

2022



ETUDE SUR LA DUREE DE VIE DES INSTALLATIONS DE GEOTHERMIE DE SURFACE

AFPG

77 rue Claude Bernard 75005 PARIS

Table des matières

Table des illustrations.....	2
Introduction.....	3
Présentation de l'étude.....	4
Résultats de l'enquête.....	5
Mode de captage.....	5
Type de fluide dans la sonde.....	5
Type d'émetteur(s) de chaleur.....	6
Puissance de la PAC.....	7
Installations en fonctionnement.....	7
Bilan.....	8
Analyse des résultats.....	11
Analyse des données de l'étude.....	11
Modélisation statistique.....	12
Résultats généraux.....	12
Séparation en sous-catégories.....	14
Observations.....	16
Limites de l'étude.....	16
Conséquences sur le parc français de PAC géothermiques individuelles.....	18
Conclusion.....	20
Références.....	21

Table des illustrations

Figure 1 – Mode de captage des installations de géothermie	5
Figure 2 – Type de fluide des installations de géothermie sur sonde.....	6
Figure 3 – Emetteur(s) de chaleur associé(s) à la PAC	6
Figure 4 – Répartition des PAC selon leur puissance	7
Figure 5 – Votre pompe à chaleur fonctionne-t-elle toujours ?	7
Figure 6 – Répartition des PAC selon leur âge	8
Figure 7 – Comparaison entre l'âge des PAC sondées et l'âge des PAC des retours de l'enquête	9
Figure 8 – Comparaison entre l'âge des PAC référencées et l'âge des PAC sondées.....	9
Figure 9 – Comparaison entre les PAC vendues et les PAC référencées pour la période 1997-2020...	10
Figure 10 – Densité de probabilité de la loi de Weibull ajustée	13
Figure 11 – Fiabilité des pompes à chaleur géothermiques	13
Figure 12 – Durée de vie des PAC de géothermie de surface d'après les résultats de l'étude de la ZHAW [2]	17
Figure 13 – Extrait de l'étude de filière AFGP [3]	18
Figure 14 – Evolution du parc de PAC individuelles (P < 30kW) avec l'hypothèse de la modélisation de Weibull	19
Tableau 1 – Chiffres de vente des PAC géothermiques de 1997 à 2020.....	3
Tableau 2 – Répartition des installations sondées selon leur année de mise en service	11
Tableau 3 – Estimation des paramètres d'échelle et de forme en langage R.....	12
Tableau 4 – Moyenne et écart type de la loi de Weibull ajustée.....	12
Tableau 5 – Résultats de l'étude sur la durée de vie moyenne d'une installation géothermique selon son mode de captage	14
Tableau 6 – Résultats de l'étude sur la durée de vie moyenne d'une installation géothermique selon le type d'émetteur(s) associé(s) à la PAC	14
Tableau 7 – Résultats de l'étude sur la durée de vie moyenne d'une installation géothermique selon la puissance de la PAC	15
Tableau 8 – Estimation des paramètres d'échelle et de forme par l'étude de la ZHAW [2].....	17

Introduction

L'évaluation de la quantité de chaleur produite par géothermie de surface chaque année en France s'appuie sur les données sur les ventes de pompes à chaleur (*Tableau 1*). Pour réaliser une évaluation correcte, il est important de savoir combien d'installations sont encore en fonctionnement. Pour cela, il est nécessaire de pouvoir estimer la durée de vie moyenne de ces installations, pouvant dépendre de plusieurs paramètres tels que le type d'installation ou encore la puissance de chauffage. Or, il n'existe pas à ce jour de données fiables sur la durée de vie des pompes à chaleur de géothermie de surface. La plupart des fabricants et des professionnels l'estiment entre 15 et 20 ans [1], mais il n'y a pas de distinction réelle avec les pompes à chaleur aérothermiques. Seule une étude réalisée par la Haute Ecole Spécialisée de Zurich (ZHAW) pour les Services Industriels de Genève (SIG) [2] peut être citée comme référence : ses résultats avaient abouti à une durée de vie moyenne de 26.7 ans (+/- 0.8 ans) pour les pompes à chaleur géothermiques. Dès lors, il est apparu qu'il pouvait être intéressant de conduire une étude semblable en France.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Ventes annuelles	520	1 040	1 560	2 080	2 600	9 606	10 806	14 048

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ventes annuelles	17 870	20 030	21 200	21 725	15 507	12 250	10 365	8 230

Année	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ventes annuelles	6 635	4 470	3 810	3 095	3 100	3 080	3 475	3 005

Tableau 1 – Chiffres de vente des PAC géothermiques de 1997 à 2020

Pour encadrer cette étude technique, un comité de suivi a été mis en place. Composé de professionnels, notamment des membres de l'AFPG ou des représentants d'établissements publics (tels que l'ADEME et le BRGM), il s'est réuni pour fixer le cadre de l'étude et la pertinence des questions à poser, afin d'obtenir des résultats pouvant être exploités.

L'une des hypothèses validées par le comité a été de restreindre l'étude aux seules pompes à chaleur géothermiques, en supposant que le facteur limitant dans la durée de vie d'une installation de géothermie de surface était très souvent la pompe à chaleur. En effet, il est estimé par les professionnels que les forages de géothermie de surface et les systèmes de captage qui leur sont associés peuvent avoir une durée de vie supérieure à 40 ans [1], voire bien davantage encore pour certaines typologies de captages. L'enjeu de cette étude réside donc en une estimation plus précise de la durée de vie d'une pompe à chaleur (PAC) géothermique.

Présentation de l'étude

L'étude a pris la forme d'un questionnaire informatique envoyé à des maîtres d'ouvrage possédant une installation de géothermie de surface. La première étape de sa mise en place fut l'identification des propriétaires de telles installations. Pour cela, des données d'installations géothermiques *déclarées* dont dispose le BRGM ont été utilisées. Les forages sont ainsi répertoriés avec leur identifiant BSS (Banque du Sous-Sol) et associés entre eux lorsqu'ils appartiennent à une même installation. Les données comportent aussi des informations supplémentaires, à savoir les coordonnées de l'installation et l'année où les travaux ont été effectués. Elles sont aussi réparties selon que l'installation corresponde à de la géothermie sur nappe ou sur sonde.

Grâce à d'autres fichiers faisant le lien entre un forage et son adresse postale, il a été possible d'associer chaque installation à son emplacement. Les installations postérieures à 2014 ont été retirées, car il a été considéré que le principal motif de panne de l'une de ces installations relèverait plus d'un défaut de fabrication que d'une limitation générale de sa durée de vie. Il est à noter que, depuis 2015, la loi impose la déclaration de toutes les opérations de Géothermie de Minime Importance (GMI).

Afin de représenter au mieux l'ensemble des installations référencées dans les résultats de l'étude, il a été décidé de sélectionner aléatoirement 500 d'entre elles. Les installations sur sondes (environ 34 000 sont référencées) représentent environ 80% du total des installations référencées, contre 20% pour les installations de géothermie sur nappe. Cependant, pour obtenir un résultat exploitable statistiquement et pour pouvoir séparer en sous-catégories les différents modes de captage, il a été décidé de sélectionner 125 installations pour la géothermie sur nappe (soit 25% des 500 installations totales) et 375 installations pour la géothermie sur sonde (soit 75% des 500 installations totales), et ce en vérifiant que l'adresse postale de chaque installation sélectionnée était valide.

La seconde étape de cette étude consistait à mettre en place le questionnaire qui serait destiné à chacun des propriétaires. Il a été convenu que le nombre de questions posées devait être limité afin de maximiser le taux de retour. Il a aussi été nécessaire d'identifier quels paramètres pouvaient influencer sur la durée de vie d'une pompe à chaleur. Pour cela, le comité de suivi de cette étude a statué que 4 paramètres principaux pouvaient entrer en jeu : le mode de captage de l'installation (sur nappe ou sur sonde), le type d'émetteurs associé à l'installation (radiateurs à eau chaude, chauffage au sol, radiateurs à eau chaude et chauffage au sol, ou bien un autre type de chauffage), le type de fluide utilisé dans le captage (eau glycolée ou fluide frigorigène, uniquement pour les installations sur sonde) et la puissance de chauffage de la pompe à chaleur (paramètre à renseigner par les maîtres d'ouvrage). Les maîtres d'ouvrage étaient invités à compléter ces informations et à vérifier des informations déjà pré-remplies grâce aux données de la BSS, à savoir l'identifiant de l'installation concernée et l'année de réalisation des travaux. Ils étaient ensuite invités à indiquer si leur installation était toujours en fonctionnement, et dans le cas contraire à indiquer l'année où leur PAC est tombée en panne et la solution pour laquelle ils ont opté (remplacement par une autre PAC géothermique ou changement de leur système de production de chaleur).

Résultats de l'enquête

72 réponses de maîtres d'ouvrage ont été récoltées. Sachant que 500 questionnaires ont été envoyés, cela correspond à un taux de retour de près de 15%.

Mode de captage

La représentation des deux modes de captage dans les résultats de l'étude est représentée *Figure 1* : on observe que 78% des réponses au questionnaire concernent une installation de géothermie sur sondes verticales, corbeilles géothermiques ou captage horizontal tandis que 22% des réponses concernent une installation de géothermie sur nappe.

Mode de captage des installations de géothermie (72 réponses)

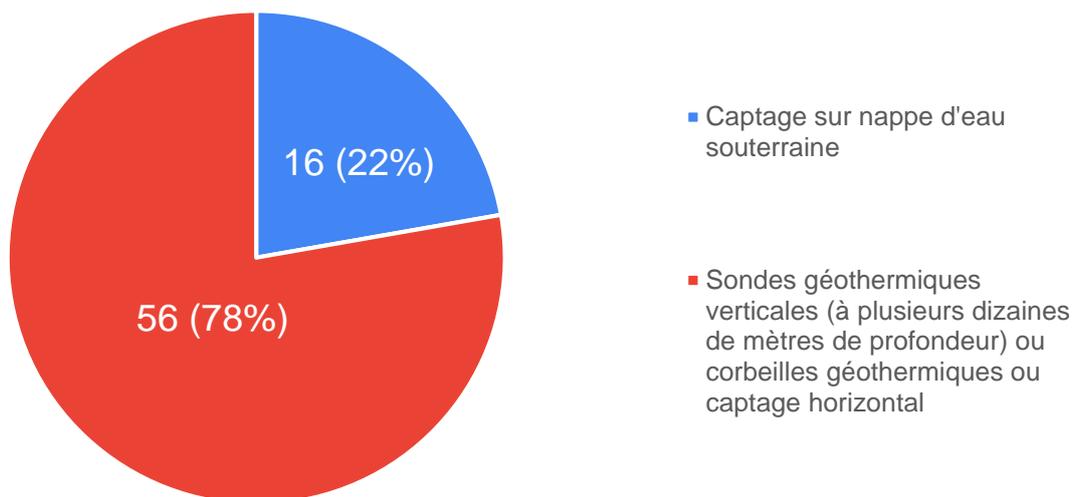


Figure 1 – Mode de captage des installations de géothermie

Type de fluide dans la sonde

La plupart des réponses pour les installations de géothermie sur sonde, les corbeilles géothermiques ou les technologies sur captage horizontal concernent des installations utilisant de l'eau glycolée comme fluide caloporteur dans la sonde extérieure (*Figure 2*). Bien que 3 maîtres d'ouvrage déclarent quant à eux utiliser directement un fluide frigorigène, il en ressort que beaucoup d'entre eux (environ un cinquième) ne savent pas quel fluide est utilisé dans leur sonde extérieure.

Type de fluide des installations de géothermie sur sonde (54 réponses)

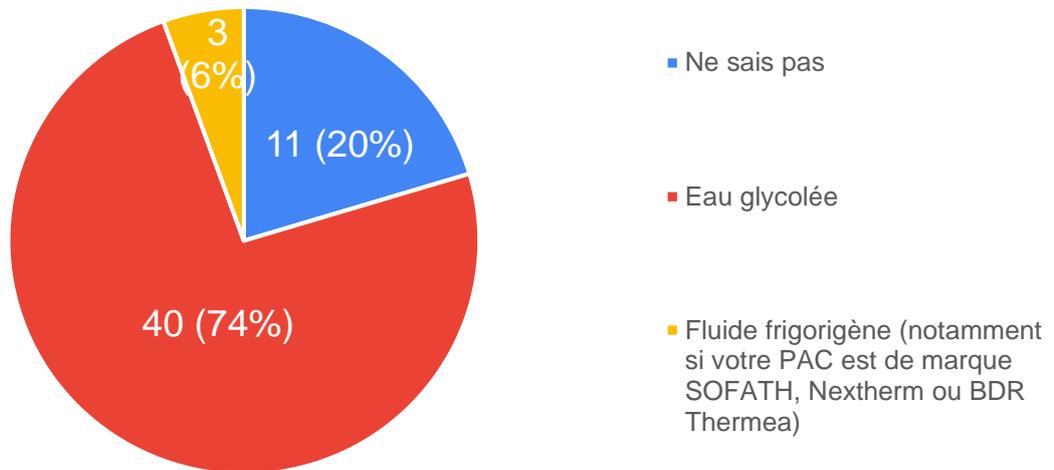


Figure 2 – Type de fluide des installations de géothermie sur sonde

Type d'émetteur(s) de chaleur

Dans la plupart des cas, des radiateurs à eau chaude sont associés à la PAC (Figure 3). Pour le reste, 29% des installations utilisent du chauffage au sol tandis que 19% des installations font appel à un couplage entre du chauffage au sol et des radiateurs à eau chaude. Il faut aussi noter qu'un utilisateur a déclaré se servir de son installation géothermique pour chauffer sa piscine.

Emetteur(s) de chaleur associé(s) à la PAC (72 réponses)

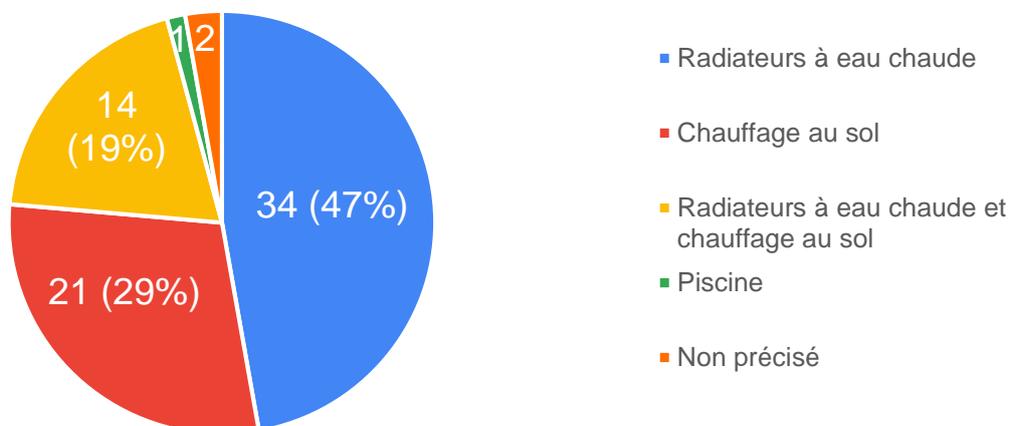


Figure 3 – Emetteur(s) de chaleur associé(s) à la PAC

Puissance de la PAC

En outre, comme indiqué sur l'histogramme ci-dessous (*Figure 4*), la plupart des réponses concernent des pompes à chaleur de faible puissance (< 20 kW) : ce sont typiquement des installations pour des logements individuels. Les autres installations concernent plutôt des habitats collectifs ou des établissements publics et privés (entreprises, hôpitaux, etc.).

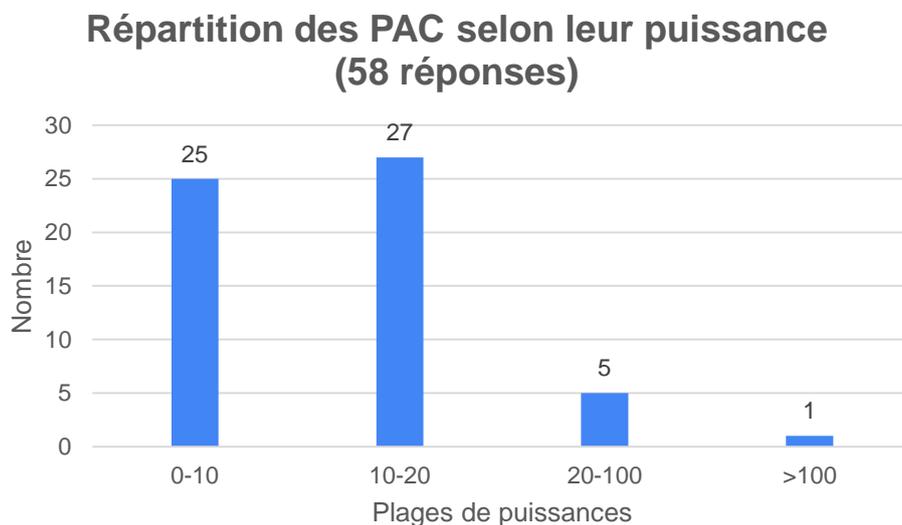


Figure 4 – Répartition des PAC selon leur puissance

Installations en fonctionnement

Le graphique en secteurs ci-dessous (*Figure 5*) montre la part d'installations encore en fonctionnement parmi les réponses. On observe que la quasi-totalité des installations sont encore en fonctionnement, et que seules 6% d'entre elles ont cessé de fonctionner. Ces installations ont été remplacées pour la moitié par des systèmes géothermiques semblables, mais l'autre moitié des maîtres d'ouvrage a opté pour un autre système de production de chaleur.

Votre pompe à chaleur fonctionne-t-elle toujours ? (72 réponses)

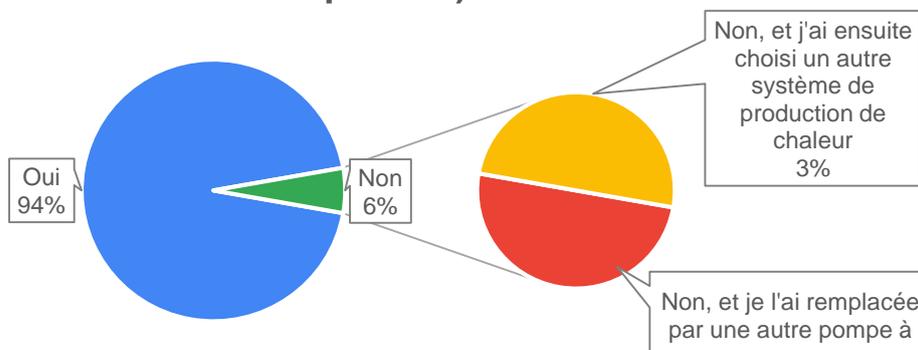


Figure 5 – Votre pompe à chaleur fonctionne-t-elle toujours ?

Bilan

L'histogramme présenté ci-dessous (*Figure 6*) représente les résultats obtenus pour la durée de vie des installations de géothermie de surface. Comme indiqué précédemment, seuls 4 maîtres d'ouvrage ont déclaré que leur pompe à chaleur était tombée en panne. Dans ce cas, la durée de vie annoncée correspond effectivement à la durée de vie de leur pompe à chaleur. Dans le cas où la pompe à chaleur serait encore en fonctionnement, la durée de vie fournie par les réponses à cette étude correspond à une durée de fin d'observation. Cette nuance sera prise en compte dans l'analyse des résultats.

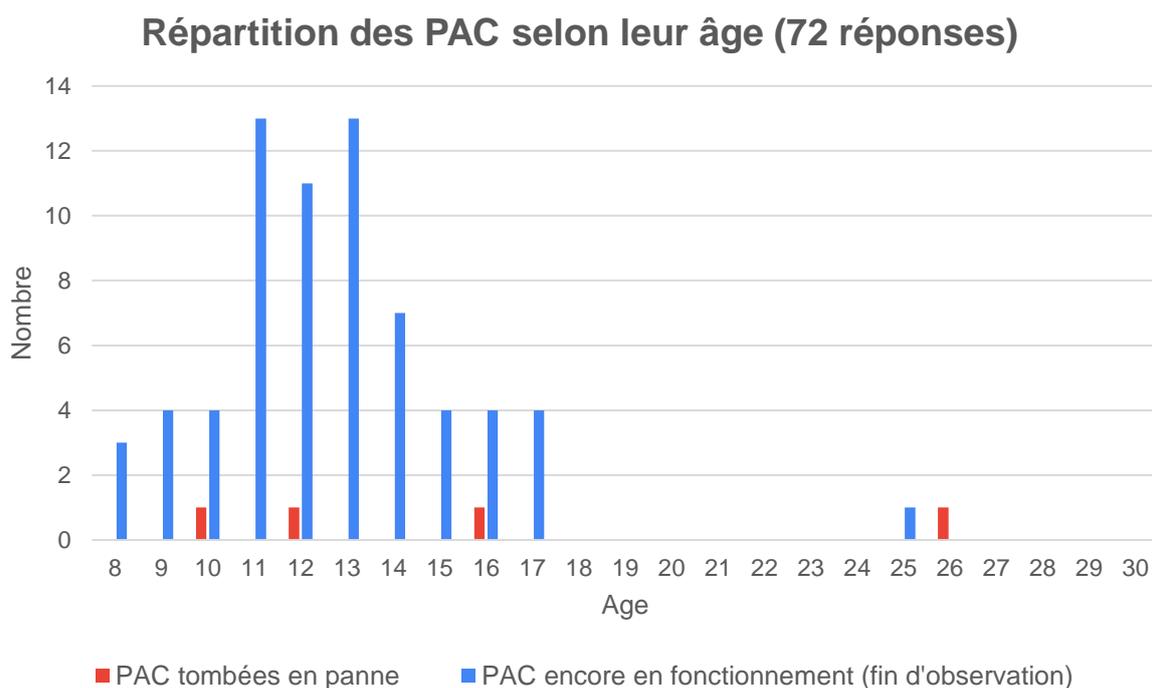


Figure 6 – Répartition des PAC selon leur âge

Dès lors, il peut être intéressant de comparer cette répartition avec celle des âges des PAC sélectionnées lors de cette enquête (et auxquelles un questionnaire a été envoyé). Cette comparaison est observable en *Figure 7*. On remarque que la répartition des âges de l'échantillon des retours correspond fortement à la répartition des âges des PAC sélectionnées pour l'enquête. On observe aussi que la quasi-totalité des installations sélectionnées ont moins de 20 ans.

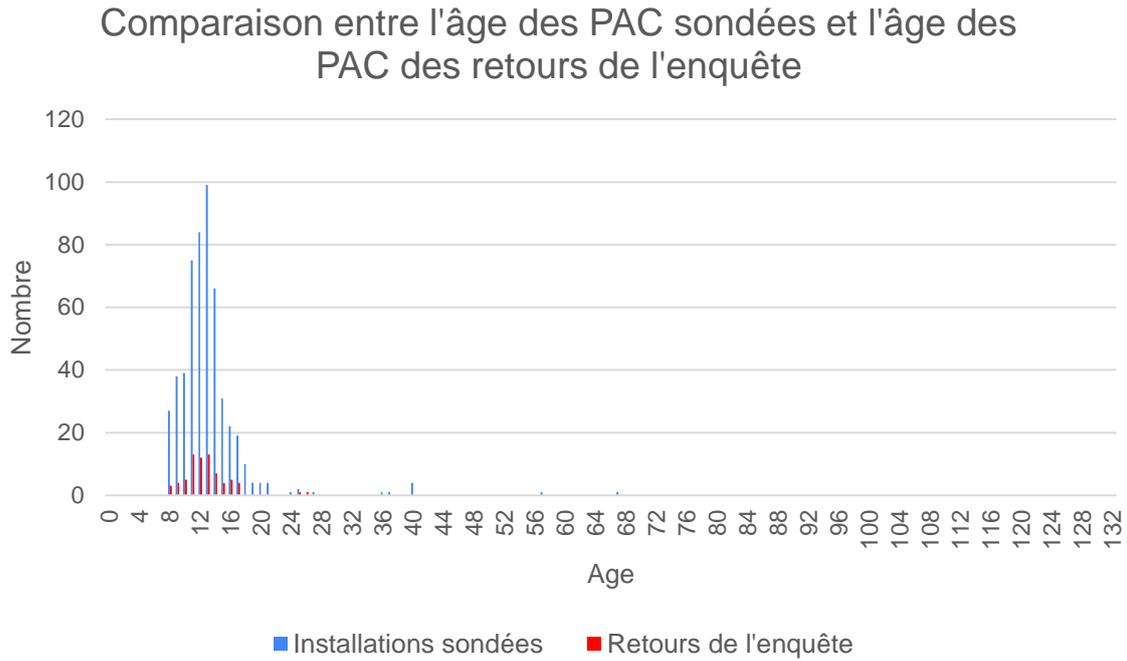


Figure 7 – Comparaison entre l'âge des PAC sondées et l'âge des PAC des retours de l'enquête

Il peut alors paraître pertinent d'évaluer la correspondance entre la répartition des âges des PAC sélectionnées pour cette enquête avec la répartition des âges de l'ensemble des installations référencées. On peut observer cette comparaison *Figure 8*. On observe là aussi une correspondance entre les deux répartitions, qui s'explique notamment par le fait que les installations choisies pour l'enquête ont été sélectionnées aléatoirement parmi l'ensemble des installations référencées. Pour rappel, les installations de moins de 8 ans ne pouvaient pas être sélectionnées pour l'enquête.

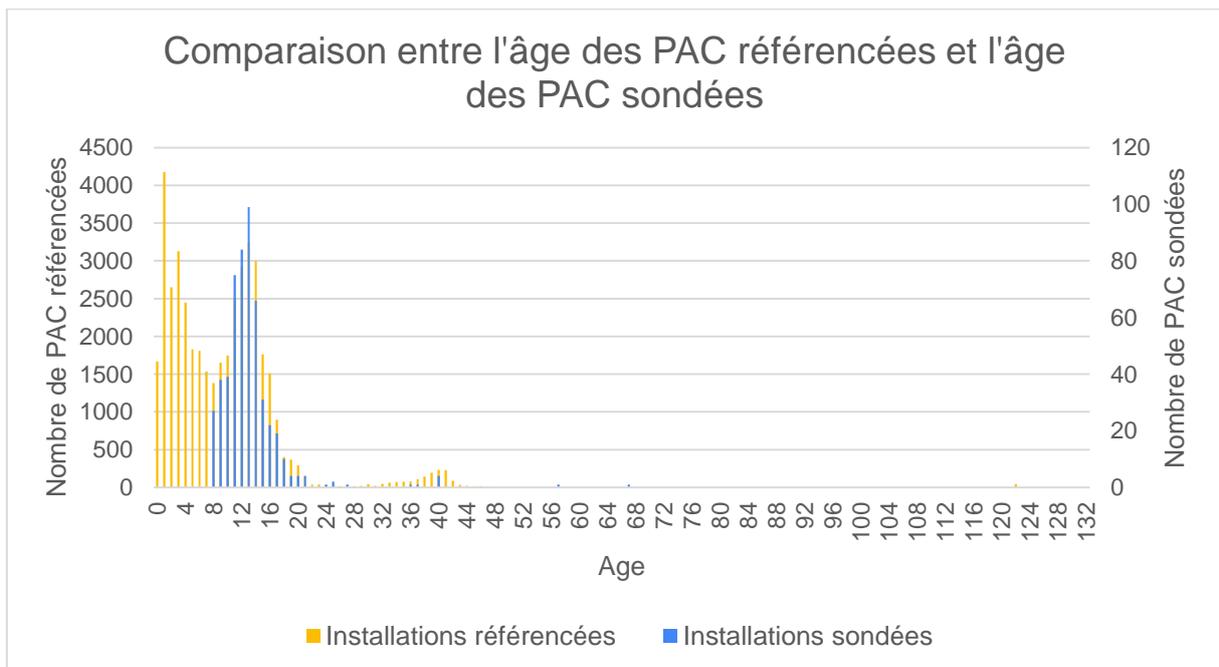


Figure 8 – Comparaison entre l'âge des PAC référencées et l'âge des PAC sondées

Les installations référencées sont elles-mêmes représentatives des installations installées, comme on peut le voir ci-dessous, *Figure 9*, en comparant l'âge des installations référencées avec les chiffres de vente de PAC géothermiques [3] (pour la période 1997-2020). On observe que les tendances entre les deux séries de données sont les mêmes, mais que, de manière générale, les PAC de plus de 7 ans ne sont pas toutes référencées (le nombre de PAC référencées pour chaque âge est inférieur au nombre de PAC vendues). Cela s'explique par le fait que le référencement des installations de géothermie de surface est devenu obligatoire à partir de 2015 (pour les PAC ayant donc moins de 7 ans en 2022).

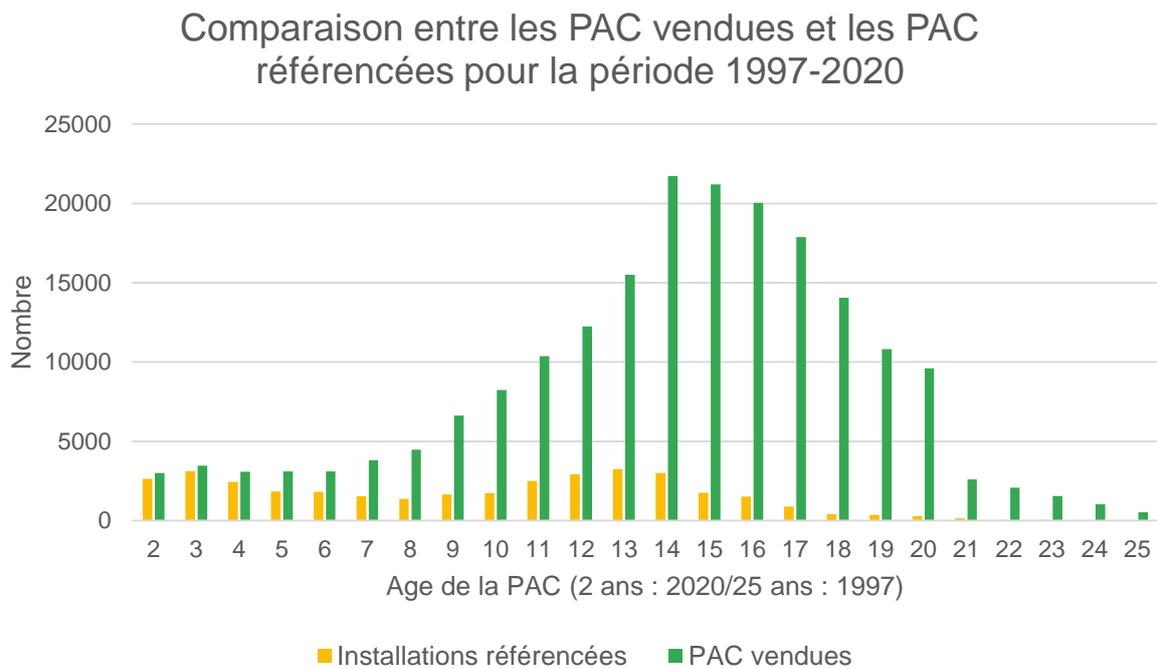


Figure 9 – Comparaison entre les PAC vendues et les PAC référencées pour la période 1997-2020

Analyse des résultats

Analyse des données de l'étude

La représentation des deux modes de captage dans les résultats de l'étude est plutôt assurée, puisque 75% des questionnaires concernaient des installations de géothermie sur sonde tandis que 25% concernaient des installations de géothermie sur nappe. Les résultats représentés dans le graphique *Figure 1* respectent bien ces proportions.

La grande incertitude des réponses à propos du type de fluide utilisé dans la sonde extérieure (20% des maîtres d'ouvrages ne savent pas quel fluide est employé), ainsi que la faible représentation des installations fonctionnant avec un fluide frigorigène dans leur sonde extérieure ne permettent pas d'observer avec précision une éventuelle différence de durée de vie entre les installations fonctionnant avec de l'eau glycolée et celles fonctionnant avec un fluide frigorigène.

Le faible nombre d'installations tombées en panne peut s'expliquer par le fait que la plupart des installations sondées dans cette étude sont récentes (*i.e.* elles ont été installées moins de 15 ans avant l'étude). De manière plus générale, plus une installation est ancienne, moins il est probable qu'elle soit référencée comme on peut l'observer *Figure 7* et *Figure 8*. Le nombre de ventes de PAC géothermiques a aussi fortement varié ces 15 dernières années. Tout cela s'observe dans l'échantillon des installations sondées (cf. tableau ci-dessous), qui correspond lui-même à une extraction aléatoire de l'ensemble des installations référencées (comme expliqué *Figure 7* et *Figure 8*).

Année de mise en service de l'installation (Age)	Proportion des installations sondées (%)
1955-2000 (22-67 ans)	2
2001-2005 (17-21 ans)	8
2006-2010 (12-16 ans)	57
2011-2014 (8-12 ans)	33

Tableau 2 – Répartition des installations sondées selon leur année de mise en service

Pour rappel, seules des installations réalisées avant 2014 ont été sélectionnées pour cette étude, afin d'éviter un potentiel biais dans les résultats dû aux défauts de fabrication ou d'installation qui pourraient affecter les pompes à chaleur très récentes (*i.e.* installées il y a moins de 8 ans). L'année de fin des travaux était connue pour chaque installation, les maîtres d'ouvrages n'avaient plus qu'à confirmer (ou éventuellement corriger cette donnée).

Modélisation statistique

L'analyse mathématique des résultats est présentée ci-dessous. La première étape de cette analyse correspond à la modélisation statistique de l'échantillon par une distribution de Weibull. La forme de sa densité de probabilité est la suivante :

$$f(x, k, \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$$

où λ est le paramètre d'échelle et k le paramètre de forme.

En effet, cette distribution est souvent utilisée dans le domaine de l'analyse de la durée de vie [4], grâce à sa flexibilité. C'est notamment le cas dans l'étude de la ZHAW [2]. Afin d'estimer les paramètres de la loi de Weibull (le paramètre d'échelle λ et le paramètre de forme k), la méthode du maximum de vraisemblance est utilisée [5]. Il s'agit d'un estimateur statistique utilisé pour inférer les paramètres de la loi de probabilité d'un échantillon donné en recherchant les valeurs des paramètres maximisant la fonction de vraisemblance. Les calculs détaillés aboutissent à un système d'équations à résoudre. Un code en langage R est fourni dans [5] et a pu être utilisé pour calculer numériquement ces paramètres. L'utilisation du logiciel MATLAB permet aussi d'aboutir aux mêmes résultats avec l'utilisation de la fonction `wblfit`.

Dans les deux cas, le code informatique fait appel aux données récoltées par le questionnaire. Il suffit ensuite de préciser quels résultats de durée de vie correspondent à des données dites « censurées » (i.e. la pompe à chaleur est effectivement tombée en panne à cet âge) et les données « non censurées » (i.e. la pompe à chaleur est encore en fonctionnement à cet âge, la donnée correspond donc à une fin d'observation).

Résultats généraux

On obtient ainsi différents résultats et courbes statistiques observables dans les *Tableau 3*, *Tableau 4*, *Figure 10* et *Figure 11*.

λ	26.29770
k	4.98922

Tableau 3 – Estimation des paramètres d'échelle et de forme en langage R

μ (moyenne)	24.14270
σ (écart-type)	5.54088

Tableau 4 – Moyenne et écart type de la loi de Weibull ajustée

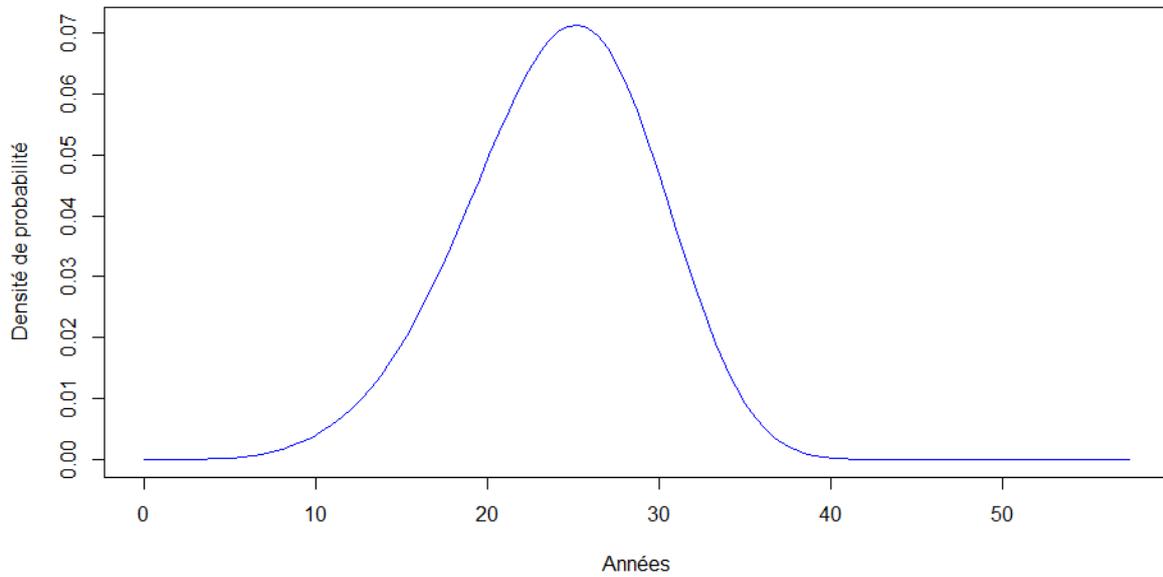


Figure 10 – Densité de probabilité de la loi de Weibull ajustée

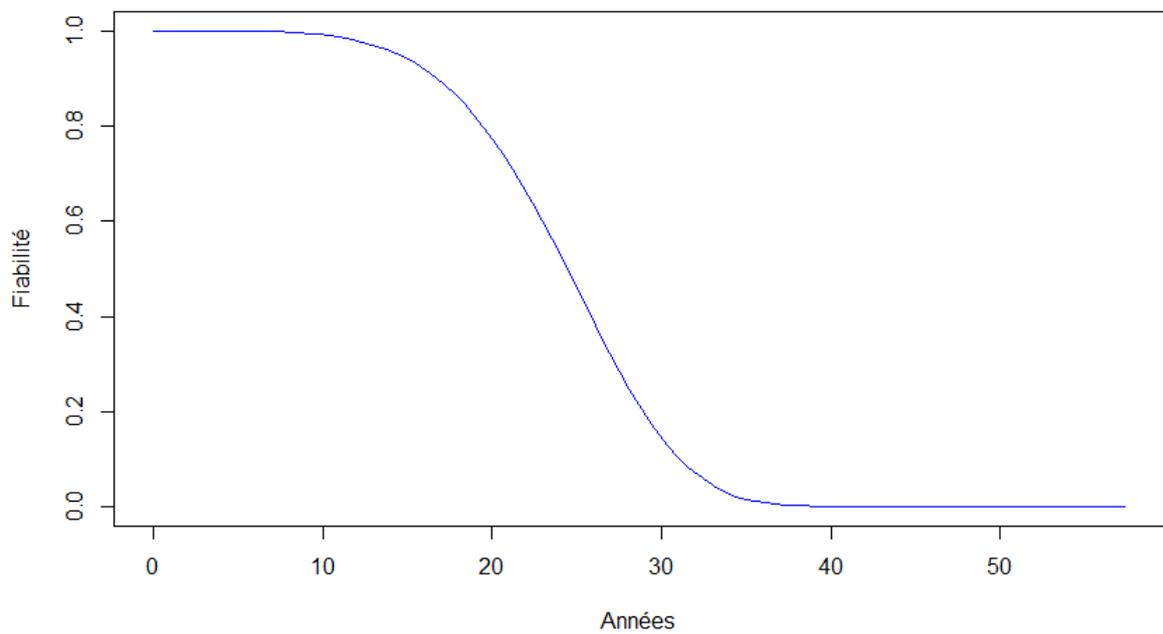


Figure 11 – Fiabilité des pompes à chaleur géothermiques

De manière générale, les résultats de cette étude donnent un résultat de **24,1 ans** pour la **durée de vie moyenne d'une PAC géothermique**.

Séparation en sous-catégories

Dès lors, il peut être intéressant de savoir si l'on observe des différences de durée de vie selon le mode de captage de l'installation géothermique, le type d'émetteurs associé à la PAC ou encore selon la puissance de la PAC.

Ainsi, en créant des sous-catégories selon le mode de captage des installations, et en appliquant la méthode statistique précédente à chaque sous-catégorie, on obtient les résultats présentés *Tableau 5*. On remarque que, selon les résultats de cette étude, la durée de vie moyenne d'une installation de géothermie de surface sur nappe est supérieure à celle d'une installation de géothermie sur sonde. On observe aussi que le résultat global sur la durée de vie moyenne d'une PAC géothermique présenté au paragraphe précédent est plus proche de la valeur trouvée pour les installations sur nappe alors que celles-ci représentent seulement un quart des installations sondées. Cela s'explique par le fait que les installations sur nappe tombées en panne soient proportionnellement mieux représentées parmi l'ensemble des résultats pour cette technologie : ces installations hors d'usage étant généralement âgées, elles ont tendance à faire augmenter le résultat statistique sur la durée de vie moyenne de l'échantillon.

Mode de captage	Durée de vie moyenne (années)
Nappe	24,9
Sonde géothermique	20,7

Tableau 5 – Résultats de l'étude sur la durée de vie moyenne d'une installation géothermique selon son mode de captage

De même, en créant des sous-catégories selon les émetteurs associés à la PAC, on obtient les résultats présentés dans le *Tableau 6*. Les résultats associés au type d'émetteur « Chauffage au sol » ont volontairement été omis car les données récoltées ne contenaient pas d'installations de ce type déjà hors d'usage, ce qui peut fausser considérablement l'étude statistique. On observe néanmoins que l'utilisation du chauffage au sol, couplé avec des radiateurs à eau chaude, permet de prolonger la durée de vie de l'installation de géothermie par rapport à une utilisation de radiateurs à eau chaude uniquement.

Type d'émetteurs	Durée de vie moyenne (années)
Radiateurs à eau chaude	23,5
Radiateurs à eau chaude et chauffage au sol	28

Tableau 6 – Résultats de l'étude sur la durée de vie moyenne d'une installation géothermique selon le type d'émetteur(s) associé(s) à la PAC

Enfin, en réitérant cette opération avec, comme critère de distinction, la puissance de la PAC, on obtient les résultats présentés *Tableau 7*. Dans les résultats de l'enquête, le nombre de PAC dont la puissance est supérieure à 20kW étant faible (cf. *Figure 4*), il a été décidé de ne pas les considérer. On observe ainsi que la différence entre les PAC de faible puissance et celle ayant une puissance plus élevée n'est statistiquement pas significative.

Puissance de la PAC (kW)	Durée de vie moyenne (années)
0-10	23
10-20	24,9

Tableau 7 – Résultats de l'étude sur la durée de vie moyenne d'une installation géothermique selon la puissance de la PAC

A l'issue de cette enquête, certains maîtres d'ouvrage ayant laissé leurs coordonnées de contact, il a été possible d'obtenir un retour sur leur perception de cette étude. Toutes les personnes interrogées ont compris le sens des questions qui leur étaient posées et ont pu y répondre correctement. La plupart ont aussi déclaré que l'envoi d'un courrier par voie postale ainsi que la facilité d'accès au questionnaire en ligne (via un QR code ou un lien URL raccourci) les avaient encouragés à répondre au questionnaire. Dans l'ensemble, les personnes interrogées ont soutenu la démarche de cette étude et ont été ravies de pouvoir mettre à profit leur expérience et ainsi contribuer au développement de la géothermie en France.

Observations

Limites de l'étude

La principale limite de cette étude repose sur le fait que la plupart des installations sont récentes (i.e. installées moins de 15 ans avant cette étude), et sont donc pour la plupart encore en fonctionnement. Or la modélisation mathématique de la durée de vie des PAC par une distribution de Weibull s'appuie principalement sur les données « censurées » (i.e. les résultats correspondant à des PAC effectivement tombées en panne et non à des fins d'observation), qui ne représentent elles-mêmes que 6% des réponses à l'étude (*Figure 5*).

Cela implique que les résultats de l'étude ne peuvent pas être très précis. Ainsi, par exemple, si l'on suppose qu'une réponse supplémentaire apportée à l'étude concerne une installation tombée en panne à 30 ans (ce qui pourrait correspondre à une installation qui existe mais qui n'est pas référencée), alors les résultats de la modélisation de Weibull donnent une durée de vie moyenne de 25 ans, soit un an de plus que le résultat obtenu précédemment.

On peut donc supposer qu'une liste plus exhaustive des installations existant en France permettrait d'obtenir des résultats probablement plus représentatifs de la réalité. Etant donné le fait que la déclaration des installations de géothermie de surface est obligatoire depuis 2015, il pourrait être intéressant de reconduire cette étude d'ici 15 ans, afin d'avoir, à ce moment-là, une liste exhaustive des installations des 22 années précédentes, en plus de certaines installations plus anciennes.

Cependant, il est dès aujourd'hui possible de s'appuyer sur les résultats obtenus dans l'étude conduite par la ZHAW [2]. La méthodologie qui a été utilisée est semblable à celle mise en œuvre dans notre étude : les emplacements des sondes géothermiques suisses ont été déterminés sur différents SIG (Systèmes d'Information Géographique) cantonaux puis les adresses des propriétaires ont ensuite été recherchées dans l'annuaire téléphonique [2]. En mettant l'accent sur des installations antérieures à 1995 (possible en Suisse car la réglementation sur le référencement des installations n'est pas la même qu'en France), cette étude a recueilli 223 réponses pour des PAC géothermiques, dont les résultats sont présentés ci-dessous (*Figure 13* et *Tableau 8*) :

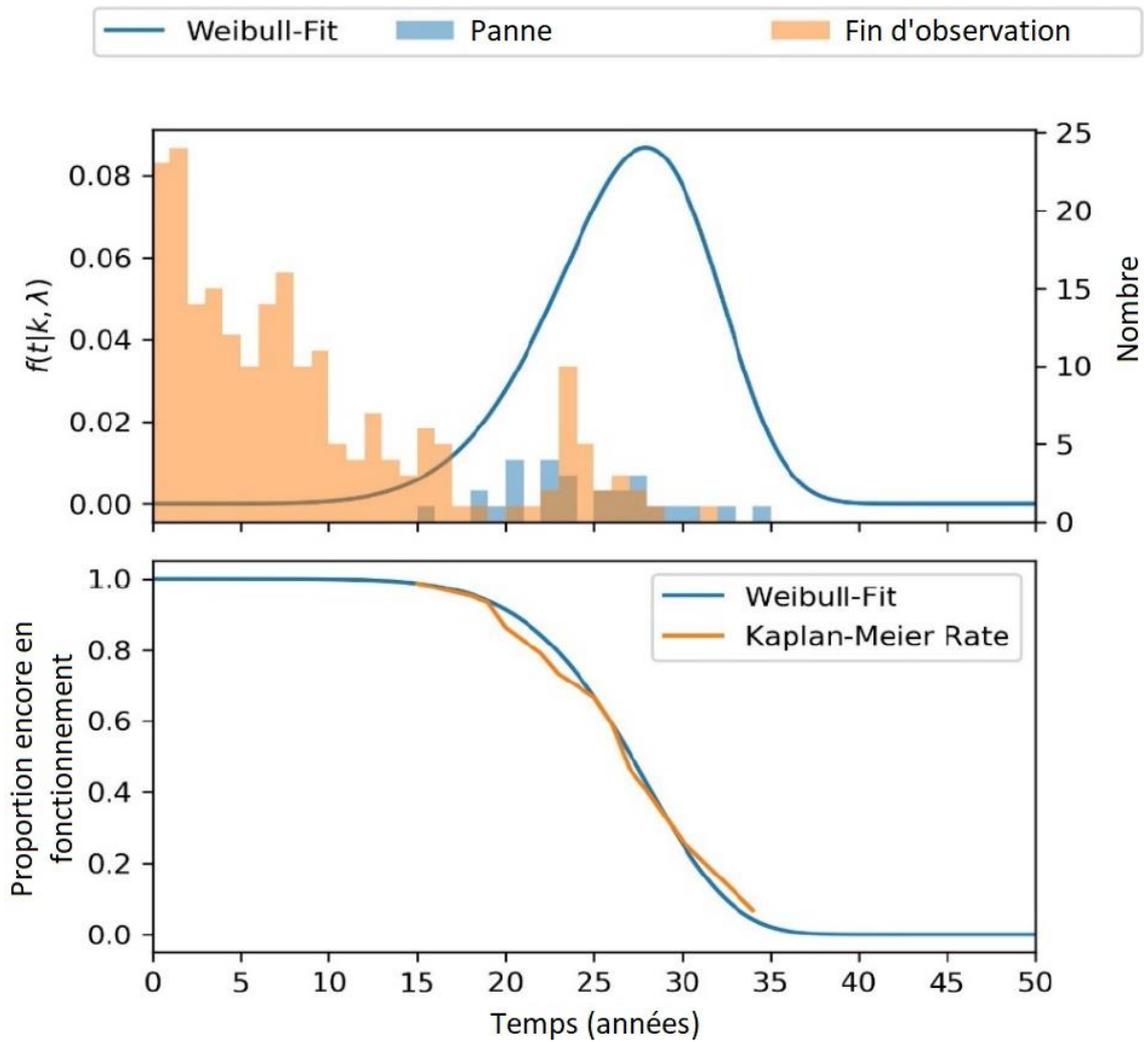


Figure 12 – Durée de vie des PAC de géothermie de surface d'après les résultats de l'étude de la ZHAW [2]

λ	28,5714
k	7

Tableau 8 – Estimation des paramètres d'échelle et de forme par l'étude de la ZHAW [2]

La valeur de la durée de vie moyenne de ces PAC, calculée par modélisation avec une distribution de Weibull en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance (similaire à la méthode employée dans notre étude), est ici estimée à **26.7 ans** (+/- 0.8 ans).

Conséquences sur le parc français de PAC géothermiques individuelles

Dans le but d'évaluer le nombre de PAC encore en fonctionnement et ainsi d'estimer la quantité de chaleur produite par géothermie de surface, l'étude de filière 2021 (basée sur des données de 2020) de l'AFPG [3] prenait pour hypothèse un taux de renouvellement de 20 ans pour les PAC géothermiques. Ainsi, seules les PAC vendues entre 2001 et 2020 (inclus) étaient comptabilisées comme étant encore en fonctionnement, les autres étant considérées désormais hors service.

Cependant, il est possible de prendre en compte les résultats de l'étude de la ZHAW [2] et notamment la fonction de survie des PAC géothermiques, pour estimer avec précision le nombre de PAC encore en fonctionnement en fonction de leur âge. Ainsi, en connaissant le nombre de PAC vendues pour une année donnée, on peut calculer l'âge qu'ont désormais ces PAC ainsi que la proportion étant encore en fonctionnement en 2020, assimilable à la probabilité qu'une PAC soit encore en fonctionnement à cet âge (ce qui implique donc l'utilisation de la fonction de survie). Les données utilisées dans l'étude de filière de l'AFPG [3] ne comportent que le nombre de PAC vendues chaque année depuis 1997. L'hypothèse d'un taux de renouvellement à 20 ans donne le résultat proposé *Figure 12*. On observe ainsi qu'en 2020, 194.907 PAC sont considérées encore en fonctionnement.

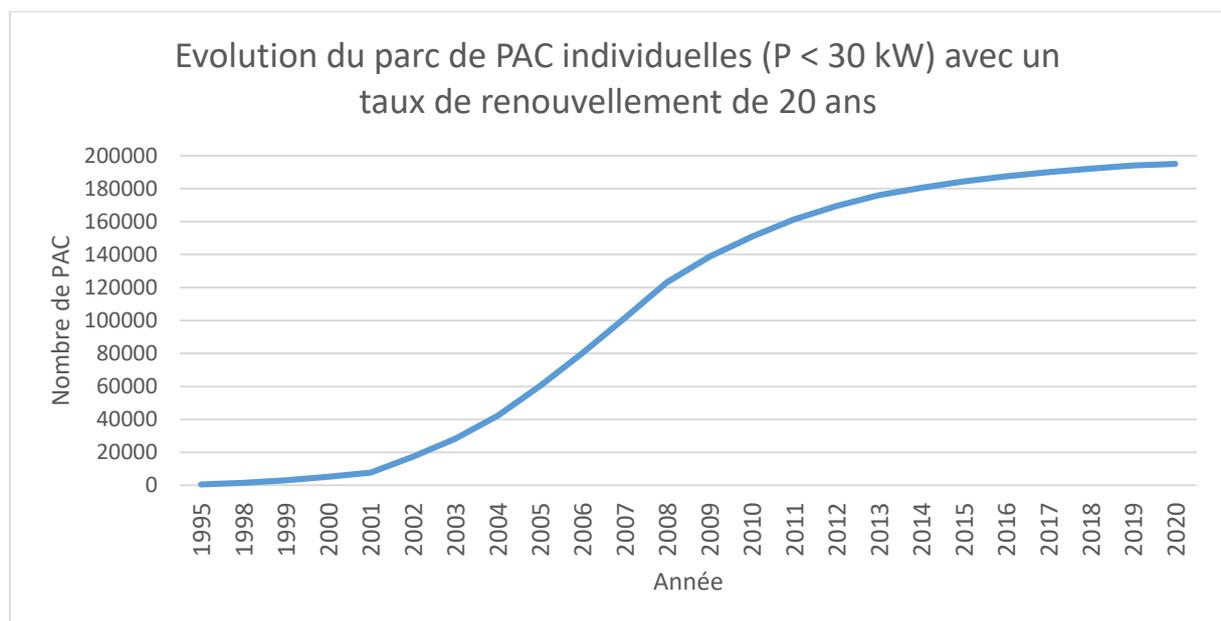


Figure 13 – Extrait de l'étude de filière AFPG [3]

En prenant désormais en considération la modélisation de Weibull de l'étude suisse [2], les calculs aboutissent au résultat présenté *Figure 13*.

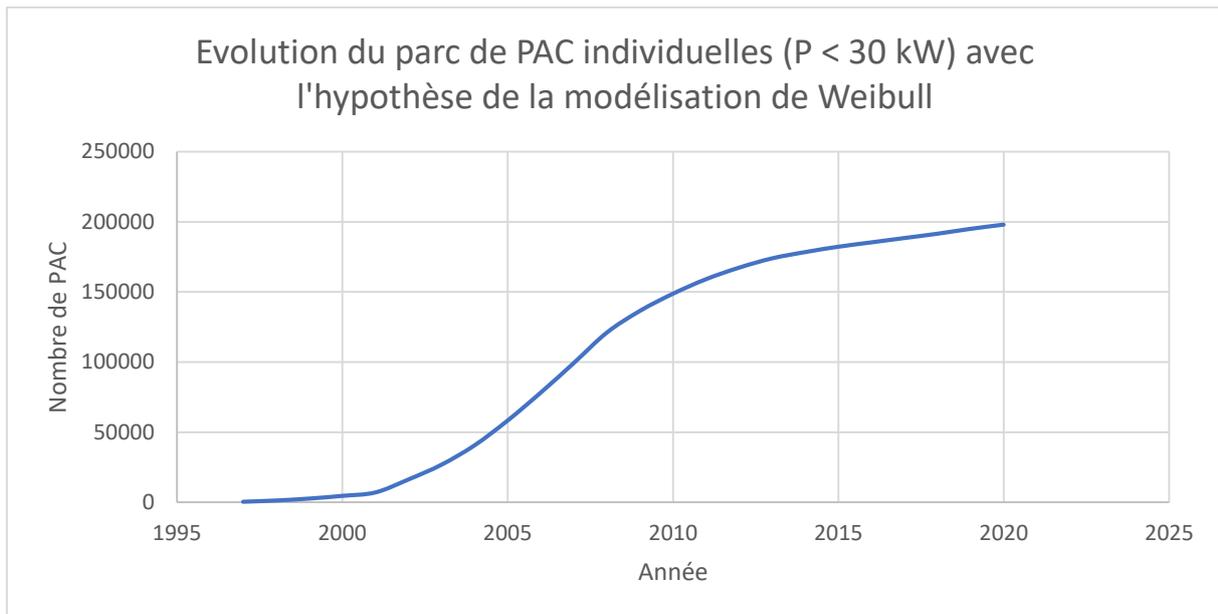


Figure 14 – Evolution du parc de PAC individuelles ($P < 30kW$) avec l'hypothèse de la modélisation de Weibull

On observe que, avec cette nouvelle hypothèse, le parc de PAC individuelles en 2020 s'élève à 197.979 unités. Cela représente une hausse de 1.6% par rapport à l'hypothèse d'un taux de renouvellement à 20 ans des PAC : cette correction impacte donc peu la valeur de l'énergie géothermique produite par ces installations chaque année. En outre, l'hypothèse de la modélisation de Weibull ne prend pas en considération les PAC vendues avant 1997 du fait de l'absence de données. Or, avec l'utilisation de la fonction de survie, certaines PAC vendues avant 1997 devraient être comptabilisées encore en fonctionnement : à titre d'exemple, cela représente 68% des PAC vendues en 1995 et 24% de celles vendues en 1990. L'estimation fournie ici est donc basse par rapport à la réalité de la situation.

Conclusion

Les résultats de cette étude donnent, pour une installation de géothermie de surface, une durée de vie moyenne de 24,1 ans. Il apparaît qu'une distinction peut être réalisée selon le mode de captage : ainsi, une installation de géothermie sur nappe peut espérer fonctionner 24,9 ans tandis que cette valeur baisse à 20,7 ans pour une installation utilisant des sondes géothermiques. *Cependant, cette distinction paraît biaisée au regard du faible nombre de réponses concernant des installations effectivement tombées en panne.* Au niveau du type d'émetteurs, on peut noter que l'ajout de chauffage au sol en complément de radiateurs à eau chaude permet d'augmenter considérablement la durée de vie moyenne d'une installation géothermique, qui passe ainsi à 28 ans contre 23,5 ans pour une installation couplée uniquement avec des radiateurs à eau chaude. Les professionnels ne sont pas surpris par ce résultat, dans la mesure où un chauffage à basse température sollicite moins le compresseur, organe réputé le plus fragile dans une pompe à chaleur. Enfin, on note aussi une faible élévation de la durée de vie d'une installation géothermique utilisant une PAC d'une puissance de 10 à 20kW, qui passe à 24,9 ans contre 23 ans pour une association avec une PAC d'une puissance de 0 à 10kW. Il est difficile de déterminer s'il s'agit d'une réalité ou d'une marge d'erreur : ce paramètre semble toutefois moins influent que les deux précédents.

Cependant, ces résultats manquent de précision. En effet, les installations les plus anciennes sont aussi celles qui sont le moins bien référencées, comme le montre la *Figure 8*. Il en résulte que beaucoup de réponses à cette enquête concernent des installations plutôt récentes (*i.e.* ayant moins de 15 ans) encore en fonctionnement. Dès lors, la modélisation statistique, qui s'appuie en partie sur les installations dites « censurées » (*i.e.* déjà tombées en panne) peut être biaisée. Malgré cela, il est toujours possible de s'appuyer sur les résultats de l'étude de la ZHAW [2] : en effet, en utilisant la même méthodologie que dans cette étude, ils sont parvenus à cibler plus d'installations « anciennes » (*i.e.* âgées de plus de 15 ans). Leurs résultats donnent ainsi une durée de vie moyenne de 26,7 ans (+/- 0,8 ans) pour une installation de géothermie de surface, **et peuvent ainsi être utilisés étant donné la fiabilité accrue de leur modélisation statistique.**

En outre, il pourra être intéressant de reconduire cette étude plus tard en utilisant la même méthodologie. En effet, la déclaration automatique des installations de Géothermie de Minime Importance (GMI) étant obligatoire depuis 2015, cela signifie qu'en 2035, il sera possible d'obtenir une liste quasi-exhaustive des installations géothermiques des 20 années qui auront précédé. Cela permettra vraisemblablement d'obtenir un nombre plus important de retours de maîtres d'ouvrage concernant des installations censurées, et donc d'améliorer la fiabilité des résultats. La qualification récente des forages et l'évolution constante des technologies sont des raisons supplémentaires incitant à renouveler cette étude ultérieurement.

Références

- [1] G. Marcheteau, «Quelle est la durée de vie d'une pompe à chaleur géothermique ?,» [En ligne]. Available: <http://www.lenergiesoutcompris.fr>.
- [2] Z. Markus Hubbuch et Pascal M. Vecsei, «Lebenszykluskosten von Wärmepumpen, Kurzfassung,» 2019.
- [3] AFPG, «Etude de filière,» 2021.
- [4] A. invité, «Pourquoi la loi de Weibull est-elle souvent la plus utile ?,» [En ligne]. Available: <http://blog.minitab.com>.
- [5] «NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods,» [En ligne]. Available: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>. [Accès le 24 mai 2022].