



Institut National
de l'Économie
Circulaire

Ancrer la filière des
pompes à chaleur
au cœur de la
transition vers
l'économie circulaire

L'Institut National de l'Économie Circulaire



- Organisme de référence et d'influence autour de l'intelligence écologique et de l'économie de la ressource.
- L'Institut est composé d'entreprises, collectivités, associations et universités.
- Sa mission est de fédérer l'ensemble des acteurs publics et privés pour promouvoir l'économie circulaire et accélérer son développement

Introduction

Objectifs de l'étude :

- Faire l'**état des lieux** de la mise en application des principes de l'économie circulaire au sein de la filière Pompes à chaleur (PAC)
- Recenser les **pistes d'amélioration** et les **freins** à la transition vers l'économie circulaire au sein de la filière
- Mettre en évidence la **contribution** potentielle de la filière aux **objectifs** de politiques publiques environnementales
- Emettre des **recommandations** à destination des acteurs de la filière et des décideurs publics
- Conduire une **étude prospective** sur les évolutions possibles du modèle économique de la filière en vue d'accélérer son déploiement en concordance avec les objectifs d'économie circulaire

Plan de l'étude

- I. La pompe à chaleur vue au prisme de l'économie circulaire
 1. La PAC comme vecteur d'optimisation de la ressource « calorie »
 2. La pompe à chaleur, un équipement thermodynamique au cycle de vie en amélioration constante

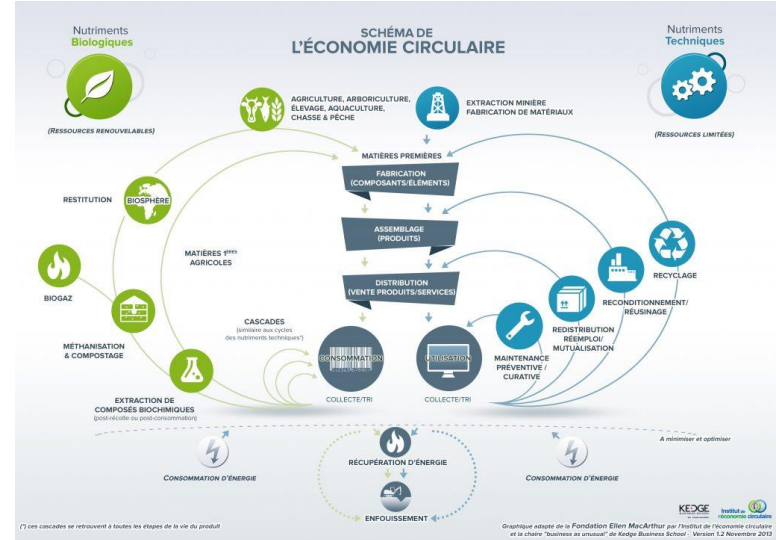
- II. Une filière au cœur de la transition de modèle économique
 1. Potentiel de déploiement de la filière et contribution aux politiques publiques environnementales
 2. Accélérer le passage à l'échelle de la filière dans une perspective d'économie circulaire

- III. Inscrire l'usage et la fonctionnalité au cœur du modèle économique de déploiement des pompes à chaleur
 1. L'économie de fonctionnalité, comme levier « circulaire » de déploiement des pompes à chaleur sur le marché résidentiel
 2. Facteurs de succès et enjeux de la transition vers l'économie de fonctionnalité

I. La pompe à chaleur vue au prisme de l'économie circulaire

L'économie circulaire

- Principe d'organisation économique visant à découpler la création de valeur sociétale de l'impact sur l'environnement, à travers une gestion optimisée des ressources.
- Ce modèle implique la mise en place de nouveaux modes de conception, de production et de consommation plus sobres et efficaces (éco-conception, écologie industrielle et territoriale, économie de fonctionnalité, etc.) et à considérer les déchets comme des ressources



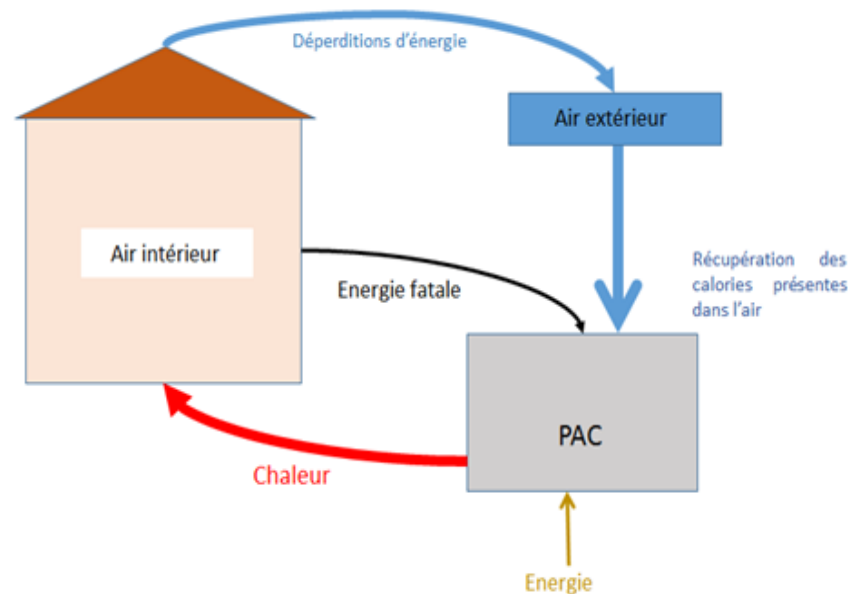
La PAC comme vecteur d'optimisation de la ressource « calorie »



Application des principes de l'économie circulaire à l'échelle du bâtiment :

- Enveloppe (matériaux)
- Equipements (dont production de chaleur) → Champ d'étude de la PAC

Différents types de PAC (air-eau, air-air, eau-eau, sol-eau) mais un même principe de fonctionnement : « récupération » et optimisation des calories présents en milieu extérieur

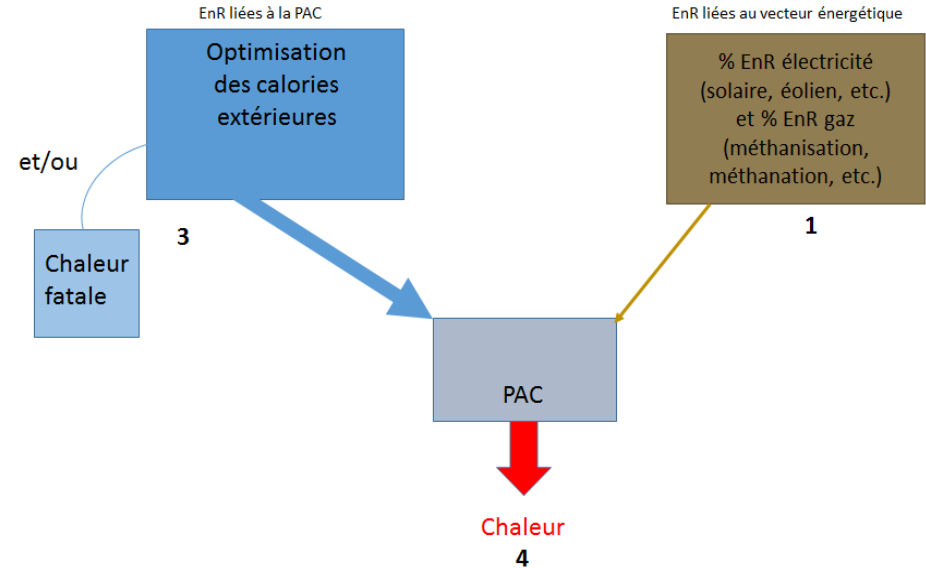


La pompe à chaleur au service du métabolisme calorifique du bâtiment

La PAC comme vecteur d'optimisation de la ressource « calorie »



- Une PAC récupère et valorise trois unités d'énergie en provenance du milieu extérieur pour une unité d'énergie consommée (pour son fonctionnement) → COP ~ 4
- Elle peut également permettre de récupérer et valoriser la chaleur fatale issue d'un process
- Les PAC peuvent être approvisionnées par différents vecteurs énergétiques (électricité ou gaz), dont la part d'énergie renouvelable est en croissance (éolien ou solaire pour l'élec, biométhane pour le gaz)



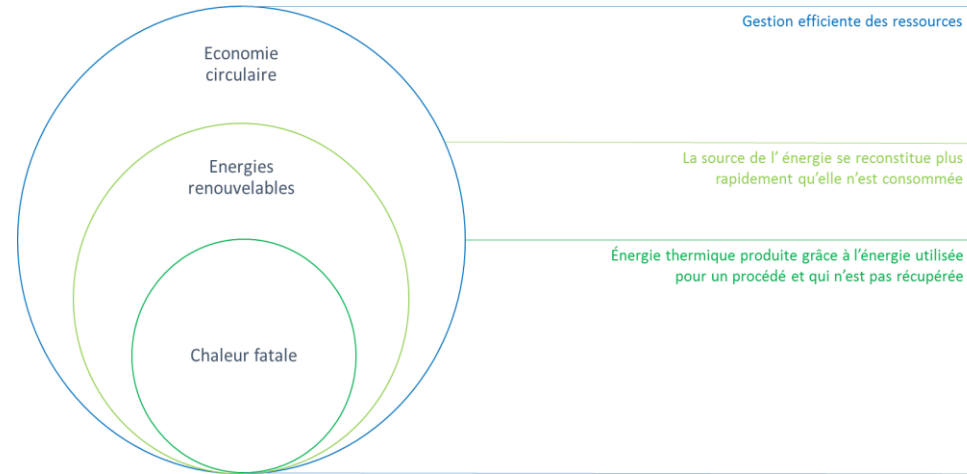
La pompe à chaleur productrice et utilisatrice d'énergie renouvelable

La PAC comme vecteur d'optimisation de la ressource « calorie »



Le mode de fonctionnement des PACs basé sur l'efficacité de gestion des ressources (COP élevé) les ancrent dans l'économie circulaire.

→ Elles permettent ainsi de réincorporer des calories présentes dans les milieux extérieurs, et génèrent un flux opposé aux déperditions calorifiques du bâtiment.



Les bénéfices environnementaux de la PAC schématisés en « poupées russes »

S'intègrent également au sein du cadre inclusif de l'économie circulaire deux fonctions remplies par la PAC:

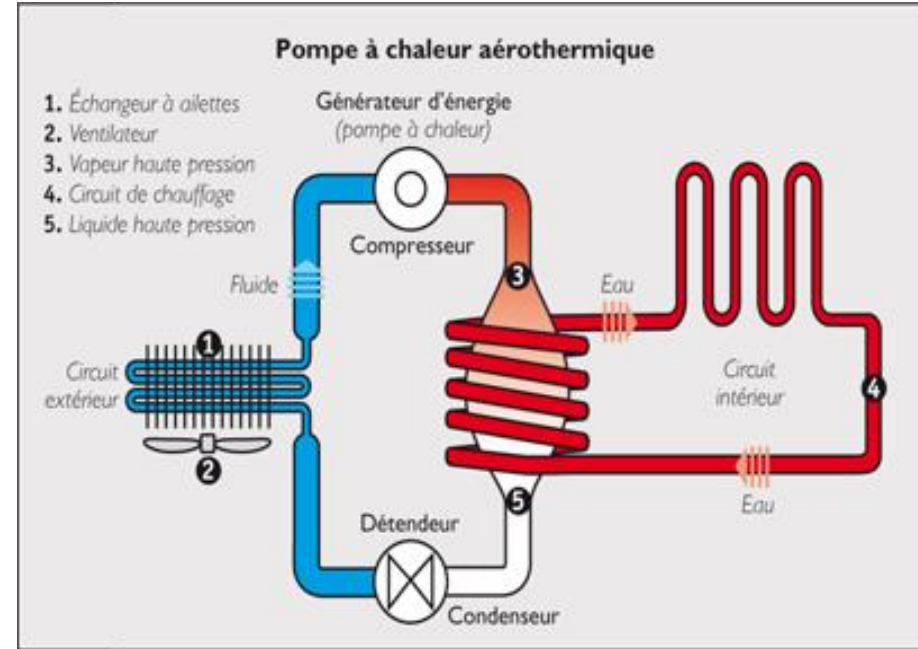
- La production d'énergie renouvelable : *Energie au renouvellement rapide et inépuisable à l'échelle humaine*
- La valorisation de chaleur fatale : *Energie calorifique valorisable résultant de process*

La pompe à chaleur, un équipement thermodynamique au cycle de vie en amélioration constante

L'éco-conception de la PAC au service d'un cycle de vie optimisé

- **Eco-conception** : Inclure dès la conception l'impératif d'efficacité matière et énergétique et de réduction des impacts environnementaux, en prenant en compte l'ensemble du cycle de vie
- **Axe énergétique** bien traité par la filière du fait des exigences réglementaires :
 - Directive ecodesign : niveaux d'efficacité énergétique à atteindre
 - Règlement F-Gas : interdiction progressive des fluides à PRG élevé

Enjeu : Cohérence entre les deux réglementations



Exemple de constitution d'une PAC Air-Eau – Source : AQC

La pompe à chaleur, un équipement thermodynamique au cycle de vie en amélioration constante

L'éco-conception de la PAC au service d'un cycle de vie optimisé

- Efficacité matière peu traitée
 - Peu d'incitations existantes
 - Peut aller à l'encontre des objectifs d'efficacité énergétique

Ex : robustesse des parois vs efficacité

- Primauté de l'enjeu énergétique/climatique peut-être à contrebalancer avec enjeu ressource
- Premiers travaux conduits par la filière dans le cadre de la réalisation des fiches PEP
→ ACV collectives réalisées sur produits moyens : prise en compte de l'ensemble des impacts
- Eco-conception doit concourir à allongement de la durée de vie



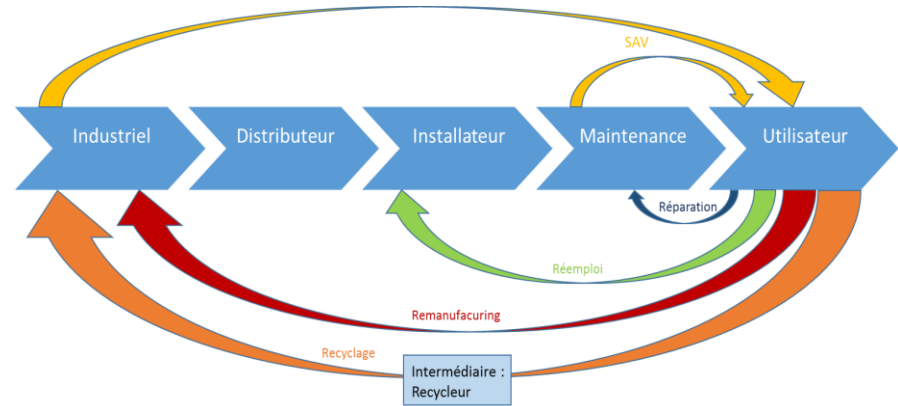
Source : AFPAC

La pompe à chaleur, un équipement thermodynamique au cycle de vie en amélioration constante

Réparabilité, réutilisation et remanufacturing, réalisations et progrès à venir

Allongement de la durée de vie étroitement liée à éco-conception

- Solidité / Facilité d'entretien / Maintenance
 - Réparabilité
 - Reconditionnement / Remanufacturing
 - Recyclabilité
-
- **Réparation in-situ** déjà existante mais confrontée à certains freins :
 - Changement de fluide complexe
 - Qualification des professionnels
 - Disponibilité des composants (soumis à ErP)
- Viabilité socio-éco et environnementale de la réparation actuellement étudiée par AQC*
- Incitations fiscales (TVA réduite) à étudier

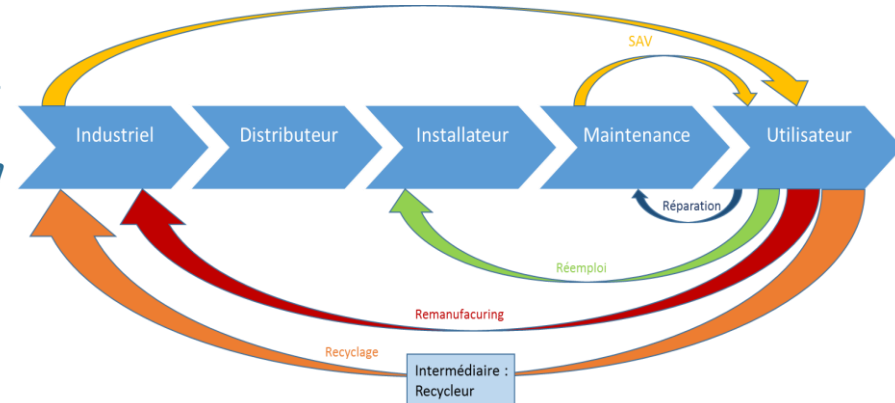


Les boucles de l'économie circulaire appliquées à la pompe à chaleur

La pompe à chaleur, un équipement thermodynamique au cycle de vie en amélioration constante

Réparabilité, réutilisation et remanufacturing, réalisations et progrès à venir

- **Reconditionnement et seconde monte**
 - Peu développé : parc existant récent
 - Mais pourrait se développer → quelles cibles ?
 - **Complexe** : Durée de vie PAC vs évolutions réglementaires et techniques
 - *Ex de Boostheat : modèle économique intégrant la seconde vie de la PAC*
- **Remanufacturing** : réintégration de pièces détachées (équipement endommagées/ fin de vie)
 - Parc existant récent et encore limité
 - Economies d'échelle sur **logistique inverse** difficilement réalisables
 - Potentiel important à moyen terme (cf. secteurs automobile, pneumatiques, téléphonie, etc.)



Les boucles de l'économie circulaire appliquées à la pompe à chaleur

II. Une filière au cœur de la transition de modèle économique

Potentiel de déploiement de la filière et contribution aux politiques publiques environnementales

Etat des lieux de la filière :

- Parc existant de 2,9 M de PAC fin 2017
- 226 400 PAC installées au cours de l'année 2017
- 6 MtCO2 évitées / an
- 24 000 emplois

Dynamique :

- Ralentissement sur PAC Air-Eau
- Forte croissance sur PAC Air-Air (notamment dues aux fortes chaleurs)

Contribution de la filière à la Stratégie Nationale Bas Carbone (-87% GES résidentiel et tertiaire en 2050)

- Faible teneur en carbone des PAC
- Potentiel de développement de la filière étudié sur la base d'hypothèses ADEME

Tep EnR valorisées par les pompes à chaleur

Scénario Mini		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
EnR valorisée par an						
Total	Tep	1 692 084	2 363 411	3 116 494	2 892 527	4 538 619
dont géothermie	Tep	325 454	349 426	376 621	298 163	390 374
Scénario Médian		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
EnR valorisée par an						
Total	Tep	1 692 084	2 369 180	3 217 959	3 330 677	7 254 985
dont géothermie	Tep	325 454	349 426	380 288	312 931	669 468
Scénario Maxi		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
EnR valorisée par an						
Total	Tep	1 692 084	2 391 563	3 520 608	4 056 563	10 284 341
dont géothermie	Tep	325 454	349 712	390 602	382 516	966 748

Tonnes de CO₂ évitées grâce aux pompes à chaleur

Scénario Mini		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
CO ₂ évité par an						
Total	Tonnes	6 798 127	9 794 134	13 155 330	12 170 281	19 509 441
dont géothermie	Tonnes	1 256 065	1 350 393	1 458 570	1 161 030	1 539 227
Scénario Médian		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
CO ₂ évité par an						
Total	Tonnes	6 798 127	9 819 912	13 606 742	14 124 877	31 578 882
dont géothermie	Tonnes	1 256 065	1 350 393	1 472 578	1 217 440	2 633 980
Scénario Maxi		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
CO ₂ évité par an						
Total	Tonnes	6 798 127	9 920 494	14 959 578	17 350 322	45 043 589
dont géothermie	Tonnes	1 256 065	1 351 487	1 511 977	1 483 324	3 815 068

Contribution potentielle de la filière PAC aux objectifs de développement des énergies renouvelables et de réduction des émissions de CO₂ - source : AFPAC

Potentiel de déploiement de la filière et contribution aux politiques publiques environnementales

Autres bénéfices sociaux-économiques et environnementaux à capitaliser :

- Amélioration de l'auto-suffisance énergétique
- Pouvoir d'achat des ménages
- Création d'emplois au sein de la filière

Mais faible prise en compte de l'efficacité matière

- En dehors du recyclage bien traité, quelles évolutions nécessaires pour encourager l'éco-conception et l'allongement de la durée de vie ?

Tep EnR valorisées par les pompes à chaleur

Scénario Mini		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
EnR valorisée par an						
Total	Tep	1 692 084	2 363 411	3 116 494	2 892 527	4 538 619
dont géothermie	Tep	325 454	349 426	376 621	298 163	390 374
Scénario Médian		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
EnR valorisée par an						
Total	Tep	1 692 084	2 369 180	3 217 959	3 330 677	7 254 985
dont géothermie	Tep	325 454	349 426	380 288	312 931	669 468
Scénario Maxi		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
EnR valorisée par an						
Total	Tep	1 692 084	2 391 563	3 520 608	4 056 563	10 284 341
dont géothermie	Tep	325 454	349 712	390 602	382 516	966 748

Tonnes de CO₂ évitées grâce aux pompes à chaleur

Scénario Mini		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
CO ₂ évité par an						
Total	Tonnes	6 798 127	9 794 134	13 155 330	12 170 281	19 509 441
dont géothermie	Tonnes	1 256 065	1 350 393	1 458 570	1 161 030	1 539 227
Scénario Médian		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
CO ₂ évité par an						
Total	Tonnes	6 798 127	9 819 912	13 606 742	14 124 877	31 578 882
dont géothermie	Tonnes	1 256 065	1 350 393	1 472 578	1 217 440	2 633 980
Scénario Maxi		2014	2018	2023	2030(*)	2050(*)
CO ₂ évité par an						
Total	Tonnes	6 798 127	9 920 494	14 959 578	17 350 322	45 043 589
dont géothermie	Tonnes	1 256 065	1 351 487	1 511 977	1 483 324	3 815 068

Contribution potentielle de la filière PAC aux objectifs de développement des énergies renouvelables et de réduction des émissions de CO₂ - source : AFPAC

Accélérer le passage à l'échelle de la filière dans une perspective d'économie circulaire

Mettre en mouvement les acteurs publics et privés pour accélérer le passage à l'échelle de la filière en l'ancrant pleinement dans l'économie circulaire

- **En valorisant davantage les bénéfices environnementaux liés à l'utilisation des PACs**
 - Leur mode de fonctionnement tend à la sobriété énergétique et s'accorde avec les principes de l'économie circulaire
 - Les PACs contribuent aux objectifs de politiques publiques environnementales en produisant une chaleur en grande partie renouvelable et décarbonée
- **En améliorant l'efficacité matière de la filière via le développement de boucles de valorisation en amont du recyclage**
 - Les bonnes pratiques de la filière doivent être davantage valorisées (éco-conception, réparation, reconditionnement, etc.) et récompensés grâce à des outils d'incitation
 - Les freins et leviers à la mise en œuvre des boucles de l'économie circulaire doivent être davantage étudiés

Accélérer le passage à l'échelle de la filière dans une perspective d'économie circulaire

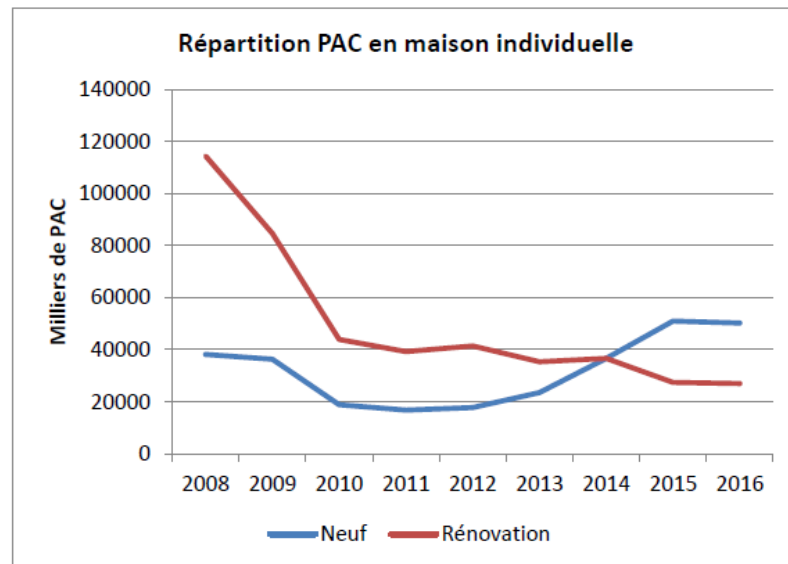
Assurer la reconnaissance des bénéfices environnementaux des pompes à chaleur

Maintenir la dynamique existante sur le déploiement du parc de PAC sur le logement neuf

- Prise en compte du bilan carbone dans la nouvelle réglementation thermique (énergie primaire pénalisante pour les PACs)
- Changement des modalités de calcul de la part ENR affiliable aux PACs

Relancer le déploiement du parc de PACs sur le marché de la rénovation

- Adaptation nécessaire du diagnostic de performance environnementale (DPE) pour prise en compte de l'enjeu climat



Evolution du nombre de PAC installées entre 2008 et 2016 - source : AFPAC

Accélérer le passage à l'échelle de la filière dans une perspective d'économie circulaire

Renforcer les boucles matière de l'économie circulaire au sein de la filière

Lever les freins économiques et organisationnels

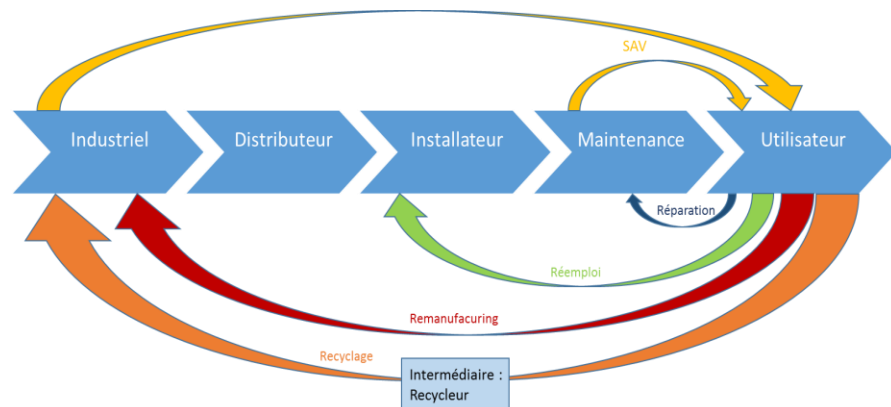
- Définir les critères de rentabilité économique et environnementale pour chacune des boucles (cf. étude AQC) → modèle économique ?
- Définir les modalités de logistique inverse en vue du reconditionnement/remanufacturing

Travailler sur les compétences des acteurs tout au long de la chaîne de valeur

- Formations initiales et continues en vue d'opérationnaliser les nouvelles boucles

Enjeu réglementaire : rééquilibrer enjeux matière avec les exigences d'efficacité énergétique (cf. réglementations ErP et F-Gas)

→ Participe à l'obsolescence des PACs



Les boucles de l'économie circulaire appliquées à la pompe à chaleur

Accélérer le passage à l'échelle de la filière dans une perspective d'économie circulaire

Forces de la filière	Faiblesses de la filière
<ul style="list-style-type: none">– Equipement de production de chaleur renouvelable et peu carbonée– Sobriété et efficacité énergétique– Mix des énergies d'approvisionnement– Valorisation des énergies fatales– Réversibilité adaptée aux problématiques de haute chaleur	<ul style="list-style-type: none">– Facteurs d'émission importants des fluides calorifiques– Manque de valorisation des bénéfices de la filière– Prix d'achat des PAC relativement élevé et aides publiques parfois difficiles à capter– Maintenance hétérogène du parc

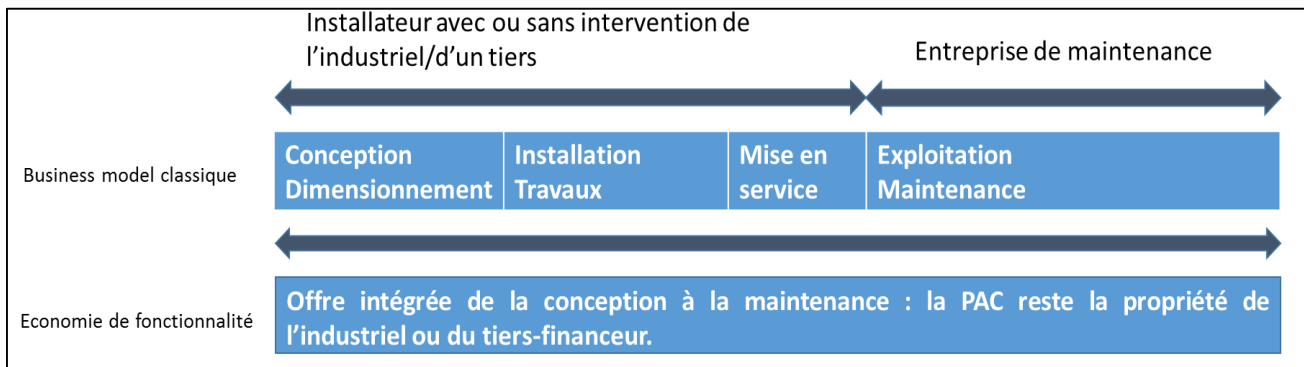
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none">– Contribution de la filière aux objectifs de la transition bas-carbone (PPE, SNBC)– Engagement de la filière pour réduire l'usage des gaz frigorigènes à haut PRG– Avancées collectives réalisées en matière d'éco-conception (fiches PEP)– Elargissement probable des critères pris en compte par la RT 2020– Marché en déploiement et relativement jeune, propice à l'émergence d'innovations	<ul style="list-style-type: none">– Croissance en baisse sur les PAC air-eau sur le marché résidentiel– Taxe française sur les fluides frigorigènes prévue pour 2021– Réglementation qui reste fortement centrée sur l'efficacité énergétique– Disponibilité d'une main d'œuvre suffisante et qualifiée pour accompagner la croissance de la filière

III. Inscrire l'usage et la fonctionnalité au cœur du modèle économique de déploiement des pompes à chaleur

L'économie de fonctionnalité, comme levier « circulaire » de déploiement des pompes à chaleur sur le marché résidentiel

Plusieurs freins liés à l'acquisition des PAC à l'échelle de la maison individuelle :

- Prix d'achat élevé (avance de trésorerie) et captage des aides publiques existantes peu évident
- Manque de connaissance et complexité de l'offre disponible
- Défiance vis-à-vis des performances énergétiques et des économies réalisées



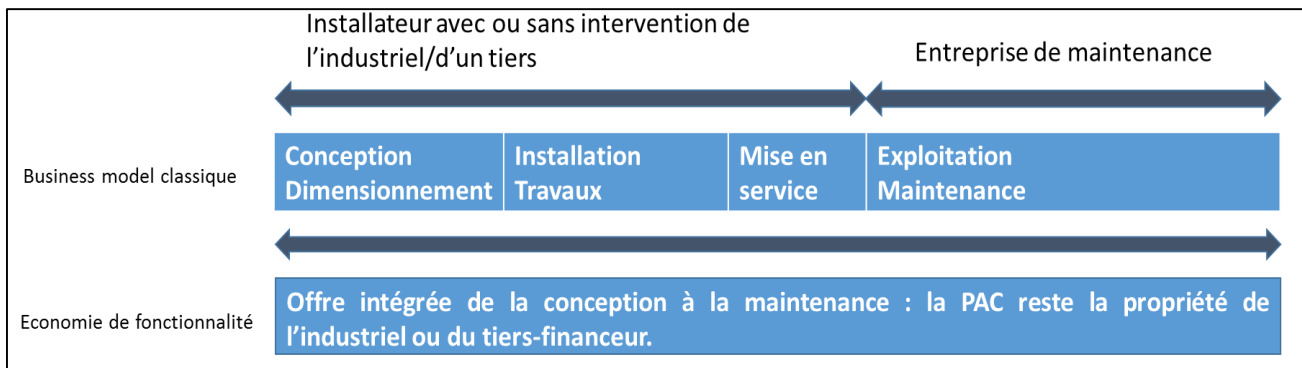
L'économie de fonctionnalité : modèle intégré de fourniture de l'usage d'une PAC

L'économie de fonctionnalité, comme levier « circulaire » de déploiement des pompes à chaleur sur le marché résidentiel

Opportunité : Définir et mettre en œuvre un modèle d'économie de fonctionnalité : passer d'un modèle de vente de « PACs » à un modèle de fourniture de performance

→ Modèle intégré : la PAC reste propriété de l'industriel ou d'un tiers financeur

- Incite à l'allongement de la durée de vie des produits
- Simplifie le process de décision et limite les risques financiers pour l'utilisateur



L'économie de fonctionnalité : modèle intégré de fourniture de l'usage d'une PAC

Facteurs de succès et enjeux de la transition vers l'économie de fonctionnalité

Objectif : Débloquer les freins et leviers à la mise en œuvre d'un modèle d'économie de fonctionnalité

- **Enjeux contractuels :**
 - Modèle contractuel à définir en s'inspirer de l'existant : P1 → P4 sur le parc collectif, crédit longue durée, LOA, LLD, benchmark international, etc.
 - Enjeux juridiques du « transfert du contrat locatif » à analyser
- **Enjeux économiques et financiers :**
 - Changement du modèle économique de l'entreprise (cf. Boostheat) avec investissements initiaux importants (rôle des tiers-financeurs ?)
 - Permettre aux ménages de financer le coût locatif de l'équipement grâce aux économies réalisées dès le premier mois
- **Enjeux réglementaires et incitatifs :**
 - Appliquer les incitations fiscales et financières existant lors de l'achats de PAC au modèle locatif

Conclusion

- Des modes de fonctionnement des équipements et de la filière déjà bien **ancrés dans l'économie circulaire** (sobriété et optimisation des flux calorifiques)
- Des **progrès réalisables** en termes d'**éco-conception**, et d'**optimisation** et de **bouclage** des flux de **matières** (notamment en amont du recyclage)
- Un **contributeur** essentiel de la transition écologique et solidaire et de la Stratégie Nationale Bas Carbone
- Des **leviers** à utiliser pour faciliter le passage à l'échelle de la filière dans une perspective d'économie circulaire
- **L'économie de fonctionnalité** ouvre des perspectives intéressantes en vue d'un déploiement massifié sur le logement résidentiel



Institut National
de l'Économie
Circulaire