

NOM :.....

Prénom :.....

Date :

SYNTHESE DE TEXTES (45 min)

A partir de la lecture de ces deux articles, répondez aux questions suivantes :

1/ Lister les avantages et inconvénients des Pompes A Chaleur (PAC) hybrides ?

2/ Expliquer succinctement les paramètres clés d'un fonctionnement optimal des PAC hybrides ?

3/ Lister les principales différences¹ entre les deux articles? (Utiliser le verso de cette feuille)

¹ On s'intéressera aux différences en termes d'objectifs et de méthode et non à la structure de l'article

Retour de suivi sur sites : chaudières hybrides gaz à condensation/PAC en habitat résidentiel neuf

Les exigences de la RT 2012, rendant obligatoire le recours à une énergie renouvelable en maison individuelle neuve, ont changés radicalement le contenu des solutions de confort thermique pour ce type de logement. C'est dans ce cadre, qu'Engie et la société Atlantic ont travaillé de concert pour apporter une solution gaz innovante répondant à la RT en associant une chaudière gaz condensation et une pompe à chaleur air/eau de petite puissance.

Constructeur de solution de confort thermique multi-énergie, Atlantic a intégré dès 2009 dans son offre commerciale des produits hybrides associant chaudière et pompe à chaleur. Il est donc apparu tout à fait naturel, dès 2010 et en anticipation à la RT 2012, de travailler en collaboration avec Engie pour valider l'intérêt de ce type de solution gaz au regard de cette nouvelle réglementation.

Ce projet commun a débouché, après une période de test en laboratoire, sur la mise en place de deux field tests avec pour objectifs :

- de valider les performances énergétiques de ce produit sur une saison complète de chauffe,
- de vérifier si le confort du client était assuré,
- de valider le fonctionnement de la régulation sur énergie primaire.

Descriptif du produit

La chaudière hybride Hynéa duo gaz d'Atlantic est un système bi-blocs composé : d'une unité extérieure intégrant les compresseur, ventilateur et évaporateur d'une pompe à chaleur électrique air extérieur/eau de 3 kW à 7 °C, d'une unité intérieure comprenant le condenseur du système thermodynamique, une chaudière à condensation de 24 kW et un ballon de

stockage d'eau chaude sanitaire de 120 l. Les deux unités sont reliées par liaisons frigorifiques au R410a.

Sa régulation électronique pilote le fonctionnement de l'appareil en fonction de la performance sur énergie primaire du système, à savoir :

• si le Cop de la pompe à chaleur est supérieur à 2,58 (coefficient de conversion en énergie primaire de l'électricité), c'est cette dernière qui assure le chauffage de la maison ;

• si le Cop de la pompe à chaleur est inférieur à 2,58, c'est la chaudière qui fonctionne.

L'association des deux technologies permet aussi une très large plage de modulation. En effet, grâce à la PAC Inverter la puissance minimum en chauffage peut descendre jusqu'à 1 kW et, grâce à la chaudière la puissance maximum est de 24 kW. Cela permet au produit, à la fois de s'adapter aux très faibles besoins des maisons RT 2012, tout en assurant un confort sanitaire optimum de 20 l/mn selon la EN 13203.

Description des sites et de leur instrumentation

Deux sites ont été identifiés fin 2011 pour l'implantation et le suivi des performances du système en fonctionnement réel.

L'instrumentation sur les deux sites a

Deux sites instrumentés

Analyse des résultats et des performances

Par Patrick Robinet, Crigen-Engie et Christophe Thebault, Atlantic



Hynéa hybrid duo

été identique. Les données mesurées ont été les suivantes : Consommation Gaz, Consommation Électrique totale du système, Température extérieure, Température Départ radiateurs, Température Retour radiateurs, Température Départ plancher, Température Retour plancher, Débit Eau plancher, Température Eau chaude ECS, Température Eau froide ECS, Débit Ballon ECS et le signal V3V (> figure 1).

Analyse des résultats : site de Jepsheim (Alsace)

Le site de Jepsheim, donne de bons résultats et confirme l'optimisation de la régulation sur énergie primaire en mode chauffage.

La fin de la saison de chauffe 2012-2013 (hiver assez froid) et la saison de chauffe

Site	Type d'habitation	Localisation	Zone climatique	Début du suivi	ECS	Chauffage
1	Pavillon neuf	Jepsheim (67)	H1b	Juin 2012	ballon intégré	plancher + BT
2	Pavillon neuf	Quimper (29)	H2a	Janvier 2014	ballon intégré	plancher + BT

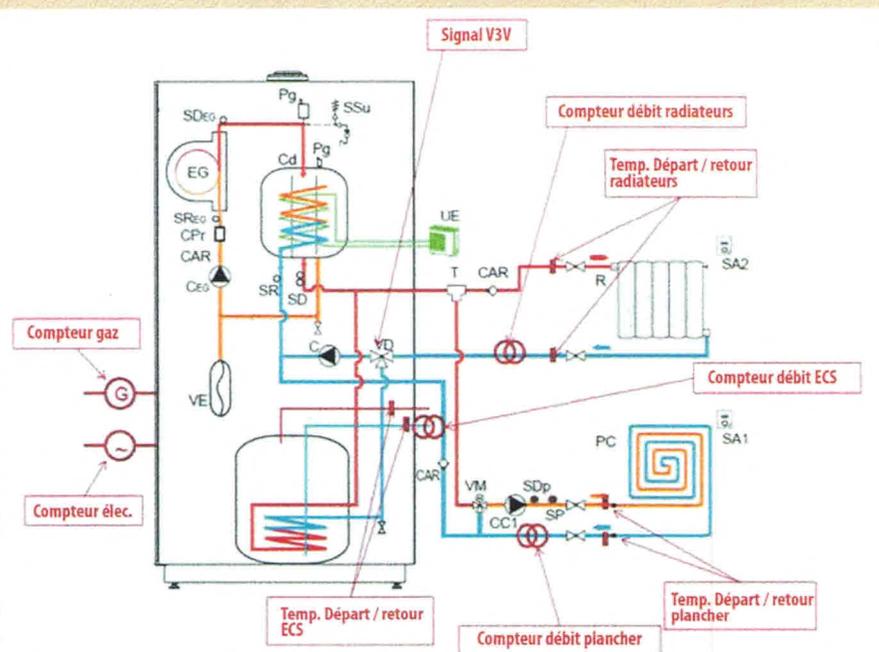


Figure 1 Schéma type de l'implantation métrologique

2013-2014 (hiver plutôt clément) montrent que la régulation sur EP fonctionne bien. Les COP moyens (sur EP) en chauffage sur ces deux périodes sont respectivement de 1,16 et 1,41. Les COP journaliers varient en fonction de la température extérieure :

- COP < 1 pour $T_{ext} < 3^{\circ}\text{C}$, la chaudière assure majoritairement la production de chauffage;
- COP > 1 pour $T_{ext} > 3^{\circ}\text{C}$, la chaudière vient en appoint de la PAC.

La production (en EP) de chauffage est assurée à plus de 40 % par la PAC (jusqu'à 87 % si les températures sont assez clémentes). La période estivale 2013 montre que la production d'ECS est assurée à plus de 85 % par la chaudière. Ceci est conforme aux estimations et aux choix techniques faits par Atlantic. En effet, la bonne performance en mode chauffage n'oblige pas d'effort particulier pour la production

d'ECS pour atteindre les exigences de la RT 2012.

Sur l'ensemble de la période de suivi le système a montré de bonnes performances en mode chauffage.

Le confort sur l'ensemble des périodes 2012 - 2104 a été jugé très satisfaisant par le client.

Analyse des résultats : site de Quimper (Bretagne)

Le site de Quimper confirme les bons résultats obtenus à Jébsheim.

Le COP moyen sur la fin saison de chauffage 2013/2014, (températures clémentes pour la saison à Quimper) est de 1,47. Le chauffage est assuré à plus de 85 % par la PAC.

Ces deux tests grandeurs nature ont permis de valider la performance de la solution chaudière hybride Hynéa d'Atlantic comme

	Période hivernale 2013-2014 ¹
COP(EP) moyen chauffage	1,47
Part PAC chauffage (EP)	89 %
Part chaudière chauffage (EP)	11 %

produit répondant à la réglementation thermique 2012 :

- la régulation sur énergie primaire assure le 5 kWh(ep)/m²/an d'énergie renouvelable obligatoire en maison individuelle ;
- la performance intrinsèque du produit permet de répondre à l'exigence des 50 kWh(ep)/m²/an.

Ils ont aussi démontré que la solution chaudière hybride est très économe à l'usage. Pour preuve, Hynéa hybrid duo, installée avec une sonde extérieure, obtient, selon la réglementation ERP, un rendement saisonnier sur PCS de 128 % qui est conforme aux mesures effectués sur sites. Cela permet d'obtenir une classe énergétique A++.

À titre de comparaison, une chaudière condensation, toujours avec une sonde extérieure, à un rendement saisonnier, selon la même réglementation, de l'ordre de 94 %, ce qui lui octroie une classe énergétique A.

Et la suite ?

Depuis ces field tests et la mise sur le marché d'Hynéa hybrid duo début 2013, Atlantic a développé la chaudière hybride murale Hysaé. Cette dernière permet d'obtenir les mêmes performances dans l'encombrement d'une chaudière murale traditionnelle de 450 mm de large. ■ 31-34-85

¹ Sur la période, les températures moyennes supérieures de 2,5 à 4°C aux normales de saison.

	Période hivernale 2012-2013	Période estivale 2013	Période hivernale 2013-2014
COP(EP) moyen chauffage	1,16	1,73	1,41
Part PAC chauffage (EP)	42,4 %	87,9 %	56 %
Part chaudière chauffage (EP)	57,6 %	12,1 %	44 %
Part PAC ECS (EP)	5,3 %	14,2 %	7,8 %
Part chaudière ECS (EP)	94,7 %	85,8 %	92,2 %
COP(EP) moyen chauffage + ECS	1,13	0,63	1,28

Retour de suivis sur sites : pompes à chaleur hybrides en habitat résidentiel existant

Évaluation des performances sur un parc de machines installées

Le dimensionnement : un élément clé du succès en rénovation

Par P. Dalicieux, F. Courtot, G. Dejardins, K. R. Deutz, EDF R&D, ingénieurs au département Energie dans les bâtiments et les territoires (Enerbat)

La PAC hybride constitue une solution intéressante et rentable pour introduire de l'énergie renouvelable et améliorer la performance énergétique dans l'habitat résidentiel existant. Afin d'évaluer les solutions techniques actuelles, EDF R&D a suivi une dizaine de pompes à chaleur hybrides installées en remplacement de chaudières fioul et gaz en maisons individuelles, sur plusieurs zones climatiques. Cet article présente une vision globale des résultats, en s'attachant aux gains sur la facture annuelle, à la part d'énergie renouvelable et à la flexibilité électrique.

Une pompe à chaleur (PAC) hybride est un système de production de chaleur associant deux générateurs : une pompe à chaleur classique et une chaudière à combustible fossile, par exemple : gaz naturel, fioul ou propane. D'après la roadmap technologique sur les systèmes CVC efficaces dans les bâtiments pour l'horizon 2050, publiée par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et l'avis de l'Ademe sur les modes de chauffage dans l'habitat individuel, les systèmes hybrides vont jouer un rôle clé pour atteindre les objectifs nationaux d'accroissement de l'efficacité énergétique des bâtiments individuels et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (1) (2). Cependant, selon l'AIE, un travail de R&D est encore nécessaire afin de pouvoir soutenir un important développement de la technologie à l'horizon 2020. Ce travail permettra à la PAC hybride de devenir une solution particulièrement pertinente en rénovation de l'habitat chauffé au fioul en raison d'émissions de CO₂ importantes sur ce parc et d'un prix du combustible fluctuant.

Un principe de fonctionnement basé sur la complémentarité

Le système hybride permet de couvrir les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) du bâtiment. Un système de pilotage permet de répartir la production sur les deux générateurs en fonction d'un critère d'optimisation et de puissance disponible, propre à la machine. La puissance de la partie PAC est fortement liée à la tem-

pérature de sa source froide. Il existe donc une température extérieure de bascule pour laquelle la puissance fournie par la PAC est inférieure aux besoins et la chaudière effectue le complément en puissance (> figure 1). À ce moment et jusqu'à la température de mise à l'arrêt de la PAC, moment auquel le critère de performance évalué par le Coefficient de Performance (COP) n'est plus respecté ($COP_{PAC} < COP_{pilotage}$), la PAC et la chaudière fonctionnent de façon complémentaire. Aux températures les plus basses, la chaudière fonctionne seule pour couvrir les besoins.

Ce fonctionnement complémentaire entre les deux générateurs confère de multiples avantages :

- Réduction du coût de chauffage en profitant du COP de la PAC et du pilotage.
- Insertion d'une part d'énergie renouvelable dans le bâti.
- Réduction des émissions de CO₂ par rapport à une chaudière seule.
- Flexibilité de la consommation d'électricité en période de pointe sur le marché électrique.

Un marché hétérogène

Le marché de la PAC hybride est en phase de démarrage (2 100 unités vendues en 2014) avec des constructeurs de plus en plus nombreux et un choix grandissant de produits disponibles, avec leurs spécificités (3). Une étude rapide nous montre que par gamme de puissance thermique de la PAC, le marché est principalement porté sur la construction neuve avec 2/3 des puissances de la PAC inférieure à 5 kW comme prévu par le titre V de la RT 2012 (4). Les moyennes puissances entre 6 et 9 kW et les grandes puissances supérieures à 9 kW ne sont quant à elles que faiblement représentées sur le marché.

Le dimensionnement, élément clé du succès de la PAC hybride

Comme pour toute PAC, sa contribution est impactée par le climat extérieur. Pour une PAC seule, le dimensionnement est fait au jour le plus froid et dépend notamment du COP de la PAC et du type d'émetteurs dans la maison. Ainsi, il peut s'avérer plus facile de dimensionner une PAC hybride du fait

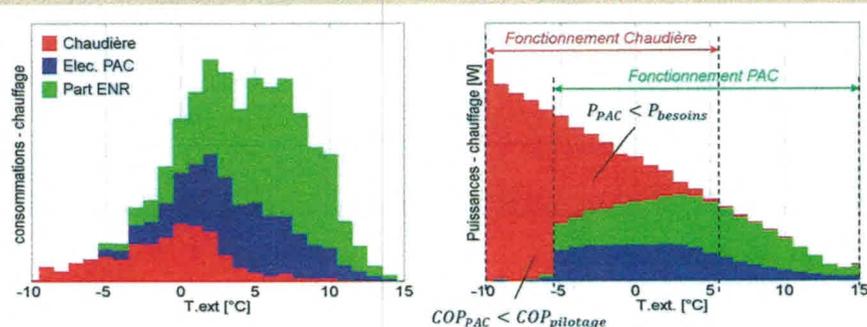


Figure 1 Distribution des énergies consommées en fonction de la température extérieure

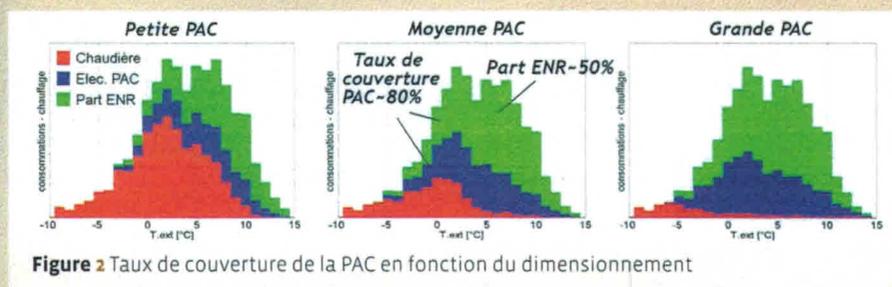


Figure 2 Taux de couverture de la PAC en fonction du dimensionnement

de la disponibilité offerte par la chaudière, cette dernière étant plus puissante, elle peut répondre aux besoins de chaleur en cas de manque côté PAC.

Comme dans tout système multi-énergie, le choix de puissance aura a fortiori un impact sur la part de production de chaleur ou le taux de couverture de chacun des générateurs. On définit le taux de couverture de la PAC comme l'énergie thermique totale produite par la PAC dans la couverture des consommations de chauffage. Dans la > figure 2, trois résultats de simulation sont présentés illustrant la part des énergies dans la couverture des consommations de chauffage d'une même maison existante équipée de trois machines hybrides, comportant une PAC de petite, moyenne ou grande puissance (de gauche à droite, respectivement). Le taux de couverture de la PAC peut être déterminé comme le rapport de la somme des énergies EnR (zone verte) et électrique (zone bleue) sur la consommation totale en énergie thermique pour le chauffage représentée par l'enveloppe du graphique.

Ainsi, il est possible d'observer que le taux

de couverture de la PAC et la part EnR du système hybride augmente avec la puissance de dimensionnement de la PAC. Pour les petites puissances de PAC, la chaudière représentée en rouge couvre la majorité des besoins et la PAC est sous-dimensionnée, il en résulte une faible part d'EnR introduite dans le bâtiment. Pour une PAC de puissance moyenne, la PAC parvient à couvrir une grande partie des besoins avec un taux de couverture à 80% et une part EnR de 50% et la chaudière prend la relève sur les jours froids. Pour une PAC à grande puissance, la PAC est surdimensionnée et couvre la quasi-totalité des besoins et la chaudière prend la relève seulement pour les températures les plus extrêmes. D'un point de vue purement économique, ceci nous montre qu'un surdimensionnement, et donc un surcoût de de la PAC, signifie un équipement inutilement coûteux et une chaudière qui ne fonctionne quasiment pas.

Pour le système surdimensionné, c'est donc principalement l'investissement dans la machine qui causera la baisse de rentabilité avec un prix de machine largement dépen-

dant du dimensionnement du compresseur de la PAC. Pour le système sous-dimensionné, on peut s'attendre à une baisse des gains relatifs au fonctionnement de la PAC : sur la facture de chauffage, sur la part ENR et sur le CO₂ économisé. Le système avec une PAC de puissance moyenne possède quant à lui le bon compromis entre les économies de fonctionnement directement liées à la contribution de la PAC (et son COP) à environ 80 % des besoins et le prix d'achat moins élevé que les grandes puissances.

Afin de valider cette hypothèse et les résultats de fonctionnement issus de la simulation, une campagne de mesures sur le terrain a été effectuée. L'objet de la présente étude est d'évaluer les performances d'un panel diversifié de machines disponibles sur le marché en conditions réelles de fonctionnement et dans un contexte de rénovation. Ceci permettra de répondre à la question du dimensionnement optimal pour le meilleur retour sur investissement. Les résultats sur site permettront de valider le fonctionnement théorique de la machine lorsqu'elle est soumise à une grande diversité d'environnements de fonctionnement.

Méthodologie

Répartition des sites : un panel diversifié

Neuf machines équipées de PAC de différentes puissances - quatre petites (puissances PAC inférieures à 5 kW), deux moyennes (entre 6 et 9 kW), trois grandes (supérieures à 9 kW) - ont été suivies en France dans différentes maisons, principalement dans un contexte de rénovation. À cela s'ajoute une grande variété climatique, avec cinq zones : H2a, H1a, H1b, H1c, H3. Toutes les machines testées sont des produits disponibles en catalogue sur le marché et présentent toutes leurs spécificités en termes de configuration (split, monobloc intérieur ou extérieur) et de fonctionnement (combustible pour la chaudière, pilotage, participation de la PAC à la production d'eau chaude).

Une installation type

Chacune des maisons a été instrumentée de manière à pouvoir déterminer les contributions de chacun des générateurs en fonction des besoins des utilisateurs. À titre d'exemple, la > figure 3 présente un cas d'installation avec une illustration des

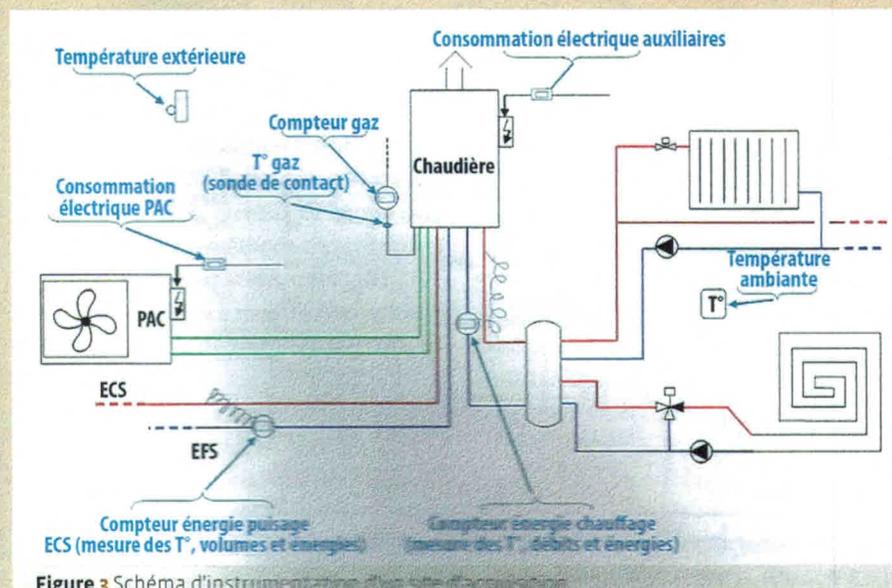


Figure 3 Schéma d'instrumentation d'un site d'acquisition

différents appareils de mesures employés :

- Compteurs d'énergie thermique sur les circuits hydrauliques de chauffage et d'Eau chaude sanitaire (ECS).

- Compteurs électriques pour déterminer les consommations électriques de la PAC et de la chaudière.

- Sondes de températures : ambiante, extérieure, départ/retour chauffage et ECS.

Un post-traitement des données récupérées par télé-acquisition a permis une évaluation des systèmes et une compréhension des modes de fonctionnement. Une évaluation fine sur des jours de fonctionnement typiques (jour froid, moyen et chaud), a permis d'analyser la logique de chacune des machines et de voir la part de puissance produite par chacun des générateurs dans la couverture des besoins journaliers. Les données ont ensuite été analysées sur des saisons de chauffage entières pour estimer les performances saisonnières des machines selon plusieurs critères : taux de couverture en ECS et chauffage, loi d'eau, COP saisonniers des PAC et rendements des chaudières. Enfin, les performances techniques et le bilan des énergies consommées ont permis d'estimer les gains réels sur facture réalisés grâce aux machines, les parts d'EnR et les réductions sur les émissions de CO₂ pour chacun des sites.

Résultats

Analyse d'une PAC hybride moyenne

Prenons par exemple une PAC hybride moyenne dont le schéma d'instrumentation correspond à celui présenté sur la > **Figure 3**. Il s'agit ici d'une PAC hybride moyenne installée dans une maison de 116 m² construite en 1996, avec des besoins annuels estimés sur facture de 21 MWh pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire avec une température de confort de 20 °C. L'ECS est produite par la chaudière et le chauffage est assuré par le système hybride via un module hydraulique puis vers des radiateurs classiques et un plancher chauffant.

Sur la > **Figure 4**, les puissances consommées et produites par le système sur une saison de chauffage sont présentées en fonction des températures extérieures. On peut remarquer que ce système possède une température extérieure de bascule de 6 °C à laquelle la chaudière s'enclenche afin d'assurer le

complément de puissance thermique. En dessous de 6 °C et jusqu'à - 5 °C, la PAC et la chaudière fonctionnent simultanément. Dans le cas présent, la PAC dans le système hybride couvre une majorité des besoins, ce qui permet d'introduire une grande part d'énergie renouvelable dans le bâtiment. La chaudière quant à elle assure le complément sur les jours les plus froids lorsque la puissance générée par la PAC, sensible à la température extérieure, n'est pas suffisante. On peut observer des fonctionnements de la chaudière seule à des températures extérieures pour les lesquelles il n'y a pas de besoin de chauffage, ils correspondent à la production d'ECS.

La > **Figure 5** présente un jour froid avec une température de l'ordre de - 2 °C. Dans ces conditions de fonctionnement, la PAC, représentée par le trait plein bleu, continue à alimenter la maison en chaleur en tandem avec la chaudière, représentée en rouge, qui couvre la partie complémentaire de puissance. On peut aussi remarquer la présence de deux niveaux de températures de départ de chauffage pour deux niveaux de puis-

sance correspondant à deux types d'émetteurs (plancher chauffant et radiateurs classiques). Pour les périodes à faible besoins de puissance la PAC fonctionne seule (par exemple entre 4 h 30 et 7 h 30) alors que pour des plus grands besoins en puissance, la PAC est complétée par la chaudière.

Comparaison des systèmes

Les mesures ont permis d'établir les performances de chacun des systèmes. Bien que les systèmes soient de natures différentes et soumis à des conditions de fonctionnement variables, une tendance semble se profiler dans les résultats de mesure qui confirme la tendance des simulations.

La > **Figure 6** illustre ces résultats sur quatre critères principaux : le taux de couverture, la réduction de facture pour le client, la part EnR et la réduction des émissions CO₂.

Les machines équipées de PAC de petite puissance possèdent un plus faible taux de couverture que celles dont les puissances sont plus élevées. D'autre part, le gain sur le taux de couverture est plus important en passant des petites aux moyennes puissances qu'en

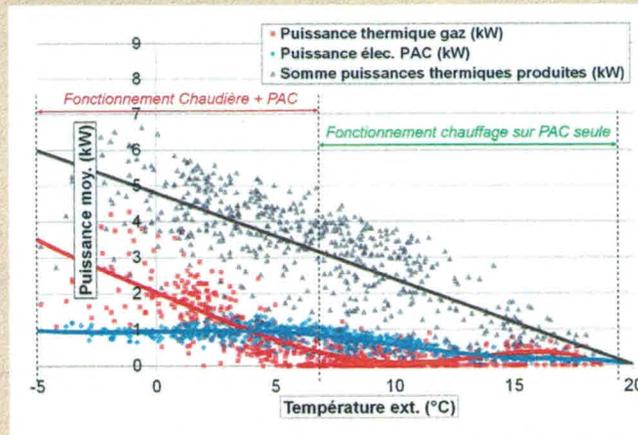


Figure 4
Bilan global de couverture des besoins : puissances en fonction des températures extérieures

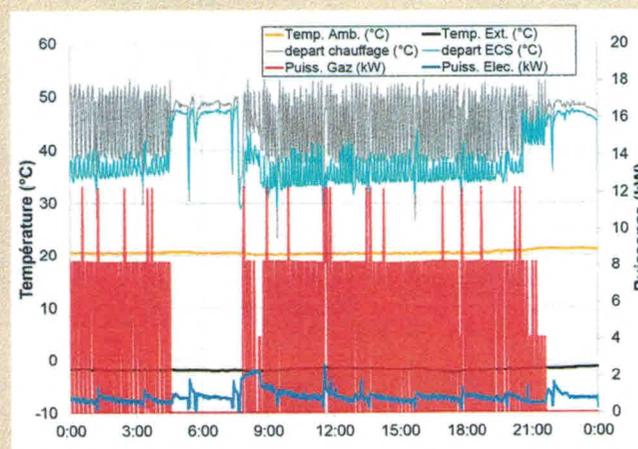


Figure 5
Mesure de PAC hybride sur une journée froide

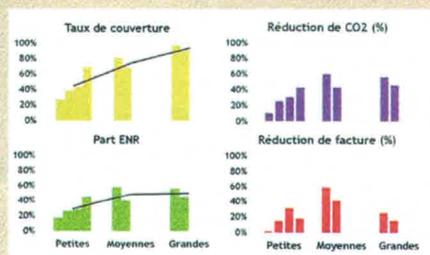


Figure 6 Performance technico-économique des installations

passant des moyennes aux grandes puissances où l'on passe respectivement de 45 % à 75 % contre 75 % à 90 %. En effet, lorsque la puissance de la PAC s'accroît, l'augmentation du taux de couverture correspond à des périodes de faible température extérieure et donc de température élevée dans les émetteurs. Or, en raison de la limitation en température de départ de la PAC, celle-ci ne parvient plus à fournir le niveau de température requis par les émetteurs de la maison. La part EnR, directement liée au taux de couverture et au COP de la PAC, augmente significativement des petites aux moyennes puissances et l'on observe un effet de tassement entre les moyennes et les grandes puissances, dû notamment à une baisse probable du COP saisonnier, provoquée par un fonctionnement de la PAC à des températures extérieures qui ne lui sont pas favorables en termes de performances.

Sur la > Figure 6 sont aussi publiés les gains sur la facture (facture client, à la consommation) en comparaison à une chaudière seule type TH-CE ex de la RT 2012 (5). Les prix des combustibles sont ceux du marché actuel et les contenus CO₂ sont issus de la base carbone publiée par l'Ademe (6). Une comparaison rigoureuse ne peut être faite entre chacun des systèmes en raison de la diversité de chacune des installations (combustibles, zones climatiques, niveaux de confort, réseau de chauffage, méthode de production d'ECS, taux d'occupation, pilotage...). Cependant, la tendance montre que, pour les deux cas testés (différents en conditions de fonctionnement), les moyennes puissances présentent une réduction notable sur la facture du client. En effet, les moyennes puissances profitent de leur relativement bon taux de couverture avec un bon COP sur la saison. De plus il est à noter que l'investissement associé aux moyennes puissances

est significativement plus faible que pour les grandes puissances, rendant les moyennes puissances d'autant plus rentables.

Concernant les émissions de CO₂, la > Figure 6 montre que la réduction des émissions de CO₂ est d'autant plus importante que la puissance de la PAC installée est grande. Les exceptions sont explicables par le COP, le rendement des chaudières, le taux de couverture et la nature du combustible utilisé.

Conclusion

Pour la rénovation énergétique des maisons individuelles, le dimensionnement est un facteur déterminant pour le fonctionnement optimal de la PAC hybride. Les petites puissances installées dans des maisons trop déperditives ne parviennent pas à satisfaire une partie suffisante des besoins. Ces petites puissances n'optimisent donc ni les réductions de facture, ni l'utilisation d'une grande part d'EnR et ni les réductions de CO₂ réalisées grâce à la PAC. Les grandes puissances parviennent quant à elles à couvrir une majorité des besoins en puissance mais ceci au prix d'une baisse de performance de la PAC qui fonctionne à des températures extérieures extrêmes. À cela s'ajoute l'investissement initial plus important avec une PAC plus puissante couplée à une chaudière qui ne fonctionne que très peu. Un optimum technico-économique existe : les moyennes puissances qui couvrent une grande partie des besoins (environ 80 %) et qui utilisent la chaudière pour couvrir les besoins à basse température extérieure. En effet, la PAC à moyenne puissance possède le meilleur compromis entre le coût de l'investissement et les performances de la PAC qui permettent de réduire la facture énergétique du client. La PAC hybride fonctionne alors en utilisant au mieux la complémentarité des deux générateurs et permet d'utiliser une part importante d'énergie renouvelable (50 %) et de réduire les émissions de CO₂ du bâtiment existant. Ces avantages sont d'autant plus vrais pour le parc de maison utilisant un combustible fossile potentiellement onéreux et fortement émetteur de CO₂ tel que le fioul ou le propane.

Les produits disponibles sur le marché actuel sont plutôt orientés vers la construction neuve avec une part importante de produits équipés de PAC de faible puissance. Ceci a

Références

1. **AIE**. Technology Roadmap. Energy-efficient buildings: Heating and Cooling Equipment. s.l. : International Energy Agency, 2011.
2. **Ademe**. Les avis de l'Ademe. Modes de chauffage dans l'habitat individuel. 2014.
3. **Afpac**. Assemblée générale du 19 mars 2015. s.l. : Association Française pour les Pompes à Chaleur, 2015.
4. **Ministère du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité**. Arrêté du 13 Octobre 2015 abrogeant et remplaçant l'arrêté du 29 octobre 2012 relatif à l'agrément de la demande de titre V relative à la prise en compte du système générateur hybride dans la réglementation thermique 2012. 2014.
5. **legifrance.gouv.fr**. Annexe 2 de l'arrêté du 15 septembre 2009 relatif à l'entretien annuel des chaudières dont la puissance nominale est comprise entre 4 et 400 kilowatts. 2009.
6. **Ademe**. Base Carbone v11. Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone. 2014.

comme effet de restreindre la gamme de choix pour l'acquéreur. L'effet combiné de la gamme de choix et la flexibilité en termes de dimensionnement peut donc résulter en un parc de maisons équipées de manière hétérogène. Or, comme les résultats le montrent, ce dimensionnement a un impact sur les performances de la PAC et sur les gains réels perçus par le client. Les systèmes équipés de PAC de moyenne puissance restent faiblement représentés sur le marché alors que les mesures réalisées confirment un bon compromis technico-économique.

Un autre avantage de la machine hybride avec une PAC de moyenne puissance réside dans le fait qu'elle constitue un bon choix pour une diversité de cas climatiques et de maisons existantes. Pour un constructeur ceci permet de proposer une gamme de produits restreinte mais performante sur une majorité de cas d'installation. ■ 31-34-811