela reste une source fossile même si les rendements énergétiques (104 % sur PCI) sont excellents	
Tout électrique	Radiateur direct	Emission	Rendement excellent, facilité de placement, de régulation, d'entretien	
		Puissance	Large gamme de puissance	
		Environnement	Le rendement des centrales en Belgique vient minimiser le bilan environnemental	



CONCLUSION

1. ENJEUX

- En premier lieu, on limitera toujours les besoins énergétiques qu'ils soient de chauffage par la limitation des déperditions au travers des parois et par infiltrations, des besoins de ventilation hygiénique en fonction de l'occupation réelle des bâtiments, ... ou d'ECS par la limitation des débits des points de puisage et des pressions du réseau, ...
- Ensuite, les besoins résiduels seront assurés par un système de chauffage et d'ECS adapté :
 - À la disponibilité des ressources renouvelables à proximité du projet ;
 - À la configuration du quartier, au type de bâtiment (immeuble à appartements ou maison individuelle) ;
 - Au niveau de performance du bâtiment (neuf passif, rénovation basse énergie), ...

2. COHABITATION DES ENERGIES RENOUVELABLES ET FOSSILES

- Même si elles sont limitées en ville, on privilégiera toujours l'exploitation des ressources renouvelables locales (proximité d'un cours d'eau pour l'hydrothermie, jardins d'un îlot d'immeubles pour la géothermie, toitures disponibles pour le solaire thermique, ...). La vraie richesse des ressources passera aussi par la diversification ;
- Pour les projets de grande et moyenne dimension, la cohabitation raisonnée des énergies renouvelables et fossiles sera nécessaire pour une question de sécurité et de complémentarité. En effet, la source renouvelable devra couvrir au maximum les besoins de chauffage et d'ECS, et la source fossile le complément de puissance pour les conditions extrêmes d'hiver.

3. CHOIX DES PRODUCTIONS DE CHALEUR

3.1. Quartier

- Une production centralisée sera souvent recommandée au niveau d'un quartier d'un point de vue de l'efficacité énergétique, de la possibilité de développer un système de chauffage à énergie renouvelable et d'inclure le solaire thermique. On prendra en compte le critère de rentabilité des réseaux de chaleur à savoir : la densité de raccordement doit être supérieure à 1.500 kWh/mc et 1,5 kW/mc de fouille (surinvestissement dans le réseau et pertes de distribution supplémentaires) ;
- Dans le cas particulier de la géothermie et de l'hydrothermie, on s'orientera plutôt vers un réseau de PAC décentralisées par immeuble et branchées sur la source froide via une boucle d'eau ;
- La plupart du temps, un complément de chaleur sera donné par une ressource fossile. On conseillera le gaz, de manière à favoriser la chaudière gaz à condensation (104 % de rendement sur PCI) ;
- Une installation solaire thermique peut avantageusement couvrir 40 à 60 % des besoins d'ECS. On privilégiera le solaire thermique décentralisé par immeuble.

3.2. Bâtiment collectif : immeuble à appartement

- Une production centralisée sera souvent recommandée au niveau d'un immeuble à appartements d'un point de vue de l'efficacité énergétique, de la possibilité de développer un système de chauffage à énergie renouvelable et d'inclure le solaire thermique ;
- Pour une rénovation basse énergie, pour autant qu'il soit performant énergétiquement parlant, on tentera de garder le système existant comme complément de puissance ou backup de la production de chaleur à énergie renouvelable ;
- Dans le cas particulier de la géothermie et de l'hydrothermie, on s'orientera plutôt vers un réseau de PAC décentralisées par appartement et branchées sur la source froide via une boucle d'eau ;
- Pour le neuf passif, la plupart du temps, un complément de chaleur sera donné par une ressource fossile. On conseillera le gaz, de manière à favoriser la chaudière gaz à condensation (104 % de rendement sur PCI) ;



- La combinaison des besoins de chauffage et d'ECS, dans le cas des PAC, est plus délicate. On privilégiera le complément de puissance d'une chaudière gaz à condensation par exemple (attention à la configuration du retour d'eau chaude) pour assurer les besoins d'ECS ;
- Une installation solaire thermique peut avantageusement couvrir 40 à 60 % des besoins d'ECS. On privilégiera une installation centralisée au niveau de l'immeuble.

3.3. Logement individuel : maison unifamiliale ou appartement isolé

- Pour une rénovation basse énergie, pour autant qu'il soit performant énergétiquement parlant, on tentera de garder le système existant comme complément de puissance ou backup de la production de chaleur à énergie renouvelable ;
- Pour le neuf passif, on considérera le chauffage sur l'air hygiénique comme une alternative intéressante par rapport aux systèmes de chauffage classique. En effet, des systèmes de chauffage comme les PAC compactes intégrées dans le système VMC (ventilation mécanique contrôlée) existent sur le marché;
- Une installation solaire thermique peut avantageusement couvrir 40 à 60 % des besoins d'ECS ;
- La combinaison des besoins de chauffage et d'ECS dans le cas des PAC est plus délicate :
 - En conception passive, les besoins de chauffage et d'ECS seront couverts par une seule PAC. Une partie du complément sera donnée par le solaire thermique ;
 - En rénovation basse énergie, pour autant que le système existant de chauffage soit de bonne qualité, les besoins de chauffage seront couverts par une seule PAC. Les besoins d'ECS pouvant être couverts en partie par le solaire thermique et en partie par l'ancien système de chauffage ;
- Surtout pour les logements passifs, on peut prendre en considération les systèmes « tout électrique » pour autant que l'on y adjoigne un complément renouvelable comme le solaire thermique ou photovoltaïque.



Rédaction : MATRIciel

Comité de lecture : Bruxelles Environnement - IBGE

Editeurs responsables : J.-P. Hannequart & E. schamp – Gulledelle 100 – 1200 Bruxelles

