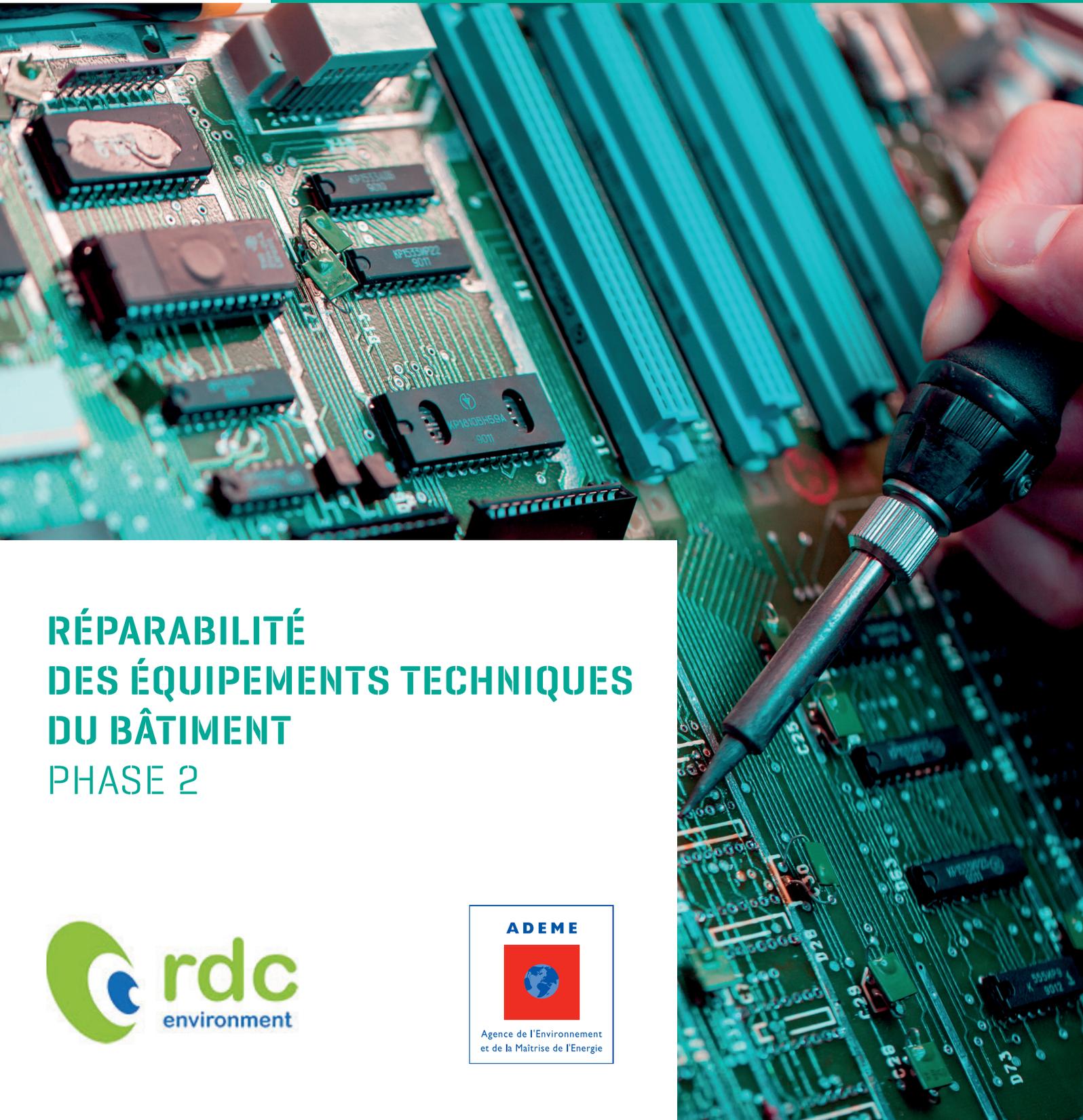




Prévenir les désordres,  
améliorer la qualité  
de la construction

PÔLE  
PRÉVENTION  
PRODUITS MIS  
EN ŒUVRE

Novembre 2019



# RÉPARABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES DU BÂTIMENT PHASE 2



Cette étude a été réalisée par Mélanie COPPENS, Johan LHOTELLIER, Tom HUPPERTZ et Bernard DE CAEVEL de  
RDC Environment

Photo couverture : ©Adobe Stock

# Sommaire

<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>7</b>
<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. CONTEXTE.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. OBJECTIFS.....</b>	<b>8</b>
<b>2. SELECTION DES EQUIPEMENTS TECHNIQUES .....</b>	<b>9</b>
<b>3. ANALYSE DES FREINS ET LEVIERS A LA REPARATION .....</b>	<b>10</b>
<b>4. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE, ECONOMIQUE ET SOCIALE .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1. METHODOLOGIE .....</b>	<b>12</b>
4.1.1. Aspects communs aux trois piliers .....	12
4.1.2. Aspects spécifiques à l'analyse environnementale.....	18
4.1.3. Aspects spécifiques à l'analyse économique .....	21
4.1.4. Aspects spécifiques à l'analyse sociale.....	22
<b>4.2. DONNEES ET HYPOTHESES .....</b>	<b>24</b>
4.2.1. Données et hypothèses communes aux trois piliers.....	24
4.2.2. Données et hypothèses spécifiques à l'ACV.....	30
4.2.3. Données et hypothèses spécifiques à l'analyse économique .....	34
4.2.4. Données et hypothèses spécifiques à l'analyse sociale .....	38
<b>4.3. RESULTATS .....</b>	<b>39</b>
4.3.1. Concept et explication des graphes « Range ».....	39
4.3.2. Résultats environnementaux.....	41
4.3.3. Résultats économiques.....	50
4.3.4. Résultats sociaux .....	60
4.3.5. Résultats sociétaux .....	66
<b>5. LIMITES ET RAPPELS.....</b>	<b>75</b>
<b>6. CONCLUSIONS .....</b>	<b>77</b>
<b>7. RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>81</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>82</b>
ANNEXE 1 : ACTEURS CONTACTES POUR LES FREINS ET LES LEVIERS .....	82
ANNEXE 2 : GUIDE D'ENTRETIEN .....	82
ANNEXE 3 : GROUPE DE TRAVAIL.....	88
ANNEXE 4 : COMPOSITION DES EQUIPEMENTS.....	89
ANNEXE 5 : PRESENTATION DE RANGE-LCA .....	91
ANNEXE 6 : ENQUETES REALISEES .....	93
ANNEXE 7 : RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX ADDITIONNELS .....	95
1. Changement climatique.....	95
2. Epuisement des ressources fossiles.....	100
3. Epuisement des ressources minérales.....	4
<b>INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES .....</b>	<b>8</b>

## Sigles et acronymes

ABS : Acrylonitrile butadiène styrène

ACV : Analyse du cycle de vie

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AQC : Agence Qualité Construction

CAP : Consentement des individus à payer

CAR : Consentement des individus à recevoir

CTA : Centrale de traitement d'air

COFIL : Comité de pilotage

EFT : Entreprise de formation par le travail

ETP : Equivalent temps plein

FM : Facteur de monétarisation

GLO : Global

HT : Hors Taxe

IEA/AIE : International Energy Agency / Agence Internationale de l'Energie

ICV : Inventaire de cycle de vie

JRC : Joint Research Center

MJ : Méga-Joule

PA : Polyamide

PAC : Pompe à chaleur

PC : Polycarbonate

PCS : Pouvoir calorifique supérieur

PE : Polyéthylène

PEF : Product Environmental Footprint

PP : Polypropylène

PRG : Potentiel de réchauffement global

PS : Polystyrène

PVC : Polychlorure de vinyle

RoW/RdM : Rest of the world / Reste du monde

SB-EQ : Equivalent antimoine

SEQE-UE : Système d'échange de quotas d'émission de l'Union Européenne

TTC : Toute taxe comprise

UE/EU : Union européenne / European Union

UF/FU : Unité fonctionnelle / Functional unit

VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée

# GLOSSAIRE

**Abiotique** : Adjectif qualifiant tous les éléments inertes d'un écosystème, dont le climat, le sol, l'eau, la géologie, le relief, les glaces et la matière organique inerte.

**Analyse coût-bénéfice** : L'analyse coût-bénéfice (ACB) est un instrument d'aide à la décision permettant d'évaluer l'ensemble des effets bénéfiques et néfastes (exprimés en termes monétaires) d'un produit, service ou projet.

**Analyse de cycle de vie** : L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode d'évaluation normalisée (ISO 14040 et ISO 14044) permettant de réaliser un bilan environnemental multicritère et multi-étape d'un système (produit, service, entreprise ou procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie.

**Centrale de traitement d'air** : Une centrale de traitement d'air (CTA) est un système visant à modifier les caractéristiques d'un flux d'air entrant par rapport à une commande.

**Chaîne de valeur** : Une chaîne de valeur est un ensemble d'activités qu'une entreprise dans un secteur d'activité particulier exerce afin de fournir un produit ou un service de valeur sur le marché.

**Consentement des individus à payer** : Le consentement des individus à payer (CAP) est le prix maximum auquel le consommateur est d'accord d'acheter un produit ou service.

**Consentement des individus à recevoir** : Le consentement des individus à recevoir (CAR) est la quantité minimale d'argent que les individus souhaitent recevoir pour subir un dommage.

**Ecoconception** : L'écoconception est une démarche qui permet aux entreprises d'intégrer les critères environnementaux dès la phase de conception d'un produit (bien ou service) afin d'en diminuer les impacts tout au long de son cycle de vie.

**Effet d'aubaine** : Un effet d'aubaine est un effet qui survient lorsque des individus non ciblés par un programme se retrouvent en être les destinataires des bénéfices.

**Equivalent temps plein** : L'équivalent temps plein (ETP) est une unité qui permet d'effectuer une mesure comparable de l'emploi. Il est égal à 1 pour un travailleur à temps plein.

**Externalité** : Une externalité est une situation dans laquelle l'activité d'un agent économique génère un impact positif ou négatif sur le bien être d'autres agents économiques sans qu'il y ait une transaction ou une contrepartie financière.

**Inventaire du cycle de vie** : L'inventaire du cycle de vie est le bilan complet des flux entrants et des flux sortants (ressources énergétiques, matières premières et transports) nécessaires pour fabriquer un produit.

**Méthode des préférences révélées** : La méthode des préférences révélées est une méthode qui consiste à évaluer la valeur d'un bien se basant sur les préférences d'achat des consommateurs.

**Pompe à chaleur** : Une pompe à chaleur (PAC) est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un milieu à basse température vers un milieu à haute température.

**Taux d'actualisation** : Le taux d'actualisation permet d'apprécier la valeur des flux monétaires futurs à la date d'aujourd'hui. Il permet ainsi de comparer des flux financiers se produisant à des dates différentes.

**Unité fonctionnelle** : L'unité fonctionnelle définit les fonctions remplies par le système étudié et la performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence.

**Ventilation mécanique contrôlée** : Une ventilation mécanique contrôlée (VMC) est un dispositif mécanique destiné à assurer le renouvellement permanent de l'air à l'intérieur des pièces.

# RESUME

Suite à l'étude phase 1 menée sur la réparabilité des équipements techniques, l'ADEME et l'AQC ont souhaité réaliser une nouvelle étude portant sur les impacts d'un développement de la réparation de trois équipements techniques du bâtiment.

Les trois équipements sélectionnés sont les chaudières, les pompes à chaleur et les centrales de traitement d'air. Pour ces équipements, des scénarios de réparation et de remplacement ont été comparés au niveau environnemental, économique et social. Les résultats sont détaillés par pilier du développement durable et par scénario de panne.

D'un point de vue sociétal (environnement, économie et social), le choix entre réparation et remplacement dépend principalement de la diminution de la consommation d'énergie totale entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement. Il est toujours préférable de réparer l'équipement lorsque les performances énergétiques sont identiques entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement. Lorsque le remplacement permet de réduire la consommation d'énergie par rapport à la réparation, la préférence pour le remplacement dépend de l'équipement et de la diminution de la consommation d'énergie totale grâce aux nouveaux équipements.

Pour les pannes liées aux chaudières, il faut une diminution de 3 à 8 % de consommation d'énergie pour que le remplacement soit préférable. Pour les pannes liées aux pompes à chaleur, il faut une diminution de consommation d'au moins 19 % pour que le remplacement soit préférable. Pour les pannes liées à la ventilation, il est toujours préférable de réparer.

Des recommandations ont été formulées pour favoriser la réparation quand elle est pertinente :

- Obliger les producteurs à mettre à disposition les pièces détachées pendant une période suffisamment longue, dans un délai et à un prix raisonnables
- Favoriser l'accès à l'information et aux compétences pour permettre le diagnostic de la panne et sa réparation
- Informer les experts des bénéfices sociétaux soit de la réparation, soit du remplacement, en fonction des performances énergétiques.

# 1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

## 1.1. CONTEXTE

Le XX<sup>e</sup> siècle a vu se développer un mode de consommation particulièrement gourmand en ressources naturelles. De nombreuses études ont ainsi montré qu'au plus tard en 2050, ce modèle ne sera plus compatible avec l'accroissement constant de la population mondiale et l'aspiration des économies émergentes à le reproduire. Dans ce contexte, de nombreuses organisations multiplient les travaux prospectifs pour inciter les sociétés à renoncer à cette économie de consommation, au profit d'une économie circulaire.

Acteurs de cette mutation, l'AQC et l'ADEME ont réalisé une étude (phase 1) sur les différents dysfonctionnements de 7 équipements techniques du bâtiment (*Volet roulant, Pompe à chaleur, Chaudière, Chauffe-eau thermodynamique, Climatisation multi-split, Centrale de traitement d'air, Photovoltaïque*) et sur les solutions pratiquées pour pallier ces dysfonctionnements. L'étude montre que le potentiel de réparation existe mais qu'il manque l'incitation pour le développement de ce nouveau modèle économique. En effet, le changement complet de l'équipement est encore trop souvent la solution, par manque de pièces disponibles ou de professionnels compétents pour le diagnostic et la réparation. L'étude présente également des pistes d'incitation possibles qui pourraient être mises en œuvre tant par les assureurs que par les pouvoirs publics.

## 1.2. OBJECTIFS

Suite à l'étude phase 1 menée sur la réparabilité des équipements techniques, l'ADEME et l'AQC ont souhaité réaliser une nouvelle étude portant sur les impacts d'un développement de la réparation de trois équipements techniques du bâtiment. Les objectifs plus spécifiques de la présente étude sont :

- Sélectionner 3 équipements techniques parmi les 7 étudiés en phase 1 ;
- Affiner les freins et leviers au développement de la réparation des 3 équipements techniques sélectionnés ;
- Définir trois scénarios de réparation à analyser pour chaque équipement ;
- Evaluer les impacts des trois scénarios de réparation en comparaison avec le scénario de remplacement de l'équipement complet, pour les trois équipements sélectionnés, au niveau :
  - Economique
  - Environnemental
  - Social
- Proposer des recommandations pour le développement de la réparation des 3 équipements techniques sélectionnés.

## 2. SELECTION DES EQUIPEMENTS TECHNIQUES

L'objectif est de sélectionner les équipements techniques de bâtiments (habitats individuels ou collectifs) parmi les 7 étudiés en phase 1 du projet, c'est-à-dire :

- 1) Volet roulant
- 2) Photovoltaïque
- 3) Chauffe-eau thermodynamique
- 4) Climatisation, multi-split
- 5) Pompe à Chaleur (PAC)
- 6) Centrale de traitement d'air
- 7) Chaudière

Différents critères de sélection ont été discutés lors du premier comité de pilotage (COFIL), notamment :

- **Caractéristiques de l'équipement**
  - Durée de vie des équipements
- **Réparabilité**
  - Taux de réparabilité
  - Coûts des réparations par rapport aux équipements neufs
  - Causes des réparations
  - Possibilités de réparation
  - Maturité de la réparation des équipements (offres existantes aujourd'hui)
- **Marché**
  - Nombre d'équipements installés
  - Evolution du nombre d'équipements installés
- **Enjeux environnementaux**
  - Phase prédominante pour les impacts environnementaux : production / utilisation / fin de vie (données qualitatives à dire d'experts)

Suite à cette discussion, les 3 équipements techniques suivants ont été sélectionnés :

- Chaudières ;
- Pompes à chaleur ;
- Centrales de traitement d'air et ventilation mécanique contrôlée.

### 3. ANALYSE DES FREINS ET LEVIERS A LA REPARATION

Afin d'affiner l'analyse des freins et des leviers des 3 équipements techniques réalisée en phase 1, des acteurs clés de toute la chaîne de valeur de la filière (cf. figure ci-dessous) ont été contactés. La liste des acteurs à contacter a été complétée par les membres du COPIL (cf. annexe). Des entretiens téléphoniques ont été réalisés en suivant un guide d'entretien validé par les membres du COPIL (cf. annexe).

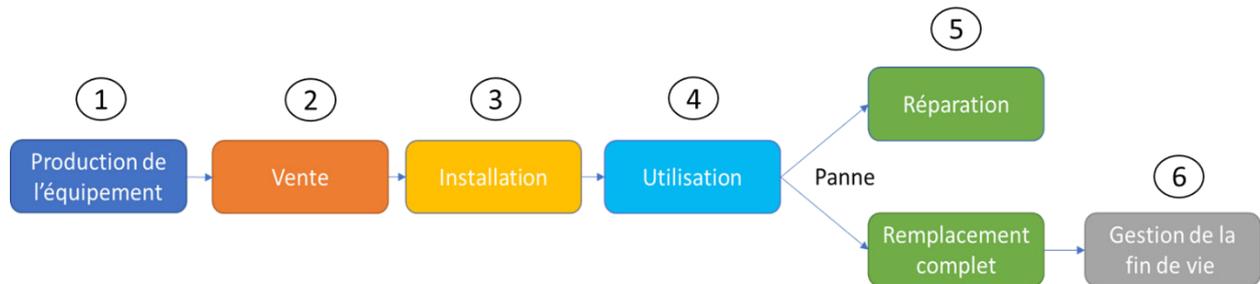


Figure 1 - Chaîne de valeur équipement technique

Les 2 tableaux ci-dessous présentent les freins et leviers identifiés, en fonction des équipements et positionnés dans les différents maillons de la chaîne de valeur (numérotés de 1 à 6 cf. schéma ci-dessus).

- **Freins à la réparation**

Freins	Équipement			Maillon chaîne de valeur					
	Chaud.	PAC	CTA - VMC	1	2	3	4	5	6
Beaucoup d'évolutions technologiques ces 10 dernières années (surtout liées aux réglementations - RT 2012) et donc appareils réparés moins performants que les neufs	X	X	X	X					
Pas de standardisation de pièces entre fabricants	X	X	X	X					
Certains sous-ensembles non démontables	X	X		X					
Responsabilités (garantie) en cas de dommage à la suite d'une réparation	X	X	X		X				
Pas de contrats de maintenance pour les équipements de maisons individuelles (mais pour les chaudières l'entretien annuel tend à être respecté)	X	X	X				X		
Valeur faible des équipements pour maisons individuelles			X					X	
Manque de compétences / disponibilité d'information pour diagnostiquer les pannes et réparer car évolution rapide vers l'automatisation / l'électronique / la connectivité	X	X	X					X	
Délai important pour les pièces non considérées comme « consommables », endommagées à cause d'un défaut majeur (Ex orage)	X	X	X					X	

Tableau 1 - Freins à la réparation (voir Figure 1 pour la légende des couleurs)

- Leviers à la réparation

Légende des couleurs : leviers existants / leviers potentiels

Leviers	Equipement			Chaine de valeur					
	Chau.	PAC	CTA - VMC	1	2	3	4	5	6
Tout est démontable et les pièces sont globalement standardisées			X	X					
Les équipements font parties des filières REP DEEE ménagers et professionnels	X	X	X	X	X				X
Mettre en place un standard de codes d'erreurs entre les fabricants pour les mêmes pannes ou délivrance de messages d'erreurs avec description plutôt que par N° de code	X	X	X	X					
Développer les autodiagnostic avec codes d'erreurs pour les petits systèmes (à faible coût et qui sont fabriqués en mono bloc) qui en n'ont pas	X	X	X	X					
La réparation permet de fidéliser les clients (maintenance / équipements futurs)	X	X	X		X	X			
Les équipements sont souvent doublés (avec un certain surdimensionnement) dans les logements collectifs et bâtiments tertiaires donc parfois possibilité d'avoir un équipement à l'arrêt pour une courte période en attendant de réparer	X	X	X			X			
Contrats d'entretien pour équipements dans logements collectifs / bâtiments tertiaires	X	X	X				X		
Les pièces d'usure / consommables en stock et disponibles en 24-48 h	X	X	X					X	
Mécanismes d'incitation par les assureurs si on fait appel à des réparateurs certifiés (ex : prolongation de la garantie, réduction de la prime, réduction ou suppression de la franchise...)	X	X	X					X	
Réseau de réparation en lien avec les assureurs et les fabricants	X	X	X					X	
Inciter/obliger les fabricants à communiquer la liste des entreprises / dépanneurs agréés pour leur matériel et les mettre à jour sur leur site / dans les notices	X	X	X					X	
Organiser des formations des professionnels par le fournisseur/l'industriel	X	X	X					X	

Tableau 2 - Leviers à la réparation des équipements techniques (voir Figure 1 pour la légende des couleurs)

# 4. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE, ECONOMIQUE ET SOCIALE

## 4.1. METHODOLOGIE

### 4.1.1. Aspects communs aux trois piliers

#### Scénarios de panne étudiés

Pour tous les scénarios de panne cités dans le

Catégorie d'équipement	Panne et équipement précis	Nom simplifié
Chaudières	Panne du brûleur d'une chaudière collective au fioul domestique de 115 kW	1. Chaud BLC brûleur
	Panne du tableau de commande d'une chaudière murale individuelle au gaz de 22kW	2. Chaud MI tab. cde.
	Panne du circulateur d'une chaudière murale individuelle au gaz de 22 kW	3. Chaud MI circulateur
Pompes à chaleur	Panne du circuit électronique d'une PAC d'une maison individuelle air-eau < 12 kW	4. PAC air-eau MI <12 kW
	Panne du circuit électronique d'une PAC d'une maison individuelle air-air < 12 kW	5. PAC air-air MI <12 kW
	Panne du circuit électronique d'une PAC d'un logement individuel appliqué au logement collectif air-air ≈ 7 kW	6. PAC air-air BLC 6 kW
Ventilation	Panne de la carte électronique d'une CTA compacte pulsant un volume d'air de 3500 à 4500 m³/h	7. CTA élec
	Panne du moteur d'une CTA compacte pulsant un volume d'air de 3500 à 4500 m³/h	8. CTA moteur

Tableau 3, nous comparons la réparation (remplacement de la pièce en panne) au remplacement de l'équipement complet.

Catégorie d'équipement	Panne et équipement précis	Nom simplifié
Chaudières	Panne du brûleur d'une chaudière collective au fioul domestique de 115 kW	9. Chaud BLC brûleur
	Panne du tableau de commande d'une chaudière murale individuelle au gaz de 22kW	10. Chaud MI tab. cde.
	Panne du circulateur d'une chaudière murale individuelle au gaz de 22 kW	11. Chaud MI circulateur
Pompes à chaleur	Panne du circuit électronique d'une PAC d'une maison individuelle air-eau < 12 kW	12. PAC air-eau MI <12 kW
	Panne du circuit électronique d'une PAC d'une maison individuelle air-air < 12 kW	13. PAC air-air MI <12 kW
	Panne du circuit électronique d'une PAC d'un logement individuel appliqué au logement collectif air-air ≈ 7 kW	14. PAC air-air BLC 6 kW
Ventilation	Panne de la carte électronique d'une CTA compacte pulsant un volume d'air de 3500 à 4500 m³/h	15. CTA élec

	Panne du moteur d'une CTA compacte pulsant un volume d'air de 3500 à 4500 m <sup>3</sup> /h	16. CTA moteur
--	---	----------------

Tableau 3 : Scénarios de pannes étudiés

## Unité fonctionnelle

Les résultats d'une ACV (analyse du cycle de vie) sont toujours exprimés en fonction d'une unité fonctionnelle. Cette unité fonctionnelle définit les fonctions remplies par le système étudié et la performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence.

L'unité fonctionnelle définie pour cette étude est la suivante : **utilisation d'un équipement pendant toute sa durée de vie avec une panne entre la 3<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> année d'utilisation.**

## Champ de l'analyse

Le champ de l'analyse environnementale, économique et sociale est présenté dans la figure ci-dessous. Comme l'objectif est de comparer les impacts de la réparation (remplacement de la pièce en panne) au remplacement de l'équipement complet, les procédés identiques dans les 2 situations ne sont pris en compte.

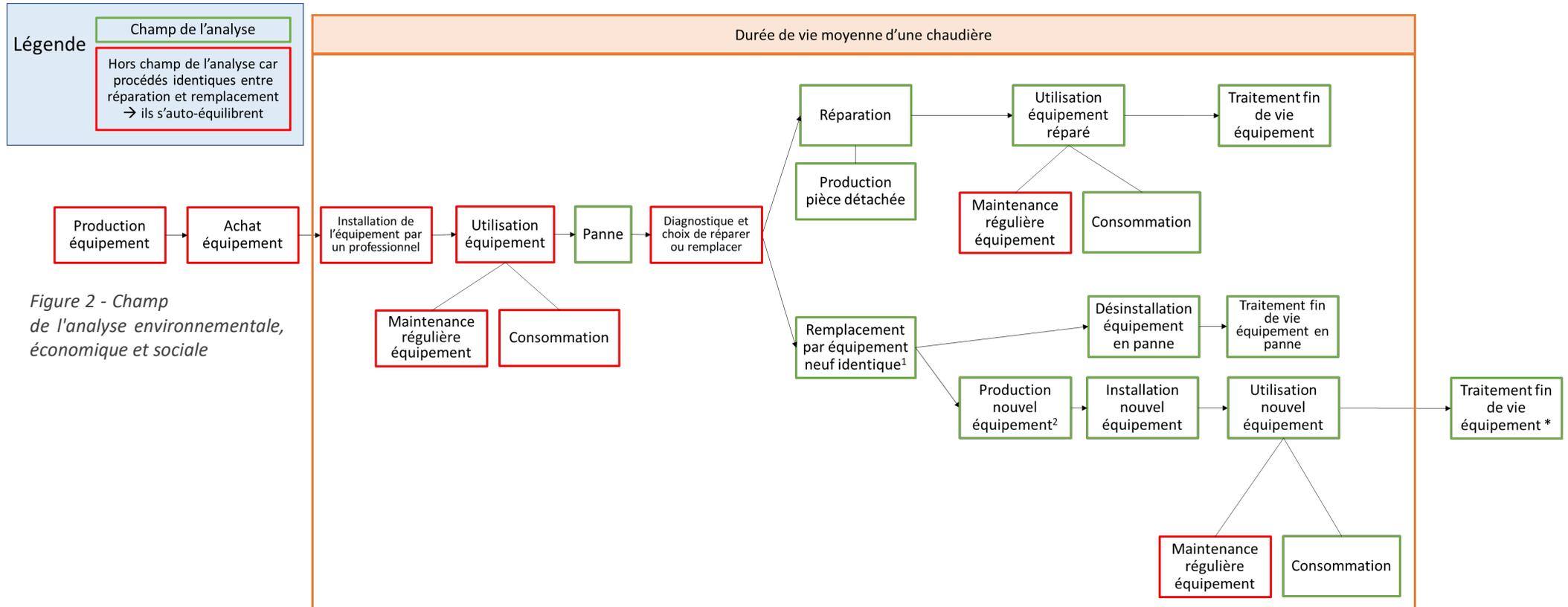


Figure 2 - Champ de l'analyse environnementale, économique et sociale

<sup>1</sup> identique = même type d'équipement que le précédent mais pas forcément la même efficacité énergétique

<sup>2</sup> Coefficient correctif en fonction de la durée de vie restante

## Représentativité temporelle

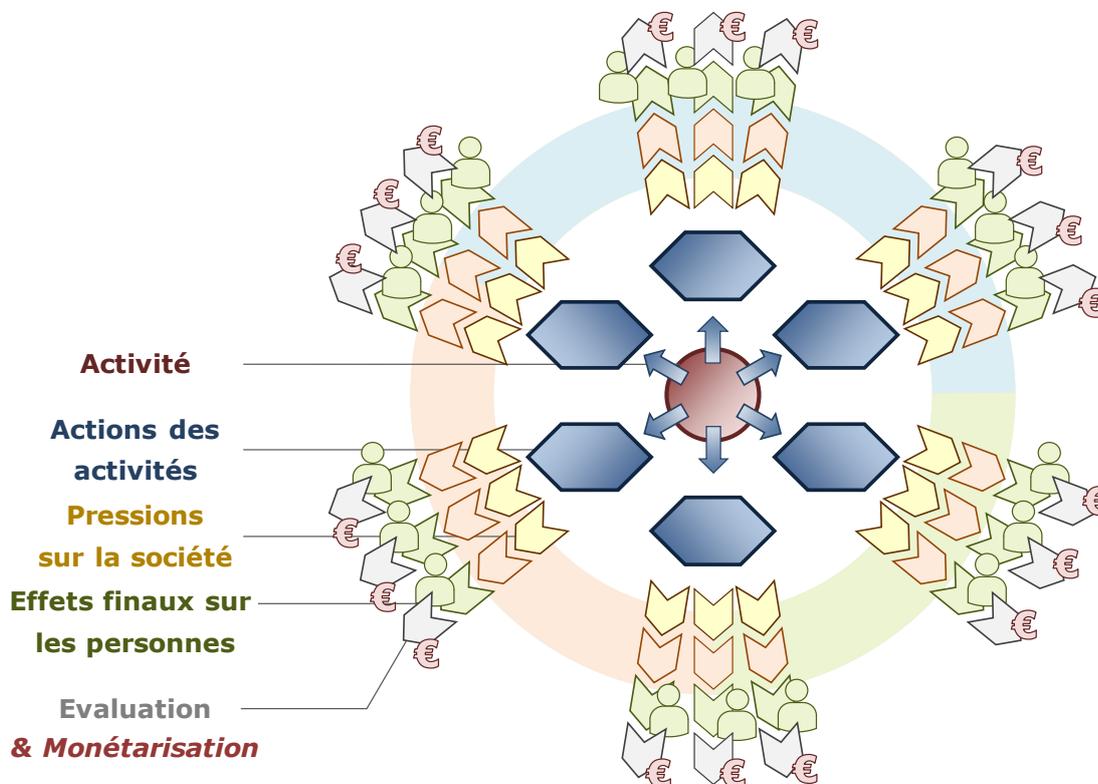
La représentativité temporelle peut être synthétisée en deux commentaires :

- La période temporelle évaluée correspond à des équipements installés récemment, la panne intervenant entre la 3<sup>ème</sup> et la 10<sup>ème</sup> année de vie de l'équipement. Les données collectées correspondent en majorité aux années 2017-2018 (le détail par données est présenté dans le chapitre *DONNEES ET HYPOTHESES*).
- La représentativité temporelle des données d'inventaires, pour l'analyse environnementale, est variable en fonction des bases de données utilisées :
  - Les inventaires de cycle de vie sont issus de la base de données d'Ecoinvent version 3.5 publiée en août 2018,
  - Sauf pour les inventaires de cycle de vie de la fin de vie des équipements qui sont issus de l'éco-organisme Recylum-Ecosystèmes publiés en 2017<sup>1</sup>.

## Modélisation de la chaîne d'effet

En analyse coût-bénéfice, l'activité étudiée est également définie en termes d'unité fonctionnelle, qui est prise évidemment identique à celle de l'ACV (Utilisation d'un équipement pendant toute sa durée de vie avec une panne entre la 3<sup>ème</sup> et 10<sup>ème</sup> année d'utilisation).

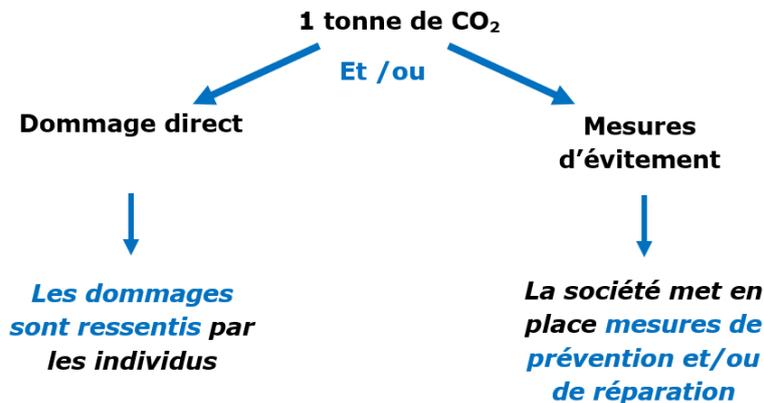
Ensuite, il convient de décrire l'ensemble des actions fonctionnelles qui ont des effets sur la société, et les pressions associés.



<sup>1</sup> Une nouvelle publication des inventaires de cycle de vie de fin de vie par l'éco-organisme a été diffusée en décembre 2018 mais est arrivée trop tard dans l'étude pour pouvoir être incorporée.

Enfin, il s'agit d'estimer de quelle manière les individus subissent les effets associés :

- Soit les individus subissent directement un dommage ou un bénéfice sur le bien-être ;
- Soit ils mettent en place des actions de prévention/de réparation pour réduire ou éliminer le dommage, ce qui conduit à un effet sur le bien-être égal au coût sociétal de mise en œuvre de ces actions ;
- Soit il s'agit d'une combinaison des deux, le dommage ou bénéfice étant partiellement subi.



Puis, ces effets ressentis sont évalués de façon monétaire.

## Evaluation monétaire

En analyse coût-bénéfice, on exprime l'ensemble des coûts et bénéfices en une valeur monétaire. Les valeurs monétaires sont une unité commune pertinente pour mesurer des gammes d'effets sur le bien-être car « 1 euro = amélioration de la qualité de vie d'un humain (de revenu européen moyen) liée aux produits et services supplémentaires qu'il peut utiliser grâce à une augmentation de 1 euro de ses revenus ».

Il est important de signaler qu'en analyse coût-bénéfice, l'utilisation de valeurs monétaires ne sous-entend pas, même implicitement, que l'économique est le seul critère de valeur.

En fait, c'est exactement le contraire : l'évaluation monétaire en analyse-coût-bénéfice évalue l'éventail complet des valeurs sociales.

*Par exemple, une forêt présente une valeur monétaire positive, même si on peut la visiter gratuitement, car elle a un effet positif sur le bien-être en remplissant différents services écosystémiques : fourniture de bois, espace de loisir et de détente, présence de biodiversité utile à l'homme, purification de l'air et de l'eau, valeur spirituelle et culturelle...*

Dans le cas d'un dommage direct, il convient d'évaluer de façon monétaire le dommage subi par les individus.

Pour chaque effet sur le bien-être des individus, on exprime finalement les résultats en une unité de valeur monétaire commune en estimant :

- Pour les bénéfices l'ensemble des moyens (argent, temps...) que les individus sont prêts à mettre pour en disposer, c'est le Consentement des individus à Payer (CAP). C'est le prix maximum auquel le consommateur est d'accord d'acheter un produit/service.

*Exemple : temps et coût du transport pour profiter d'une zone naturelle.*

- Pour les coûts ou dommages, la quantité minimale d'argent que les individus souhaitent recevoir pour subir un dommage, c'est le Consentement des individus à Recevoir (CAR).

*Exemple : décote des prix immobiliers pour subir une nuisance sonore*

L'ISO 14008 recense différentes méthodes pour approximer le Consentement à Payer ou le Consentement à Recevoir, que nous ne détaillerons pas ici : évaluation des prix du marché, préférences révélées<sup>2</sup>, préférences déclarées<sup>3</sup>.

## Cas spécifique : ressources non-renouvelables

L'épuisement des ressources non-renouvelables est un fardeau pour les générations futures, qui seront privées de certains usages ou devront payer plus cher pour l'accès aux ressources.

L'épuisement des ressources non-renouvelables est évalué par une méthode d'évaluation monétaire développée par RDC Environment et Bo Weidema. Ce développement a conduit à la publication en janvier 2019 d'un article scientifique à comité de lecture dans le journal *Resources*, disponible en [libre-accès](#).

Citation: Tom Huppertz, Bo P. Weidema, Simon Standaert, Bernard De Caemel, and Elisabeth van Overbeke, The Social Cost of Sub-Soil Resource Use, *Resources* 2019, 8(1), 19; doi:10.3390/resources8010019

L'évaluation monétaire des ressources vise à évaluer le prix optimal de la ressource permettant de tenir compte de ces externalités négatives pour les générations futures.

Le principe de cette méthode est de se baser sur le prix du marché, que l'on considère correctement refléter de nombreux effets mais qui accorde une trop grande préférence pour le présent car il ne prend pas en compte les générations futures ; et de corriger ce prix du marché pour tenir équitablement compte des générations présentes et futures, en utilisant un taux d'actualisation « social ».

L'apport de cette méthode par rapport aux méthodes précédentes est

- 1) de refléter correctement le dommage subi car elle prend en compte à la fois la rareté et l'utilité des ressources, ce qui n'est pas le cas pour des méthodes comme le sac à dos écologique ou les méthodes fondées sur la rareté (Oers et. Al 2002 Abiotic Resource Depletion Potential utilisé communément en ACV)
- 2) de reposer sur des principes économiques reconnus, et sur des données connues ou relativement faciles à estimer, en évitant ainsi de formuler des hypothèses plus ou moins incertaines sur les coûts futurs (Méthode EPS 2015, Surplus Cost Potential)

## Double comptage

En analyse coût-bénéfice, il faut éviter de faire des doubles-comptages : prendre en compte un même impact dans plusieurs piliers du développement durable. Un exemple présent dans cette étude est présenté ci-dessous.

<sup>2</sup> Les préférences des consommateurs sont révélées par leurs habitudes d'achats.

<sup>3</sup> A travers des enquêtes par exemple.

Selon la méthode de RDC Environment, le prix d'une ressource abiotique<sup>4</sup> non-renouvelable peut être utilisé comme base pour calculer son impact environnemental mais le prix doit être corrigé afin de prendre en compte la non-disponibilité des ressources pour les générations futures dans le prix de marché. Nous obtenons donc dans le pilier environnemental un impact environnemental total composé du prix de la ressource plus la correction de la prise en compte des générations futures. Le prix de la ressource est subi par les acteurs économiques et se retrouve donc également dans le pilier économique. Il faut veiller à ne pas monétariser deux fois le prix des ressources dans le résultat sociétal.

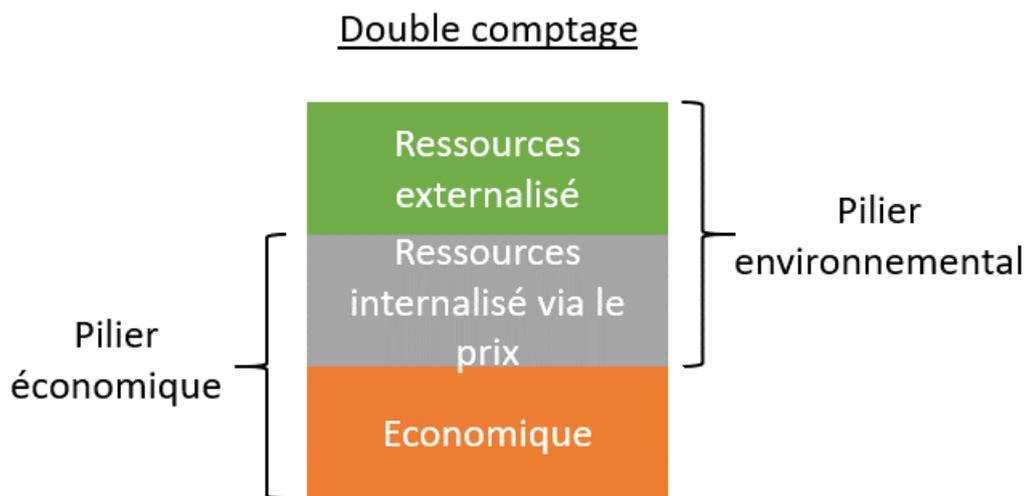


Figure 3 : Illustration double comptage de ressources non-renouvelables

## 4.1.2. Aspects spécifiques à l'analyse environnementale

### L'analyse de cycle de vie en bref

L'ACV est l'outil le plus complet et le plus pertinent en matière d'évaluation globale et multicritère des impacts environnementaux. Cette méthode normée permet de mesurer les effets quantifiables de produits ou de services sur l'environnement.

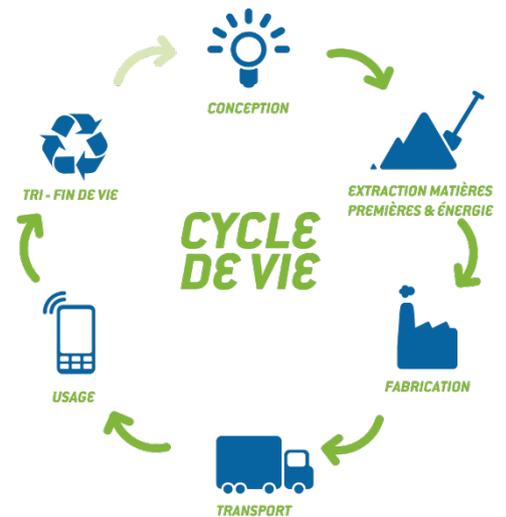
C'est un outil d'aide à la décision. Ses résultats peuvent être utilisés pour des besoins d'écoconception, d'affichage environnemental ou encore d'orientation des politiques publiques. L'objectif de l'ACV est de présenter une vision globale des impacts potentiels générés par les produits (biens, services ou procédés) tout au long de la vie d'un produit, c'est à dire de la production des matières premières jusqu'à sa gestion en fin de vie (on parle alors d'analyse « du berceau à la tombe » ou « cradle-to-grave »).

<sup>4</sup> Adjectif qualifiant tous les éléments inertes d'un écosystème, dont le climat, le sol, l'eau, la géologie, le relief, les glaces et la matière organique inerte.

Un produit est fabriqué à partir de matières premières et d'énergie ; il est utilisé, puis éliminé en fin de vie. L'ACV établit un bilan quantitatif de tous les flux entrants (eau, énergie, matières premières) et sortants (eau, air, déchets), à chaque étape du cycle de vie d'un produit. Ceci permet d'identifier un grand nombre d'impacts (ou pollutions) sur l'environnement.

C'est une méthode d'évaluation **multi-étapes** (production des matières premières, transport, fabrication du produit, distribution, utilisation et fin de vie) et **multicritères** (impacts sur les écosystèmes, impacts sur les ressources et impacts sur la santé).

Utilisée comme outil d'écoconception, elle permet d'identifier les éventuels transferts de pollution d'une phase de cycle de vie à une autre et/ou d'un indicateur environnemental à un autre lorsque diverses solutions sont envisagées.



## Description de la méthode d'analyse de cycle de vie

L'ACV est un processus itératif (chaque étape peut nous amener à revoir les précédentes) et comprend quatre phases :

1. Définition des objectifs et du champ de l'étude
2. Inventaire
3. Évaluation de l'impact
4. Interprétation

La **phase 1** permet de définir quels sont les objectifs de l'ACV, en précisant quelle(s) application(s) il en sera faite(s) : écoconception, comparaison de produits ou services ou déclaration environnementale. La cible de l'étude est précisée à ce stade, ainsi que la manière dont seront divulgués les résultats (pour des affirmations comparatives par exemple). Le champ de l'étude doit par ailleurs préciser les fonctions du produit étudié, l'unité fonctionnelle choisie (voir ci-dessous), les frontières du système étudié (étapes/procédés à prendre en compte, cf. phase 2) et les limites de l'étude (méthodologiques en grande partie). C'est aussi à ce stade que les différentes règles pour les calculs appliqués à l'étude seront arrêtées.

À la **phase 2**, chaque système est décomposé en plusieurs procédés unitaires. Chacun de ces procédés correspond à une action précise dans la filière. Ces procédés mis bout à bout conduisent à l'élaboration d'un arbre de procédés pour chaque système.

Chaque procédé unitaire est caractérisé par une multitude de flux élémentaires entrants et sortants (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PO<sub>4</sub>, Fe, Ag, Au...) généralement issu d'une collecte de données permettant de déterminer les intrants (consommation d'eau, d'énergie, de matières premières...) et les sortants (émissions dans l'air, dans l'eau, les sols, déchets et produits et co-produits générés par le processus). On appelle cette démarche « inventaire du cycle de vie ». L'inventaire est donc une comptabilité analytique des flux.

Une fois les procédés identifiés, leur intégration va permettre de reconstituer l'ensemble de la chaîne. La construction de l'arbre des procédés est progressive et part de l'**Unité Fonctionnelle** (fonction remplie par le système étudié, ex : « emballer 1 litre de marchandises »).

Lors de l'évaluation des impacts (**phase 3**), les différents flux sont regroupés par catégories d'impacts (ex : changement climatique) selon leur contribution à un problème/enjeu environnemental. Pour chaque catégorie d'impacts, des **facteurs de caractérisation** spécifiques sont appliqués à chaque valeur de flux afin de traduire un effet sur l'environnement dans une unité commune (par exemple, pour l'indicateur de contribution au changement climatique, le kg CO<sub>2</sub>-eq est retenu comme unité commune). Les indicateurs d'impacts sur l'environnement peuvent ainsi être évalués.

Flux	Inventaire	Facteurs de caractérisation	Résultats caractérisés
Unité	kg / unité fonctionnelle	Kg CO <sub>2</sub> -eq/flux	en kg CO <sub>2</sub> -eq
CO <sub>2</sub>	1.2	1	1.2 (1.2 x 1)
CH <sub>4</sub>	0.01	36	0.36 (0.01 x 36)
N <sub>2</sub> O	0.0017	298	0.51 (0.0017 x 298)
<b>Total</b>	-	-	<b>2.07 (1.2+0.36+0.51)</b>

*Exemple simplifié de caractérisation des impacts pour la catégorie d'impacts « changement climatique »*

Lors de l'interprétation des résultats (**phase 4**), les phases du cycle de vie et les flux qui contribuent le plus aux indicateurs d'impacts environnementaux sont identifiés. Des actions peuvent être menées afin de prévenir ou limiter les impacts. L'approche ACV, multicritères, contribue en outre à éviter, ou au moins à limiter au maximum, les transferts de pollutions (d'une catégorie d'impact vers une autre et d'une phase du cycle de vie vers une autre) lors de la prise de décision.

## Comparaison entre réparation et remplacement par du neuf

L'analyse est comparative et vise à quantifier les différences entre un scénario de référence « l'appareil est en panne et est remplacé » avec une situation où l'équipement est réparé.

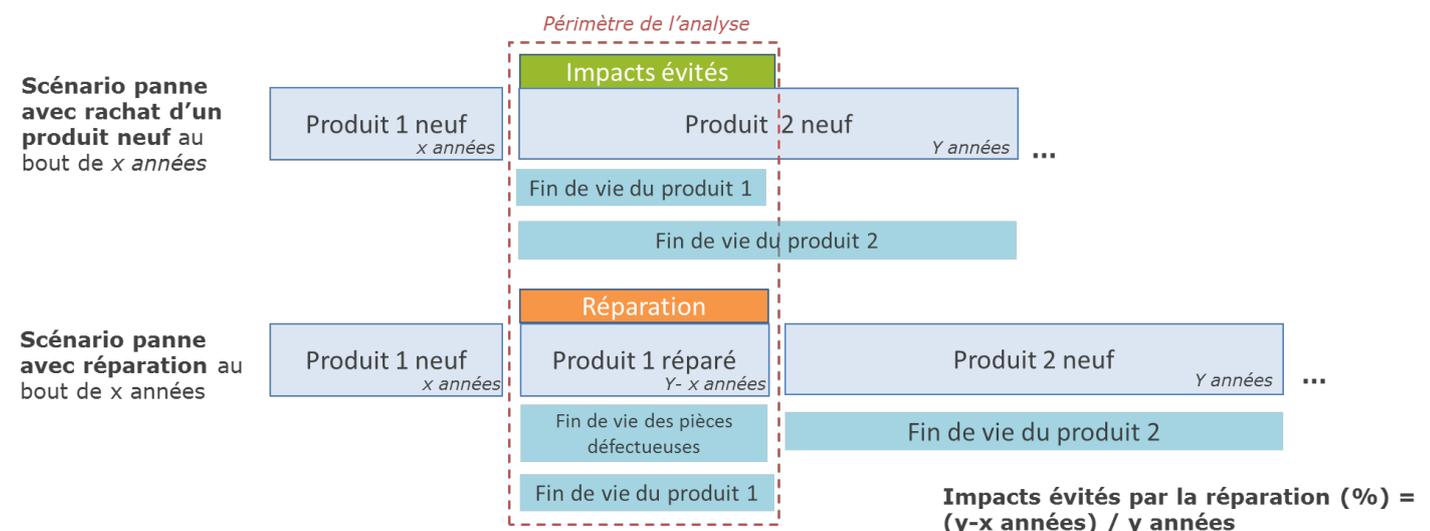


Figure 4 : La comparaison entre la réparation et le remplacement par du neuf

## Représentativité géographique

Le périmètre géographique considéré est :

- Mondial pour la production des matières premières utilisées dans la fabrication des équipements,
- Européen pour la transformation des matières premières et l'assemblage de l'équipement,
- Français pour les étapes de distribution, d'utilisation et de fin de vie des équipements.

## Catégories d'impacts

Les trois catégories d'impacts suivantes sont étudiées :

Catégorie d'impact	Modèle	Unité	Source
Changement climatique	Bern model – Global Warming potentials (GWP) over a 100 year time horizon	kg CO2 eq	Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013 Facteurs EC-JRC 2017
Épuisement des ressources minérales	CML 2002 model ADP ultimate reserves	kg Sb eq.	Van Oers et al., 2008 CML-IA method v. 4.8 (2016)
Consommation de ressources fossiles	CML 2002 model ADP fossil <sup>5</sup>	MJ	Van Oers et al., 2008 CML-IA method v. 4.8 (2016)

Tableau 4 : Catégories d'impact étudiées

Ces indicateurs font partie de la liste des 16 indicateurs dernièrement recommandés par le JRC (Joint Research Center) de la commission européenne dans le cadre des travaux du Product Environmental Footprint (PEF).

Les autres indicateurs sont évidemment pertinents dans l'analyse environnementale et sont analysés de façon groupée à travers 2 indicateurs monétaires :

- Les coûts environnementaux totaux exprimés en Euros environnementaux  
Cet indicateur traduit des impacts environnementaux en coûts à l'aide de facteurs de monétarisation.
- Les externalités environnementales exprimées en Euros environnementaux  
Cet indicateur est utilisé dans l'analyse sociétale pour éviter les doubles comptages lorsqu'une partie des coûts environnementaux est internalisée dans l'économie.

### 4.1.3. Aspects spécifiques à l'analyse économique

#### Approche coûts

Dans une analyse coût-bénéfice d'un point de vue sociétal, il faut s'intéresser aux coûts et non aux prix car les coûts correspondent à l'utilisation de facteurs de production :

<sup>5</sup> In the ILCD flow list, and for the current recommendation, Uranium is included in the list of energy carriers, and it is measured in MJ.  
Agence Qualité Construction - 2019

- Travail
- Ressources
- Capital

Le prix est égal aux coûts plus la marge et les taxes éventuelles.

$$\text{Prix} = \text{coûts} + \text{marge} + \text{taxes}$$

La marge n'est pas prise en compte car elle ne correspond pas à un facteur de production mais à un transfert entre acteurs sans impact sociétal (voir ci-dessous).

L'explication méthodologique analogue sur la non prise en compte des taxes est détaillée à la section suivante.

## Taxes

Les taxes et soutiens redistributifs correspondent à un transfert d'argent, et donc de bien-être, entre agents (consommateur, entreprise, Etat).

Dans le cas d'une taxe, d'une part on assiste à une perte de bien-être, liée soit à une perte de revenu utile pour le consommateur/citoyen (TVA, impôt sur le revenu...) ; soit à une réduction du bénéfice net des entreprises (impôt sur les sociétés...), et donc moins d'investissements, de redistribution de salaires et de dividendes, et donc de bien-être. D'autre part la taxe contribue à augmenter les revenus de l'Etat, qui met en place de ce fait des politiques publiques (éducation, santé, sécurité...), qui contribuent au bien-être des individus.

De façon analogue, un soutien public à une activité entre dans le calcul du bénéfice économique de l'activité, mais correspond par ailleurs à une perte de bien-être liée à l'absence d'argent public disponible pour d'autres activités.

Dans cette étude, on fait l'hypothèse qu'un € disponible pour le consommateur ou l'entreprise procure le même bien-être aux individus qu'un € disponible pour l'Etat. L'apport de bien-être pour l'un est donc compensé par la perte de bien-être pour l'autre. On peut donc ne pas compter les taxes et soutiens dans l'analyse coût-bénéfice.

### 4.1.4. Aspects spécifiques à l'analyse sociale

#### Création d'emplois

Le bien-être lié à la création d'un emploi est évalué monétairement à l'aide de la méthode des préférences révélées.

La création nette d'emplois liée à une activité constitue un bénéfice à la fois pour les travailleurs concernés et pour la société.

Il convient de déterminer la valeur associée à un emploi-an créé. Les postulats de départ pour le calcul de la valeur de base de l'emploi sont les suivants :

- La création d'emploi entraîne une augmentation des impôts et contributions du travailleur et de l'employeur

- Le politique prend en compte le bénéfice social (travailleur) et sociétal (société) d'un emploi pour définir les montants qu'il peut allouer à la création d'emploi. Dès lors, la valeur de base d'un emploi doit prendre en compte le montant (subside) maximum alloué pour la création d'un emploi pendant un an.

La prise en compte des bénéfices d'un emploi dans la fixation des montants des subsides peut être implicite.

Même si le postulat est d'application, la valeur du subside maximum rapportée à un emploi-an peut ne pas correspondre à la valeur d'un emploi-an net créé en raison de deux effets :

- Effet d'aubaine : il y a effet d'aubaine lorsque le subside est utilisé pour un emploi qui aurait été créé de toute façon. En conséquence, la valeur de base de l'emploi est en réalité plus élevée que le montant du subside alloué par personne (ex. Il faut subsidier 2 emplois pour la création nette d'un seul emploi)
- Effet de retour : l'emploi net créé implique un revenu pour l'Etat (revenu par les taxes, charges sociales, etc. et suppression de dépenses d'allocations de chômage). Pour certains subsides, ce revenu peut avoir été pris en compte lors de la détermination de l'enveloppe budgétaire. Il en résulte une valeur réelle accordée à un emploi-an inférieure au montant du subside.

La valeur d'un emploi-an peut être le mieux estimée par le montant maximum alloué pour un emploi-an dans le cadre d'un programme subsidié pour lequel les effets d'aubaine et de retour sont les plus faibles possibles.

Une valeur de 13 640 € par emploi-an est actuellement utilisée dans cette étude. Elle est basée sur les subsides accordés en Région Wallonne pour un stage en entreprise de formation par le travail (EFT), pour lesquels les effets d'aubaine et de retour sont supposés faibles. Cette valeur est similaire pour les pays de l'OCDE après correction du niveau de vie (estimé par le produit intérieur brut).

L'effet d'aubaine est supposé très faible car les personnes qui ont le profil qui donne accès à ce subside ont de très grosses difficultés à trouver du travail et n'en auraient pas trouvé sans subside. L'effet retour est supposé également réduit car il ne concerne la Région wallonne que très partiellement ; en effet, les dépenses et recettes concernent l'Etat fédéral belge, sans effet de retour direct pour les Régions (elles reçoivent les recettes de TVA) et avec un effet retour indirect limité (environ 30% des dépenses pour la Région Wallonne car elle représente environ 30% de la population).

Dans cette étude, nous considérons uniquement les emplois créés en France.

À partir des emplois nécessités par la réparation et le remplacement des équipements, l'analyse consiste à évaluer les emplois effectivement créés, c'est à dire le nombre d'ETP<sup>6</sup> chômeurs en moins du fait de la réparation et du remplacement.

Il s'agit d'évaluer la part d'emplois créés au sein des emplois nécessités par l'activité (car une personne concernée par une activité ne correspond pas nécessairement à un emploi créé). Cette proportion est appelée « taux de création nette d'emplois ». En effet, l'engagement d'un ETP ne correspond pas automatiquement à une création nette d'emploi, car il y a des transferts et des substitutions d'emplois

---

<sup>6</sup> Equivalent temps plein.

(par exemple, un employé dans une entreprise de réparation de chaudière qui se reconvertit dans le remplacement de chaudière).

Dans la présente étude, nous faisons l'hypothèse que le taux de création nette d'emplois varie de la manière suivante :

- De 100% pour les ETP non-qualifiés (production de pièce de réparation, production de nouveaux équipements)
- De 0% pour les ETP qualifiés (réparateur de chaudière)

## Désagrément lié à l'attente

Le désagrément lié à l'attente a été estimé à l'aide d'une enquête sur le consentement à payer (voir ANNEXE 6 : ENQUETES REALISEES).

Les fondements méthodologiques du concept de consentement à payer sont expliqués dans la section « Evaluation monétaire ».

## Bénéfice lié à la tranquillité

Le bénéfice tiré de la tranquillité liée au remplacement d'un équipement a été estimé à l'aide d'une enquête sur le consentement à payer (voir ANNEXE 6 : ENQUETES REALISEES).

Les fondements méthodologiques du concept de consentement à payer sont expliqués dans la section « Evaluation monétaire ».

## 4.2. DONNEES ET HYPOTHESES

### 4.2.1. Données et hypothèses communes aux trois piliers

#### Données communes aux 3 types d'équipements techniques

Paramètres	Fourchettes de valeurs <sup>7</sup>	Valeurs moyennes	Sources
<b>Apparition de la panne</b>			
Temps d'apparition de la panne après installation de l'équipement	3 à 10 ans	6 ans	COPIL
Taux d'actualisation net (de différence par rapport à l'inflation) de 2018 à 2028	/	2 % / an	COPIL

Tableau 5 : Données communes aux 3 types d'équipements techniques

<sup>7</sup> Les fourchettes de valeur présentent l'incertitude sur la valeur de la moyenne, mais pas l'intervalle de variation de l'ensemble des valeurs possibles

## Données spécifiques par type d'équipement technique

### Chaudières

Paramètres	Fourchettes de valeurs <sup>7</sup>	Cas de base	Sources
<b>Durée de vie</b>			
Durée de vie d'une chaudière individuelle au gaz	/	17 ans	Durée de vie de référence pour le calcul des certificats d'économie d'énergie BAR-TH-106 : Chaudière individuelle haute performance énergétique BAR-TH-107 Chaudière collective haute performance énergétique)
Durée de vie d'une chaudière collective au fioul	/	22 ans	

Tableau 6 : Données communes chaudières (1)

#### Calcul de la consommation d'énergie des chaudières :

Selon le règlement No 811/2013 de la commission européenne, la consommation énergétique annuelle est calculée comme le rapport entre la demande annuelle de chauffage de référence et l'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux.

L'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux ( $\eta_s$ ) est calculée comme l'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux en mode actif ( $\eta_{son}$ ), corrigée par des contributions tenant compte des régulateurs de température, de la consommation d'électricité auxiliaire, des pertes thermiques en régime stabilisé et de la consommation d'électricité du brûleur d'allumage (le cas échéant) et, pour les dispositifs de chauffage des locaux par cogénération, corrigée en ajoutant le rendement électrique multiplié par un coefficient de conversion (CC) de 2,5.

Dans cette étude, l'efficacité énergétique saisonnier ( $\eta_s$ ) est corrigé d'un coefficient de consommation (CC) en condition réelle.

Ainsi, la formule appliquée pour calculer une consommation énergétique à climat moyen est la suivante :

$$C_{\text{gaz chauffage}} (kWh PCI) = \frac{P_a \times 800}{\eta_s + F_{aux} - F_{CR}} \times 0.9$$

$$C_{\text{gaz ECS}} (kWh PCI) = \frac{Q_{ref}}{\eta_{wh}} \times 220 \times 0.9$$

$$C_{elec} (finale, kWh) = C_{\text{gaz chauffage}} - \frac{C_{\text{gaz chauffage}}}{1 - F_{aux}}$$

Avec :

$\eta_s$  : efficacité énergétique saisonnière, exprimée en %, pour le chauffage des locaux.

$\eta_{wh}$  : rapport, exprimé en %, entre l'énergie utile de l'eau potable ou sanitaire délivrée par un dispositif de chauffage mixte et l'énergie nécessaire pour la produire

$P_a$  : puissance utile, exprimée en %, correspondant à la moyenne arithmétique entre la puissance utile

nominale maximale et la puissance utile minimale (à 30% de la puissance thermique nominale et en régime basse température)

$F_{CR}$  : Facteur de correction du rendement, exprimé en %, appliqué pour représenter les conditions réelles. La valeur appliquée dans cette étude est de 7% pour les chaudières individuelles et 10% pour les chaudières collectives.

$F_{aux}$  : Facteur de correction, exprimé en %, représentant la contribution négative de la consommation d'électricité auxiliaire à l'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux. La valeur de 3% est utilisée par défaut pour les chaudières individuelles. Ce facteur n'est pas appliqué aux installations collectives (car la principale consommation d'électricité est issue du/des circulateurs positionnés hors de l'équipement).

$Q_{ref}$  : Somme du contenu énergétique utile des puisages d'eau, exprimée en kWh PCS, dans un profil de soutirage particulier

Les données prises en compte pour la modélisation sont les suivantes :

Tableau 7 : Données communes chaudières (2)

**Remarque** : L'étude se focalise sur l'analyse comparative entre un scénario de remplacement et un scénario de réparation. Ce sont donc les différences entre les valeurs qui sont essentielles pour la réalisation des calculs.

**Remarque** : L'étude se concentre sur une analyse de scénarios de réparation ou de remplacement après 3 à 10 ans d'existence pour les situations actuelles et futures. Les données ne représentent donc pas le parc moyen des chaudières en France.

En cas comparatif de base, on considère que le rendement de l'installation après réparation ou remplacement est le même que le rendement initial (on répare ou on remplace par une chaudière ayant les mêmes performances énergétiques). En analyse de sensibilité on considère une différence de rendement :

- $\eta_s$  chaudière réparée : entre 85 et 95 %
- $\eta_s$  chaudière de remplacement :  $\eta_s$  chaudière réparée + 0 à 5%
- $\eta_{wh}$  chaudière réparée : entre 75% et 90%
- $\eta_{wh}$  chaudière de remplacement :  $\eta_s$  chaudière réparée +0 à 5%

Il est important de noter que la valeur du rendement est peu importante dans cette étude. C'est la différence de rendement entre la chaudière réparée et la chaudière qui est le critère principal pour la production des conclusions. Par ailleurs, les résultats montrent que la fourchette de valeur choisie est suffisante pour déterminer le point de changement de conclusions.

**Remarque** : en 2015, la mise en place du règlement CE sur éco-conception élimine les chaudières basse température du marché Il y a donc un gap technologique entre une chaudière de 2012 et une chaudière de 2018 entraînant une amélioration de rendement substantielle.

## PAC

Paramètres	Fourchettes de valeurs <sup>8</sup>	Valeurs moyennes	Sources
<b>Durée de vie</b>			
PAC air-air ou air-eau	/	17 ans	Durée de vie de référence pour le calcul des certificats d'économie d'énergie : BAR-TH-129 : Pompe à chaleur de type air/air

Tableau 8 : Données communes PAC (1)

### Calcul de la consommation des pompes à chaleur

Le mode de calcul des consommations énergétiques des pompes à chaleur est basé sur le référentiel du programme PEP Ecopassport : *PSR – Règles spécifiques aux générateurs thermodynamiques à compression électrique assurant le chauffage et/ou le refroidissement des locaux et/ou la production d'eau chaude sanitaire – Avril 2018 – PEP Ecopassport*

Les formules appliquées pour calculer les consommations énergétiques à climat moyen pour la saison de chauffe et la saison de refroidissement sont les suivantes :

$$C_{elec\ chaleur} (finale, kWh) = \frac{P_{designh} \times t_{calorifique}}{SCOP}$$

$$C_{elec\ froid} (finale, kWh) = \frac{P_{designc} \times t_{frigorifique}}{SEER}$$

Et

$$SCOP\ ou\ SEER = \frac{(efficacit  nerg  tique\ saisonnière + 3) \times 2.5}{100}$$

Avec :

$t_{calorifique}$  : nombre d'heures équivalent de fonctionnement annuel de l'appareil en mode actif de chauffage

$t_{frigorifique}$  : nombre d'heures équivalent de fonctionnement annuel de l'appareil en mode actif de refroidissement

$SCOP$  : coefficient de performance saisonnier d'un dispositif de chauffage des locaux par pompe    chaleur ou d'un dispositif de chauffage mixte par pompe    chaleur utilisant l'électricité

$SEER$  : coefficient d'efficacit  nerg  tique global du climatiseur ou du refroidisseur de confort, représentatif de la saison de refroidissement

$P_{designh}$  : charge calorifique nominale en kW

$P_{designc}$  : charge frigorifique de référence en kW

<sup>8</sup> Les fourchettes de valeur présentent l'incertitude sur la valeur de la moyenne, mais pas l'intervalle de variation de l'ensemble des valeurs possibles

Paramètres	Valeur	Sources
<b>Temps de fonctionnement des PAC pour la production de chaleur (<math>t_{calorique}</math>)</b>		
PAC ou climatiseur air/air P < 12 kW	1400 h	PSR – Règles spécifiques aux générateurs thermodynamiques à compression électrique assurant le chauffage et/ou le refroidissement des locaux et/ou la production d'eau chaude sanitaire – Avril 2018 – PEP Ecopassport
PAC ou climatiseur air/air P > 12 kW	1400 h	
PAC ou chiller air/eau	2066 h	
<b>Temps de fonctionnement des PAC pour la production de froid (<math>t_{frigorifique}</math>)</b>		
PAC ou climatiseur air/air P < 12 kW	350 h	PSR – Règles spécifiques aux générateurs thermodynamiques à compression électrique assurant le chauffage et/ou le refroidissement des locaux et/ou la production d'eau chaude sanitaire – Avril 2018 – PEP Ecopassport
PAC ou chiller air/eau	600 h	
<b>Charge calorifique (<math>P_{designh}</math>) ou frigorifique (<math>P_{designc}</math>) nominale de l'appareil</b>		
PAC air/air P < 12 kW installée pour une ou deux pièces d'un appartement de logement collectif	6 kW	Hypothèses
PAC air/air P < 12 kW installée pour une ou deux pièces d'une maison individuelle	10 kW	
PAC ou chiller air/eau	10 kW	
<b>Efficacité énergétique saisonnière</b>		
efficacité énergétique saisonnière production chaleur PAC air/air et PAC air/eau P < 12 kW	120 %	Hypothèses
efficacité énergétique saisonnière production froid PAC air/air et PAC air/eau P < 12 kW	160 %	

Tableau 9 : Données communes PAC (2)

En cas comparatif de base, on considère que le rendement de l'installation après réparation ou remplacement est le même que le rendement initial (on répare ou on remplace par une pompe à chaleur ayant les mêmes performances énergétiques). En analyse de sensibilité on considère une différence d'efficacité énergétique :

- Efficacité énergétique saisonnière PAC réparée :
  - Entre 100 % et 140 % pour la production de chaud
  - Entre 150 % et 170% pour la production de froid
- Efficacité énergétique saisonnière PAC de remplacement : *efficacité énergétique saisonnière PAC réparée + 0 à 10%*

Remarque : en pratique, les cas où la PAC de remplacement aurait la même performance énergétique sont certainement très rares car ces technologies évoluent très vite. Les situations les plus réalistes sont donc celles où il y a une différence d'efficacité énergétique.

## Ventilation

Paramètres	Fourchettes de valeurs <sup>9</sup>	Valeurs moyennes	Sources
<b>Durée de vie</b>			
CTA compacte pulsant un volume d'air de 3400 m <sup>3</sup> /h	/	17 ans	Durée de vie de référence pour le calcul des certificats d'économie d'énergie BAR-TH-127 : Ventilation Mécanique Contrôlée simple flux hygroréglable

Tableau 10 : Données communes ventilation (1)

### Calcul de la consommation d'énergie des CTA :

Le mode de calcul des consommations énergétiques des CTA est basé sur le référentiel du programme PEP Ecopassport : *PSR – Règles spécifiques aux équipements de ventilation, de traitement de l'air, de filtration ou de désenfumage mécanique – Février 2018 - Programme PEP Ecopassport*

La formule appliquée pour calculer la consommation énergétique d'une CTA sans batteries CH/FR pour un bâtiment tertiaire :

$$C_{elec} (finale, kWh) = \frac{P_{elec\_spec} \times Q_{moy} \times t}{1000}$$

Avec

$P_{elec\_spec}$  : Puissance absorbée spécifique en W/(m<sup>3</sup>/h)

$t$  : Temps de fonctionnement en heures

$Q_{moy}$  : Débit d'air extrait moyen en m<sup>3</sup>/h

et puissance absorbée ( $P_{elec}$ ) =  $P_{elec\_spec} \times Q_{moy}$

Paramètres	Valeur	Sources
<b>Débit d'air moyen et temps de fonctionnement</b>		
Débit d'air extrait moyen, Bâtiment tertiaire ( $Q_{moy}$ )	3400 m <sup>3</sup> /h	PSR – Règles spécifiques aux équipements de ventilation, de traitement de l'air, de filtration ou de désenfumage mécanique – Février 2018 - Programme PEP Ecopassport <i>Débit : valeur correspondant au débit de test des filtres</i> <i>Temps : Scénario d'occupation de la RT 2012, Bâtiment tertiaire avec CTA sans batteries CH/FR</i>
Temps de fonctionnement ( $t$ )	2 600 h	
<b>Puissance absorbée spécifique CTA <math>P_{elec\_spec}</math></b>		
Puissance absorbée spécifique $P_{elec\_spec}$	0.5 W/(m <sup>3</sup> /h)	PSR – Règles spécifiques aux équipements de ventilation, de traitement de l'air, de filtration ou de désenfumage mécanique – Février 2018 - Programme PEP Ecopassport (valeur par défaut)

Tableau 11 : Données communes ventilation (2)

En cas comparatif de base, on considère que la puissance électrique absorbée après réparation ou remplacement est la même que celle de la CTA initiale (on répare ou on remplace par une centrale de

<sup>9</sup> Les fourchettes de valeur présentent l'incertitude sur la valeur de la moyenne, mais pas l'intervalle de variation de l'ensemble des valeurs possibles

traitement de l'air ayant les mêmes performances énergétiques). En analyse de sensibilité, on considère une différence d'efficacité énergétique :

- Puissance absorbée spécifique ( $P_{elec\_spec}$ ) CTA réparée entre 0.45 et 0.55 W/(m<sup>3</sup>/h)
- Puissance absorbée ( $P_{elec}$ ) CTA de remplacement =  $P_{elec}$  CTA réparée - 0%<sup>10</sup> à -10%<sup>11</sup>

## 4.2.2. Données et hypothèses spécifiques à l'ACV

Les principales données de modélisation (hors phase d'utilisation) sont présentées dans le tableau ci-dessous.

---

<sup>10</sup> Pas de gain sur la consommation énergétique entre la CTA réparée et la CTA de remplacement

<sup>11</sup> Gain de 10% sur la consommation énergétique entre la CTA réparée et la CTA de remplacement

Etape du cycle de vie	Description	Source
Production des matières premières de l'équipement neuf	Nomenclature chaudière murale individuelle de 24 kW au gaz Nomenclature chaudière collective au fioul domestique de 122 kW	Preparatory study on Eco-design of Boilers, European Commission, september 2007 (carried out by VHK) – Task 5
	Nomenclature d'une pompe à chaleur de maison individuelle air-air < 12 kW	Profil Environnemental Produit Collectif - Pompe à chaleur AIR/AIR assurant le chauffage en logement individuel (PEP ecopassport n° UNIC-00018-V01.01-FR) - UNICLIMA - Aout 2018
	Nomenclature d'une pompe à chaleur air-eau < 12 kW	Profil Environnemental Produit Collectif - Pompe à chaleur AIR/EAU assurant le chauffage en logement individuel (PEP ecopassport n° UNIC-00017-V01.01-FR), UNICLIMA, Août 2018
	Nomenclature centrale de traitement d'air pulsant un volume d'air de 3400 m³/h	Profil Environnemental Produit - Centrale de traitement d'air simple flux Batterie thermodynamique BTH Split (PEP Ecopassport n° SCGA-00067-V01.01-FR) - Atlantic - juin 2016 Profil Environnemental Produit Collectif - caisson de ventilation double flux tertiaire avec batterie à eau chaude - UNICLIMA, juillet 2018
Transport des matières premières	1000 km de camion 24t de charge utile (50% Euro 4, 50% Euro 5) avec un taux de chargement de 90% et un taux de retour à vide de 25%	Hypothèses de modélisation à dire d'expert AC
Fabrication des composants de l'équipement neuf	Etapes de transformation des matières premières (comme par exemple, les granules plastiques) en divers pièces (ensuite assemblées)	Modélisation sur base de l'expérience de RDC : certains inventaires de cycle de vie contiennent déjà les étapes de transformation (comme les cartes électroniques) et d'autres non : cf. Tableau 13
Transport jusqu'à l'usine d'assemblage	1000 km de camion avec un taux de chargement de 90% et un taux de retour à vide de 25%	Hypothèses de modélisation à dire d'expert ACV
Assemblage	20 kWh d'électricité (mix européen) 20 MJ de gaz (Europe)	Estimation sommaire sur base (du peu) de données disponibles sur l'électroménager dans les études préparatoires réalisées par la commission européenne dans le cadre de la directive ecodesign (EuP)
Emballage d'un équipement neuf	<i>Négligé</i>	-
Distribution d'un équipement neuf ou d'une pièce neuve (pour la réparation)	Assemblage → centre de distribution ou point de vente : 2000 km en camion 24 t de charge utile (Euro 5) avec taux de retour à vide de 25% Centre de distribution/Point de vente → installateur : 500 km en camion 12 t de charge utile Installateur → consommateur : 15 à 40 km (aller-retour)	Hypothèses de modélisation
Production d'un nouveau circulateur (réparation chaudière individuelle)	Nomenclature d'un circulateur intégré de 90W (masse 2 kg)	Preparatory study on Eco-design Appendix 6 : Lot 11 - Circulators in buildings, European Commission, February 2008 (carried out by AEA group)
Production d'un brûleur (réparation chaudière collective)	Brûleur 60 à 125 kW de masse 18 kg (modélisé entre 16 et 20 kg) Composition basée sur les proportions de métaux dans la chaudière (acier, aluminium, cuivre, laiton)	Masse d'un brûleur sur le site de la marque De Dietrich <sup>12</sup> Pas de nomenclature dans la littérature
Tableau de commande	Carte électronique de l'équipement déterminé par la nomenclature de l'équipement neuf	Identique à l'équipement neuf (cf. nomenclature produit)
Moteur d'une CTA	Moteur de ventilateur roues libres centrifuges entre 35 et 45 kg	EuP Lot 11: Fans for ventilation in non residential buildings Final Report, Fraunhofer, February 2008

Tableau 12: Principales hypothèses de modélisation et sources de données

<sup>12</sup> Site consulté en novembre 2018 : [http://fr.dedietrich-heating.be/index.php/produits/gammes\\_de\\_produits/bruleurs/fioul\\_petite\\_moy\\_puiss/m\\_200\\_s](http://fr.dedietrich-heating.be/index.php/produits/gammes_de_produits/bruleurs/fioul_petite_moy_puiss/m_200_s)  
Agence Qualité Construction - 2019

La composition des équipements et des pièces de remplacement est détaillée en annexe (ANNEXE 4 : COMPOSITION DES EQUIPEMENTS page 89).

Les **inventaires de cycle de vie pour la production des matériaux** des équipements sont présentés dans le tableau suivant.

Matériau / pièce	Inventaires de cycle de vie pour la fabrication (Ecoinvent v3.5)	Inventaire pour la fin de vie
Fonte d'aluminium	aluminium ingot, primary, to aluminium, cast alloy market, GLO treatment of aluminium scrap, new, at refiner, RER contenu en recyclé : 50%	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Aluminium, Substitution benefits included
Aluminium	Aluminium ingot mix EAA update 2015 (consumption mix), EU 27 + Aluminium sheet [p-agg] EAA update 2015, EU 27 (source: European Aluminium Association 2018)	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Aluminium, Substitution benefits included
Fonte d'acier	steel production, converter, unalloyed, RER steel production, electric, low-alloyed, RER contenu en recyclé : 40%	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Steel, Substitution benefits included
Acier inoxydable	market for chromium steel pipe, GLO	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Steel, Substitution benefits included
Acier	20% steel production, converter, unalloyed, RER & steel production, electric, low-alloyed, RER (contenu en recyclé 10%) + metal working, average for metal product manufacturing, RER 80% steel production, converter, unalloyed, RER & steel production, electric, low-alloyed, RER (contenu en recyclé 10%) + sheet cold rolling, steel, RER + 50% <sup>13</sup> market for deep drawing, steel, 3500 kN press, automode, GLO	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Steel, Substitution benefits included
Cuivre	market for copper, GLO + metal working, average for copper product manufacturing, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Copper, Substitution benefits included
Laiton	market for brass, RoW + market for casting, brass, GLO	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Brass, Substitution benefits included
PP	polypropylene production, granulate, RER + 1/3 injection moulding, RER + 1/3 extrusion, plastic pipes, RER + 1/3 extrusion, plastic film, RER & calendaring production, rigid sheets, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PP without BFR, density inf. 1.3, Substitution benefits included
PVC	polyvinylchloride production, suspension polymerization, RER + 1/3 injection moulding, RER + 1/3 extrusion, plastic pipes, RER + 1/3 extrusion, plastic film, RER & calendaring production, rigid sheets, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PVC within wire, Substitution benefits included
PC	polycarbonate production, RER + 1/3 injection moulding, RER + 1/3 extrusion, plastic pipes, RER + 1/3 extrusion, plastic film, RER & calendaring production, rigid sheets, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PC without BFR, density inf. 1.3, Substitution benefits included
PA 6	nylon 6 production, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PA without BFR, density inf. 1.3, Substitution benefits included

<sup>13</sup> Hypothèse : 50% des pièces sont embouties

PA renforcé fibre de verre	glass fibre reinforced plastic production, polyamide, injection moulded, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PA without BFR, density inf. 1.3, Substitution benefits included EoL, Small Household Elec Equip.   Glass, Substitution benefits included
PS	Polystyrene production, general purpose, RER + injection moulding, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PS without BFR, density inf. 1.3, Substitution benefits included
ABS	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer production, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   ABS without BFR, density inf. 1.3, Substitution benefits included
PE	polyethylene production, low density, granulate, RER + extrusion, plastic pipes, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PE within wire, Substitution benefits included
Isolation	polyurethane production, rigid foam, RER	EoL, Large Household Elec. Equip. Non Cold   PUR foam, Substitution benefits included
Caoutchouc	synthetic rubber production, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PS without BFR, density inf. 1.3, Substitution benefits included
Autres plastiques	polystyrene production, general purpose, RER + injection moulding, RER	EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PS without BFR, density inf. 1.3, Substitution benefits included
Gaz réfrigérant R410A	refrigerant R134a production, RER	treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration, RER (source Ecoinvent) + 0.1% emissions to air of HFC-125 (50%) and HFC-32 (50%)
Gaz réfrigérant R407C	refrigerant R134a production, RER	treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration, RER (source Ecoinvent) + 0.1% emissions to air of HFC-125 (25%), HFC-32 (23%) and HFC134a (52%)
Carte électronique (tableau de commande)	market for printed wiring board, for power supply unit, desktop computer, Pb free, GLO	26% EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Copper within PCB, Substitution benefits included 42% EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   PCB Support, Substitution benefits included 33% EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Precious metals-poor PCB, Substitution benefits included 0.08% EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Silver within PCB, Substitution benefits included 0.01% EoL, Small Professional Elec. Equip. (Medical and Building and Industry and Research)   Gold within PCB, Substitution benefits included

Tableau 13 : Inventaires de cycle de vie pour la production des matériaux des équipements

**Remarque :** de nouveaux réfrigérants à faible PRG (R32) sont en train de remplacer les technologies actuelles (R410). Par ailleurs, le R407C est plus utilisé dans les nouvelles pompes à chaleur. Ces nouvelles technologies permettent de réduire l'impact carbone de l'équipement de manière substantielle. Dans cette étude, on a fait l'hypothèse que l'équipement en fin de vie est géré de manière à récupérer le gaz et le traiter en incinération. L'incidence sur les résultats de la présence d'un type de gaz plutôt qu'un autre est donc faible. Cependant, les pertes pendant la phase d'utilisation sont considérées comme identiques entre les deux équipements : les conclusions sur la partie environnementale de l'étude pourraient donc être renforcées en faveur du remplacement si la PAC de remplacement possède un gaz réfrigérant à faible PRG s'il y avait des fuites substantielles en phase d'utilisation (à dire d'expert, elles sont estimées à 2% par an).

Les **mix électriques** sont issus d'Ecoinvent v3.5. Ils correspondent au mix attributionnel moyen de l'année 2014 (données IEA).

Matériau/pièce	Inventaires de cycle de vie (Ecoinvent v3.5)
Europe (phase d'assemblage)	market group for electricity, medium voltage, Europe without Switzerland
France (phase d'utilisation)	market for electricity, low voltage, FR

Tableau 14 : Mix électriques

### 4.2.3. Données et hypothèses spécifiques à l'analyse économique

#### Données communes aux 3 types d'équipements techniques

Paramètres	Fourchettes de valeurs <sup>14</sup>	Valeurs moyennes	Sources
<b>Actualisation des coûts</b>			
Révision prix bâtiment entre 2013 et 2018	/	+ 3.5 %	FFB : <b>base BTO1</b>
<b>Prix de vente utilisateur HT</b>			
Coefficient multiplicateur des bénéfices et aléas appliqué au prix de revient <sup>15</sup>	/	111 %	Batiprix 2016
Bénéfice moyen des entreprises de construction de bâtiments	/	6%	<a href="#">Base des données INSEE</a> (Résultat net comptable / Chiffre d'affaires hors taxes)
<b>Prix énergie</b>			
Prix du gaz pour particuliers en France TTC	/	0.1013 € / kWh	Base de données PEGASE publiée par le MTES – décembre 2018
Prix de l'électricité pour particuliers en France TTC	/	0.21 €/ kWh	
Prix fioul domestique en France TTC	/	0.9244 €/ l	
Part des taxes dans le prix du gaz	/	25 %	EU Excise duty tables : <a href="http://ec.europa.eu/taxation_customs/sites/taxation/files/resources/documents/taxation/excise_duties/energy_products/rates/excise_duties-part_ii_energy_products_en.pdf">http://ec.europa.eu/taxation_customs/sites/taxation/files/resources/documents/taxation/excise_duties/energy_products/rates/excise_duties-part_ii_energy_products_en.pdf</a>
Part des taxes dans le prix de l'électricité	/	27 %	
Part des taxes dans le prix du fioul domestique	/	34 %	

Tableau 15 : Données économiques communes

<sup>14</sup> Les fourchettes de valeur présentent l'incertitude sur la valeur de la moyenne, mais pas l'intervalle de variation de l'ensemble des valeurs possibles

<sup>15</sup> Prix de revient = déboursé sec (main d'œuvre & charges sociales + fourniture des matériaux) \* coefficient multiplicateur des bénéfices et aléas

## Données spécifiques par type d'équipement technique

### Chaudières

Paramètres	Fourchettes de valeurs <sup>16</sup>	Valeurs moyennes	Sources
<b>Prix de vente utilisateur HT des équipements et pièces détachées y compris installation / pose mais hors déplacement</b>			
Nouvelle chaudière au fioul d'un logement collectif	+/- 30%	7 615 € pour immeuble de 8 logements <sup>17</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur moyenne = Batiprix 2016 : moyenne des chaudières fonte fioul 90 – 115 kWh et 115 – 150 kWh</li> <li>Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
Nouvelle chaudière au gaz pour une maison individuelle	+/- 30%	2 804 € <sup>18</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur moyenne = Batiprix 2016 d'une chaudière murale gaz à condensation 24 kWh</li> <li>Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
Brûleur d'une chaudière au fioul d'un logement collectif	+/- 30%	1 725 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur moyenne = Batiprix 2016 : moyenne 60 – 120 kWh et 70 – 160 kWh</li> <li>Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
Tableau de commande d'une chaudière au gaz d'une maison individuelle	+/- 30%	233 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur moyenne = Batiprix 2016 : circuit imprimé d'une chaudière</li> <li>Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
Circulateur d'une chaudière au gaz d'une maison individuelle	+/- 30%	278 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur moyenne = Batiprix 2016 : moyenne circulateur vitesse réglable, débit jusqu'à 2,00 m<sup>3</sup>/h, hauteur manométrique jusqu'à 1,75 et 4 m CE</li> <li>Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
<b>Prix de dépose utilisateur HT des équipements et pièces détachées, hors déplacement</b>			
Chaudière au fioul d'un logement collectif	+/- 30%	159 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur moyenne = Batiprix 2016</li> <li>Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
Brûleur d'une chaudière au fioul d'un logement collectif	+/- 30%	44 €	
Chaudière au gaz pour une maison individuelle	+/- 30%	33 €	
Circulateur d'une chaudière au gaz d'une maison individuelle	+/- 30%	19 €	
Tableau de commande d'une chaudière au gaz d'une maison individuelle	+/- 30%	19 €	Hypothèse RDC (la valeur est la même que celle du circulateur)

Tableau 16 : Données économiques chaudières

<sup>16</sup> Les fourchettes de valeur présentent l'incertitude sur la valeur de la moyenne, mais pas l'intervalle de variation de l'ensemble des valeurs possibles

<sup>17</sup> Cette valeur semble sous-estimée pour l'ADEME. Une valeur plus élevée renforce les conclusions.

<sup>18</sup> Cette valeur semble sous-estimée pour l'ADEME. Une valeur plus élevée renforce les conclusions.

## PAC

Paramètres	Fourchettes de valeurs <sup>19</sup>	Valeurs moyennes	Sources
<b>Prix de vente utilisateur HT des équipements et pièces détachées y compris installation / pose mais hors déplacement</b>			
Nouvelle PAC air-air 5.5-7.6 kW d'un logement individuel appliqué au logement collectif air-air	+/- 30 %	3 534 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur moyenne = Batiprix 2016 d'une PAC air-air unité extérieure PC 5.5 kW – PF 7.6 kW</li> <li>Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
Nouvelle PAC d'une maison individuelle air-air <12 kW	+/- 30%	4 169 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur moyenne = Batiprix 2016 d'une PAC air-air unité extérieure PC 6.6 kW - PF 7.6 kW</li> <li>Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
Nouvelle PAC d'une maison individuelle air-eau <12 kW	+/- 30%	9 633 € <sup>20</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valeur moyenne = Batiprix 2016 d'une PAC air-eau + ballon préparateur 200L</li> <li>Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
Circuit électronique d'une PAC air-air <7 kW et <12 kW et d'une PAC air-eau <12 kW	+/- 5 %	500 € <sup>21</sup>	Estimation Saretec et FFA
<b>Prix de dépose utilisateur HT des équipements et pièces détachées – hors déplacement</b>			
PAC d'une maison individuelle air-air <12 kW ou air-eau <12 kW	+/- 5%	240 €	Hypothèse : 2.4 h de dépose * 100 €/h Sources <ul style="list-style-type: none"> <li>2.4 h de dépose = Allianz</li> <li>100 €/h = EUREXO – PRUNAY</li> <li>Fourchette de valeurs = RDC</li> </ul>
PAC air-air 5.5-7.6 kW d'un logement individuel appliqué au logement collectif air-air	+/- 5%	200 €	Hypothèse : 2 h de dépose * 100 €/h Sources <ul style="list-style-type: none"> <li>100 €/h = EUREXO – PRUNAY</li> <li>2 h de dépose et fourchette de valeurs = hypothèse RDC</li> </ul>
Circuit électronique d'une PAC air-air <7 kW et <12 kW et d'une PAC air-eau <12 kW	+/- 5%	100 €	Hypothèse : 1 h * 100 €/h Sources <ul style="list-style-type: none"> <li>100 €/h = EUREXO – PRUNAY</li> <li>1 h de dépose et fourchette de valeurs = hypothèse RDC</li> </ul>

Tableau 17 : Données économiques PAC

<sup>19</sup> Les fourchettes de valeur présentent l'incertitude sur la valeur de la moyenne, mais pas l'intervalle de variation de l'ensemble des valeurs possibles

<sup>20</sup> Cette valeur semble sous-estimée pour l'ADEME. Une valeur plus élevée renforce les conclusions.

<sup>21</sup> Pour certains acteurs, cette valeur moyenne semble élevée. Cette valeur n'a pas d'impact sur les conclusions et influence très peu le résultat car le delta économique entre réparation et remplacement est supérieur à 17 000 €.

## Ventilation

Paramètres	Fourchettes de valeurs <sup>22</sup>	Valeurs moyennes	Sources
<b>Prix de vente utilisateur HT des équipements et pièces détachées y compris installation / pose mais hors déplacement</b>			
Nouvelle CTA compacte pulsant un volume d'air de 3400 m <sup>3</sup> /h	+/- 5 %	10 000 € <sup>23</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valeur moyenne = moyenne des données UNICLIMA)</li> <li>• Fourchette de valeur = Hypothèse RDC</li> </ul>
Carte électronique d'une CTA compacte	+/- 5 %	250 €	
Moteur d'une CTA compacte	+/- 5 %	1 500 €	
<b>Prix de dépose utilisateur HT des équipements et pièces détachées – hors déplacement</b>			
CTA compacte pulsant un volume d'air de 3400 m <sup>3</sup> /h	+/- 5 %	640 €	Hypothèse : 8 h * 80 €/h Sources <ul style="list-style-type: none"> <li>• 80 €/h = Uniclimate et Saretec</li> <li>• 8 h de dépose et fourchette de valeurs = hypothèse RDC</li> </ul>
Carte électronique d'une CTA compacte	+/- 5 %	80 €	Hypothèse : 1 h * 80 €/h Sources <ul style="list-style-type: none"> <li>• 80 €/h = Uniclimate et Saretec</li> <li>• 1 h de dépose et fourchette de valeurs = hypothèse RDC</li> </ul>
Moteur d'une CTA compacte	+/- 5 %	80 €	

Tableau 18 : Données économiques ventilation

<sup>22</sup> Les fourchettes de valeur présentent l'incertitude sur la valeur de la moyenne, mais pas l'intervalle de variation de l'ensemble des valeurs possibles

<sup>23</sup> Certains acteurs (Covea et Allianz) estiment que le prix de cet équipement est plutôt d'environ 20 000 €. Cette valeur renforcerait les conclusions.

## 4.2.4. Données et hypothèses spécifiques à l'analyse sociale

### Données communes aux 3 types d'équipements techniques

Paramètres	Fourchettes de valeurs <sup>24</sup>	Valeurs moyennes	Sources
<b>Assemblage en France</b>			
Part de l'assemblage des équipements et pièces (hors circuits électroniques) qui se fait en France	0 à 30 %	15 %	Hypothèse RDC suite au COPIL 2
Part de l'assemblage des circuits électroniques qui se fait en France	/	0 %	Hypothèse RDC
<b>Part de l'emploi en France dans les coûts</b>			
Part du coût de l'assemblage parmi le prix de la fourniture des équipements et composants	10 à 15%	12%	Hypothèse RDC
<b>Bénéfice de la création d'emploi</b>			
Part du bénéfice (charges sociales, impôts, cohésion sociale...) dans le coût d'un emploi non qualifié	80 à 95 %	87.5 %	Hypothèse RDC
<b>Désagrément lié au temps d'attente supplémentaire pour le remplacement de l'équipement par rapport à la réparation (7 jours en moyenne)</b>			
Coût du désagrément pour environ 7 jours de plus sans chauffage en période hivernale pour une MI	70 à 150 €	95 €	Enquête RDC (54 répondants)
Coût du désagrément pour environ 7 jours de plus sans chauffage en période hivernale pour un BLC	350 à 750 €	475 €	Hypothèse RDC = 5 fois plus important que pour une MI
Coût du désagrément pour environ 7 jours de plus sans climatisation en période estivale pour une MI	20 à 100 €	70 €	Enquête RDC (13 répondants)
Coût du désagrément pour environ 7 jours de plus sans climatisation en période estivale pour un BLC	100 à 500 €	350 €	Hypothèse RDC = 5 fois plus important que pour une MI
Coût des solutions alternatives pour assurer le chauffage dans les bureaux en cas de panne pour environ 3 jours de plus	+/- 5 %	7 500 €	Hypothèse : 50 pers. * 3 jours ouvrables * 50 €/pers. Source : • 50€/pers = Saretec Reste = hypothèse RDC
Coût des solutions alternatives pour assurer la climatisation dans les bureaux en cas de panne pour environ 3 jours de plus	+/- 5 %	22 500 €	Hypothèse: 50 personnes * 3 jours ouvrables * 150€/pers. Source : • 150€/pers = Saretec • Reste = hypothèse RDC
<b>Tranquillité remplacement par équipement neuf au lieu de réparer</b>			
Maison individuelle	250 à 500 €	340 €	Enquête RDC (54 répondants)
Bâtiment de logements collectifs	625 à 1 250 €	850 €	Hypothèse RDC = 2.5 fois plus important que pour une MI

Tableau 19 : Données sociales communes

<sup>24</sup> Les fourchettes de valeur présentent l'incertitude sur la valeur de la moyenne, mais pas l'intervalle de variation de l'ensemble des valeurs possibles

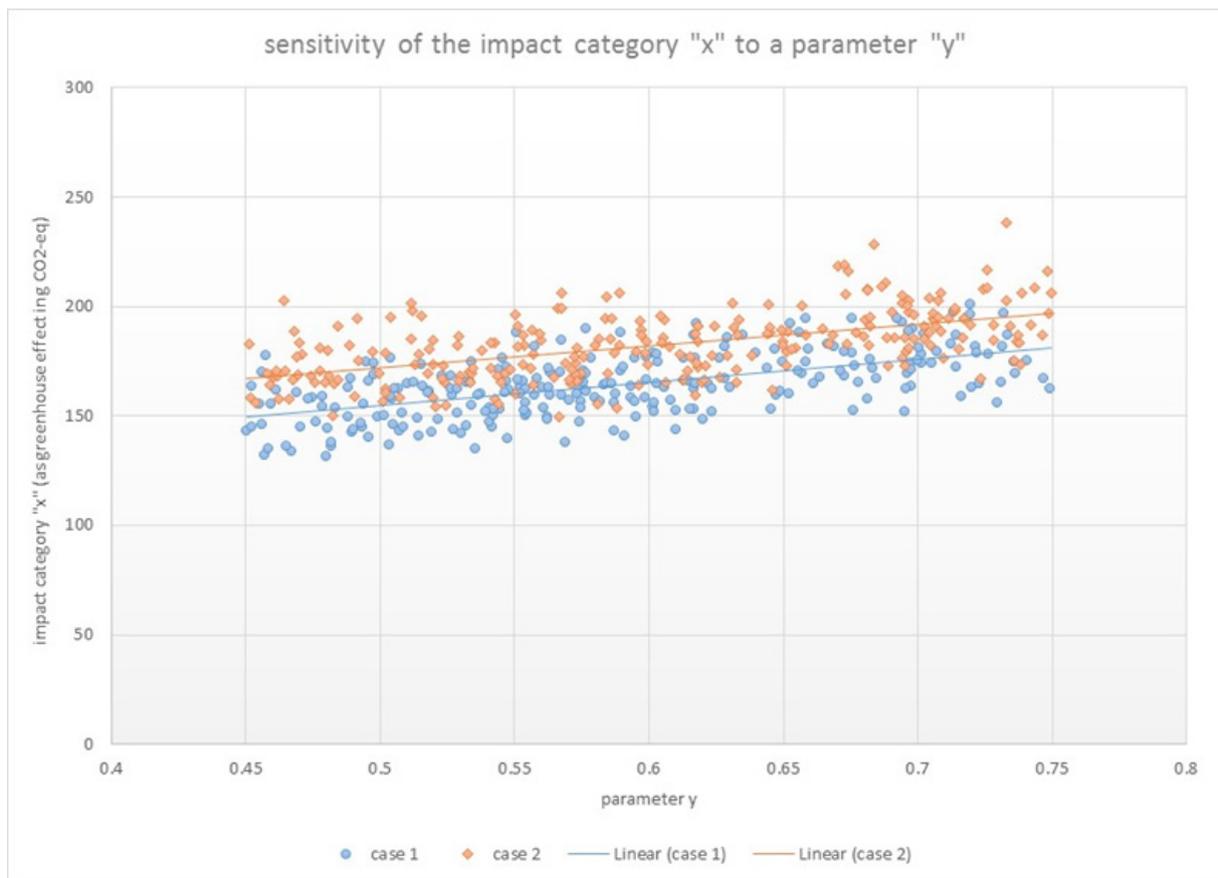
## 4.3. RESULTATS

### 4.3.1. Concept et explication des graphes « Range »

Le logiciel utilisé pour calculer le résultat est RangeLCA (voir ANNEXE 5 : PRESENTATION DE RANGE-LCA page 91).

Ce logiciel calcule automatiquement :

- Les résultats d'impact moyens correspondant à la moyenne des résultats obtenus pour toutes les combinaisons aléatoires de paramètres compilés ;
- Les résultats obtenus pour chaque combinaison de paramètres (1000 combinaisons dans cette étude) ; ces résultats peuvent être résumés sous forme graphique en fonction de la valeur d'une des variables du modèle ; ces graphiques dits "Range" permettent d'évaluer la sensibilité des résultats par rapport aux valeurs d'un paramètre sur l'axe des x (cf. exemple fictif ci-dessous pour l'interprétation) ;
- La classification de tous les paramètres par ordre décroissant de sensibilité sur le modèle ; le logiciel permet également d'effectuer une analyse de sensibilité des différents résultats pour chaque variable du modèle, tous les autres paramètres restant variables (ou l'inverse, comme dans le cas classique, tous les autres paramètres étant fixes).
- Ce type de résultat permet d'assurer une analyse précise et complète des systèmes étudiés. En effet, le logiciel nous permet d'étudier un nombre considérable de scénarios possibles (chaque combinaison de paramètres correspond à un cas spécifique). Dans la pratique, cela permet de :
  - identifier l'éventail des résultats possibles en fonction des valeurs des paramètres (valeurs minimales et maximales) ;
  - évaluer la probabilité d'occurrence de chacune des typologies de cas (densité des grappes de points) ;
  - exprimer graphiquement la sensibilité des résultats à un paramètre donné (pente de la ligne de régression);
- Notamment, il est possible de prendre en compte toutes les relations de cause à effet entre les paramètres variables du modèle ;
- De plus, on peut, le cas échéant, identifier le point de seuil (ou plus souvent, la zone), c'est-à-dire la valeur du paramètre (ou plage de valeurs) pour lequel les conclusions sont inversées (par exemple, un système devient plus favorable qu'un autre).



Aide à l'interprétation d'un graphe Range (exemple fictif)

- Chaque point correspond à un résultat pour un ensemble spécifique de paramètres fixes. Ainsi, tous les résultats correspondant à toutes les combinaisons potentielles de paramètres de variables du modèle sont représentés dans cette figure ;
- Plus la ligne de tendance est raide, plus les résultats sont sensibles par rapport au paramètre étudié (sur la valeur de la coordonnée X) ;
- Le degré de diffusion verticale (épaisseur des nuages de points) présent dans le graphique correspond directement à l'importance relative de la variabilité résiduelle.

Le logiciel fournit une classification des paramètres sensibles basée sur le calcul de la "ligne de tendance" pour chaque paramètre variable.

Note : Pour classer les paramètres sensibles, le logiciel calcule un facteur de corrélation basé sur le modèle linéaire standard des moindres carrés. Un paramètre est considéré comme sensible lorsqu'il existe une forte corrélation entre ce paramètre et les résultats. Cette conclusion est fondée sur l'avis d'experts.

## 4.3.2. Résultats environnementaux

Note d'interprétation des graphiques des résultats environnementaux

Contrairement à l'affichage « traditionnel » des résultats environnementaux » et dans un but de se conformer au mode de présentation des résultats économiques et sociaux

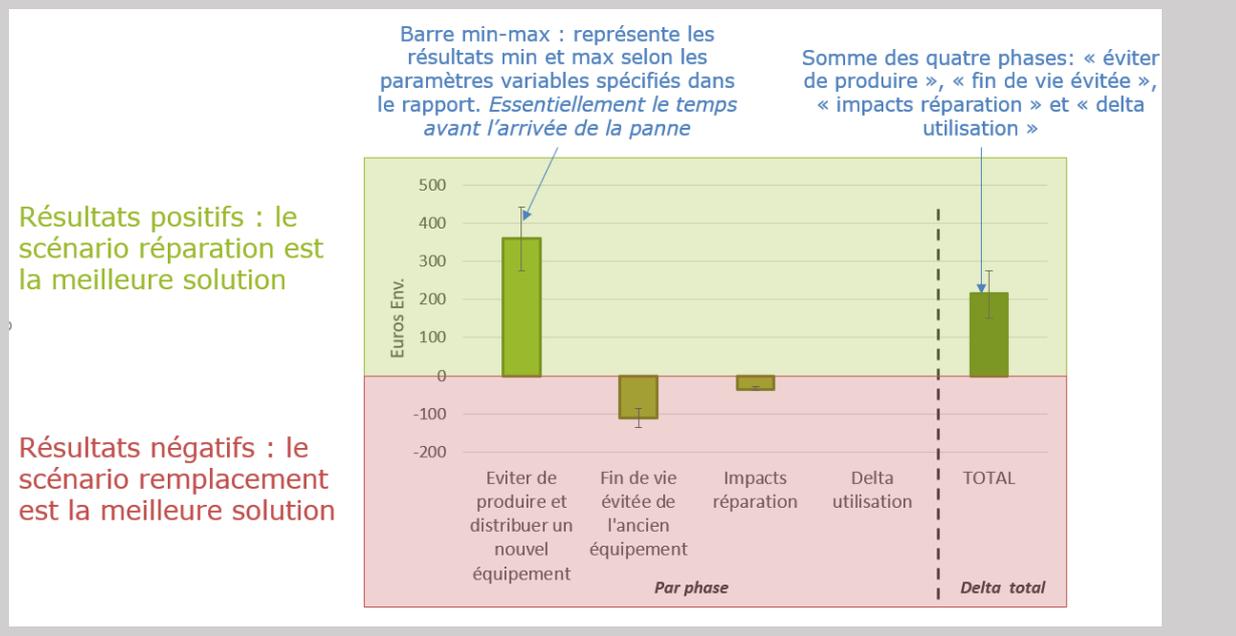
- Les impacts avec un signe positif (+) représentent des bénéfices pour l'environnement (impacts évités)
- Les impacts avec un signe négatif (-) représentent des contributions aux impacts environnementaux (par exemple des émissions vers l'air ou des consommations de ressources)

Pour calculer le delta, nous faisons l'opération suivante :

Somme des impacts de la réparation – somme des impacts du remplacement

- Si le delta est positif, la réparation est préférable d'un point de vue environnemental par rapport au remplacement
- Si le delta est négatif, le remplacement est préférable d'un point de vue environnemental par rapport à la réparation

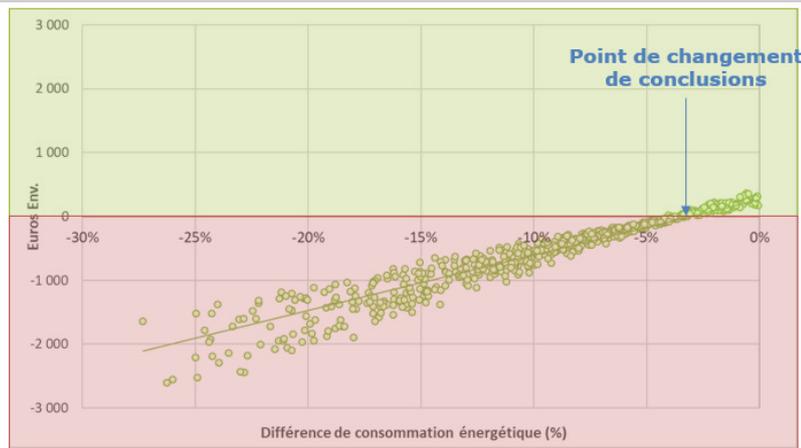
Illustration pour les graphs de comparaison sans variation de performance énergétique



### Illustration pour les graphs de comparaison avec variation de performance énergétique

Résultats positifs : le scénario réparation est la meilleure solution

Résultats négatifs : le scénario remplacement est la meilleure solution



Les résultats sont exprimés en fonction d'un paramètre ayant une grande influence sur les résultats : la différence de consommation énergétique

Les résultats environnementaux sont présentés en deux temps :

- Cas où l'équipement neuf de remplacement a les mêmes performances énergétiques que l'équipement réparé
- Cas où les performances énergétiques entre l'équipement neuf de remplacement et l'équipement réparé sont différentes.

## Comparaison sans variation de performance énergétique

Comme le montrent les graphiques ci-dessous sur l'indicateur de coûts environnementaux totaux, lorsqu'il n'y a pas de variation de performance énergétique entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement, la réparation est toujours préférable au remplacement. Les résultats pour les trois indicateurs d'impacts - changement climatique, épuisement des ressources fossiles et épuisement des ressources minérales (présentés en annexe page 95) - produisent les mêmes conclusions.

Pour tous les scénarios, c'est l'évitement de la production du nouvel équipement qui est la phase la plus contributive aux résultats.

En fin de vie de l'équipement, il est considéré qu'une partie<sup>25</sup> de l'équipement est recyclée. Le recyclage permet d'éviter la production de matières premières vierges, ce qui donne un crédit environnemental sur le cycle de vie de l'équipement. La réparation fait qu'on évite la fin de vie de l'équipement et donc ce crédit environnemental.

**Note :** Les inventaires de cycle de vie de l'éco-organisme Recylum-Ecosystèmes sont organisés par type d'équipement (gros équipements ménagers hors froid, gros équipements ménagers froid, petits équipements professionnels...). Pour chaque catégorie d'équipement, une sous-catégorisation par matériau est proposée. L'inventaire de cycle de vie par type d'équipement et par matériau contient toutes les étapes depuis la collecte jusqu'à sa destination finale : recyclage, incinération, enfouissement.... Un évitement de matières premières vierges est considéré pour la part recyclée du matériau contenu dans l'équipement géré par l'éco-organisme. Les bénéfices de l'évitement sont comptabilisés suivant la formule de fin de vie du PEF (CFF formula) : 20% des bénéfices sont alloués au

<sup>25</sup> Nous avons utilisé les inventaires de cycle de vie de l'éco-organisme Recylum-Ecosystèmes. Les données étant agrégées, les taux de recyclage ne sont pas indiqués dans les inventaires

fournisseur<sup>26</sup> des métaux, du verre et des papiers, 80% au fournisseur de textiles et 50% pour le fournisseur de plastique.



Figure 5 : Contribution des scénarios par phase des scénarios aux coûts environnementaux totaux – performances énergétiques identiques

<sup>26</sup> Le fournisseur est le producteur de déchets qui envoie le matériau au recyclage par opposition à l'incorporeur du matériau recyclé dans un nouveau produit. Les bénéfices d'éviter la production de matériaux vierges doivent être répartis entre ces deux acteurs du recyclage.

La variabilité des résultats (barre min-max sur les graphiques) est essentiellement liée au temps d'arrivée de la panne (entre 3 et 10 ans) : **plus la panne arrive tôt, plus la réparation présente un bénéfice environnemental élevé**. Les résultats « moyens » correspondent à une panne arrivant après 6.5 ans.

Les autres paramètres variables comme la masse de la pièce de remplacement ou la distance de transport parcourue par le réparateur/installateur, jouent peu sur la variabilité des résultats.

Ainsi, pour le scénario 1 Chaud BLC brûleur, on observe que si la panne arrive au bout de 3 ans, le bénéfice environnemental est d'environ 280 € environnementaux ( $215 * [1+0.3]$ ).

Les résultats présentés dans les graphiques précédents sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

	Résultats "moyens" (€ env.)	Incertitude sur ce bénéfice lié à la réparation
1. Chaud BLC brûleur	215	± 30 %
2. Chaud MI tab. cde.	95	± 50 %
3. Chaud MI circulateur	112	± 40 %
4. PAC air-eau MI < 12 kW	304	± 40 %
5. PAC air-air MI < 12 kW	224	± 50 %
6. PAC air-air BLC 6 kW	224	± 50 %
7. CTA élec	397	± 40 %
8. CTA moteur	215	± 30 %

Le scénario 5 PAC air-air MI < 12 kW et le scénario 6 PAC air-air BLC 6 kW donnent des résultats équivalents. En effet, les mêmes hypothèses de modélisation sont considérées pour la production et la fin de vie de la pompe à chaleur air-air ainsi que l'impact de réparation. La différence réside dans la phase d'utilisation : la puissance considérée pour une PAC air-air installée pour un appartement est de 6 kW alors qu'elle est de 10 kW pour une maison individuelle.

La phase d'utilisation étant identique entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement dans cette première partie de l'analyse environnementale, il n'y a pas de différence observée.

### Note d'explication sur l'indicateur de coûts environnementaux totaux

Cet indicateur consiste en la conversion des impacts environnementaux (émissions vers l'air, vers l'eau, consommation de ressources...) en valeur monétaire par la modélisation de la chaîne d'effet.

La monétarisation permet :

- De comparer directement des effets de natures différentes et les hiérarchiser,
- D'exprimer le résultat de l'évaluation sous la forme d'un score unique et donc comparer directement le résultat de plusieurs systèmes,
- De calculer la part des dommages et bénéfiques qui sont internalisés c'est-à-dire déjà pris en compte dans les prix des marchés et donc dans le comportement des acteurs économiques,
- De comparer les dommages et bénéfiques environnementaux aux coûts financiers des différents systèmes.

Enfin, la méthode d'évaluation monétaire agit comme un filtre qui permet d'éliminer de la discussion les impacts négligeables et de centrer ainsi l'inventaire et la discussion/évaluation des résultats sur les impacts et sources d'impacts principaux.

Les impacts environnementaux sont perceptibles à plusieurs niveaux :

- les **flux élémentaires** (ex : 1 g de CO<sub>2</sub>) contribuent à l'occurrence,
- des **effets intermédiaires** concrets, également appelés catégories d'impact (ex : effet de serre). Enfin, ces effets intermédiaires affectent directement l'être humain en lui imposant,
- des **effets ressentis** (perte d'années de vie ou de qualité de vie). Ce sont ces effets ressentis auxquels l'évaluation monétaire attribue une valeur monétaire.

L'évaluation monétaire est une tâche complexe qui nécessite généralement d'établir un **modèle de monétarisation**, dépendant toujours d'hypothèses de modélisation et parfois du contexte géographique et temporel.

Dans l'approche par le cheminement des incidences (Impact pathways), correspondant à une évaluation « bottom – up », il s'agit de déterminer :

- la chaîne d'effets entre un flux élémentaire et les impacts ressentis *in fine* ;
- la valeur monétaire de ces effets ressentis (Euro).

Dans l'approche moyenne et l'évaluation « top-down », des impacts sont aussi attribués à des flux élémentaires mais de façon moyenne. La chaîne d'effets modélisée est moins détaillée et ne permet pas d'isoler l'effet d'une quantité supplémentaire de flux élémentaire comme le permet l'approche marginale (« impact pathways »). Les effets ressentis sont de même évalués globalement et les coûts totaux des dommages ou des activités de réparation sont rapportés à l'ensemble des flux élémentaires responsables de ces effets.

Le ratio entre la valeur monétaire des effets ressentis et le flux élémentaire qui en est responsable (unités physiques) est appelé le **facteur de monétarisation (FM)** du flux élémentaire.

## Comparaison avec variation de performance énergétique

Dans cette analyse les principaux paramètres variables sont les suivants :

- Le rendement de l'équipement neuf de remplacement,
- Le rendement de l'équipement réparé,
- L'âge de l'équipement au moment de la panne.

Ces paramètres conditionnent le delta de consommation d'énergie entre l'équipement neuf et l'équipement réparé. Plus la panne arrive tôt, plus la différence de rendement entre les deux équipements est faible cependant, cette « petite » différence de rendement aura une influence sur une durée de vie restante plus longue. Au contraire, plus la panne arrive tard, plus la différence de rendement sera grande, cependant cette différence aura une influence sur un nombre d'années plus faible.

- Pour tous les indicateurs d'impacts étudiés et tous les scénarios, les résultats environnementaux comparatifs entre la réparation et le remplacement sont totalement corrélés au delta de consommation énergétique entre les deux situations (cf. *Figure 6* et ).

Aide à la lecture des graphiques : lorsque les résultats sont positifs (points au-dessus de l'axe des abscisses), la réparation est préférable au remplacement par du neuf.

De manière générale, on observe que la réparation reste intéressante à condition que la consommation d'énergie pendant la durée de vie restante de l'équipement réparé soit équivalente ou légèrement plus haute que la consommation avec un équipement neuf de remplacement. Mais comme l'enjeu de consommation énergétique est plus influent que l'enjeu de la production de la chaudière, il suffit d'un gain de rendement relativement réduit (de moins de 1% à 8% selon les scénarios) pour que le remplacement génère un bénéfice environnemental. Dans la pratique, on peut raisonnablement supposer que le gain de rendement grâce au remplacement est la situation la plus courante et donc qu'il soit préférable de remplacer d'un point de vue environnemental.

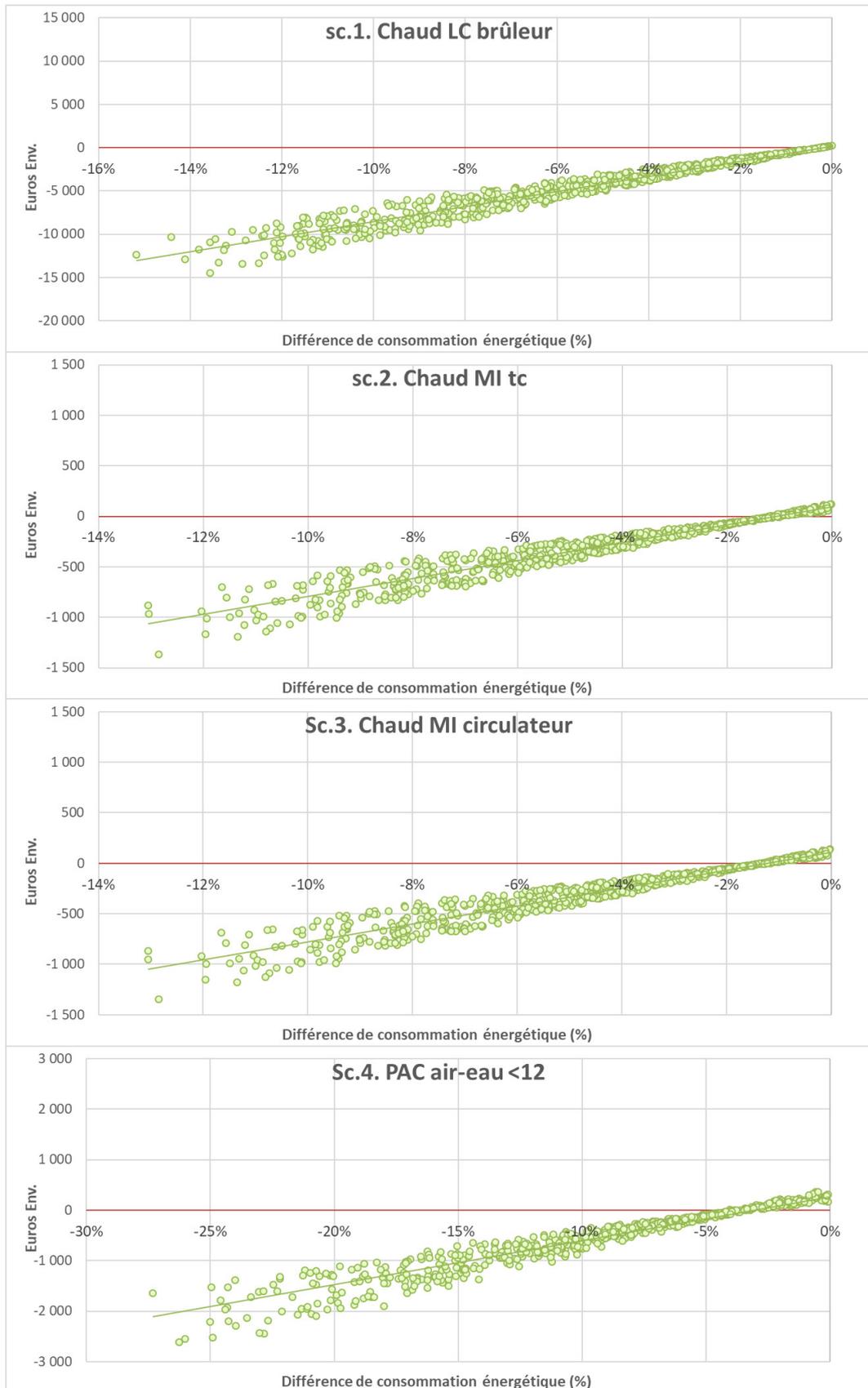


Figure 6 : Sensibilité des coûts environnementaux totaux à la différence de consommation énergétique entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement (1/2)

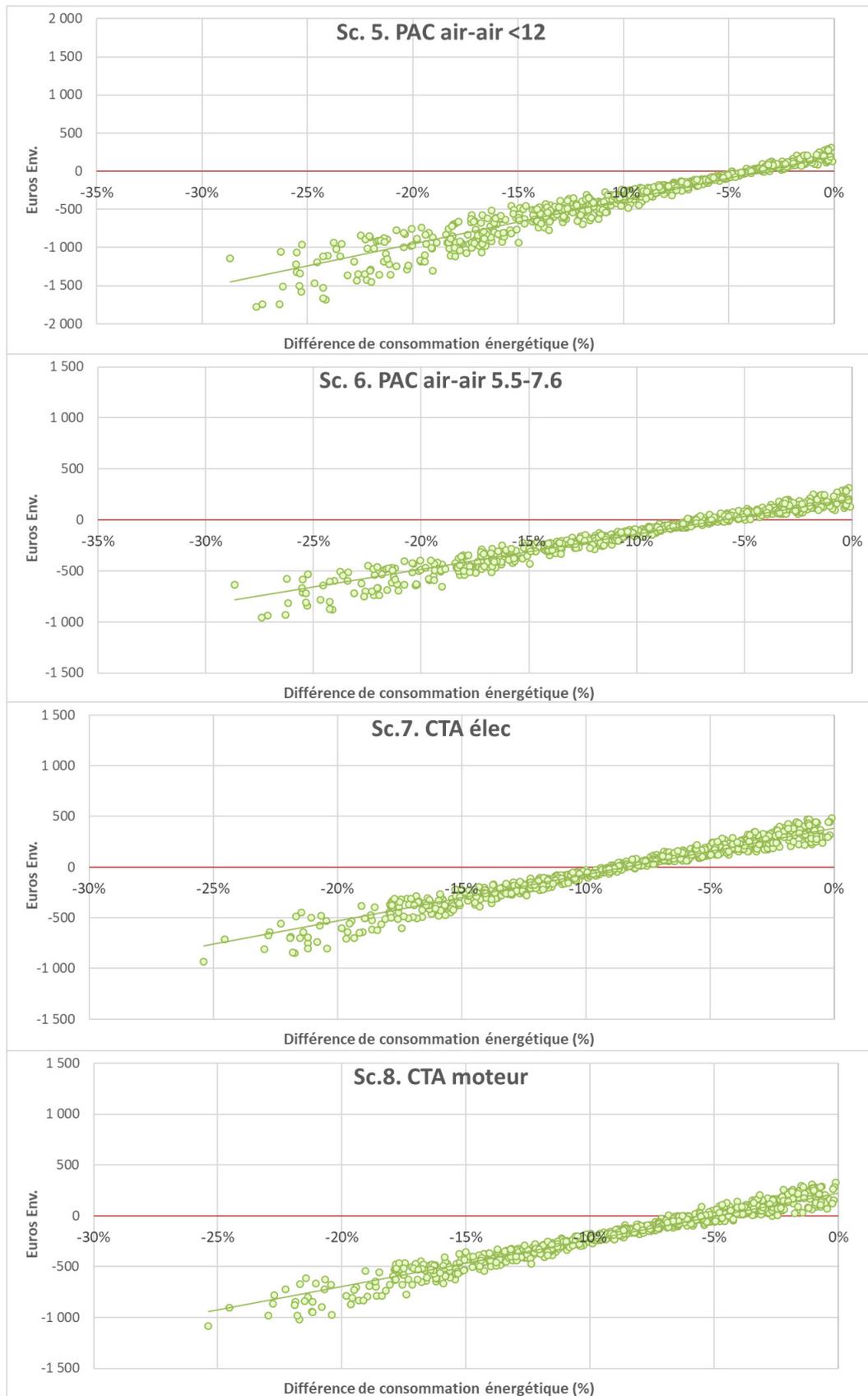


Figure 7 : Sensibilité des coûts environnementaux totaux à la différence de consommation énergétique entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement (2/2)

Pour l'indicateur de coûts environnementaux totaux, les points de changement de conclusion identifiés sont les suivants :

	Delta consommation d'énergie (kWh)	Différence consommation totale (%)
1. Chaud BLC brûleur	2 735	0%
2. Chaud MI tab. cde.	1 975	-1%
3. Chaud MI circulateur	2 328	-1%
4. PAC air-eau MI < 12 kW	3 111	-3%
5. PAC air-air MI < 12 kW	2 290	-3%
6. PAC air-air BLC 6 kW	2 296	-6%
7. CTA élec	4 108	-8%
8. CTA moteur	2 420	-5%

**Aide à la lecture du tableau :** Pour le scénario 2 Chaud MI tab. cde.,

- si en remplaçant la chaudière (par rapport au cas où on la répare), la consommation énergétique est réduite de plus de 1 975 kWh sur toute la durée de vie restante de l'équipement (durée de vie prévisible de l'équipement – temps avant arrivée de la panne), il est préférable de remplacer la chaudière.
- si le remplacement de la chaudière permet d'économiser au moins 1% d'énergie (deuxième colonne du tableau ci-dessus)<sup>27</sup> par rapport à la chaudière réparée sur toute la durée de vie restante de l'équipement réparé (durée de vie prévisible de l'équipement – temps avant arrivée de la panne), il est préférable de remplacer la chaudière.

En conclusion sur les résultats environnementaux,

- Il est toujours préférable de réparer l'équipement lorsque les performances énergétiques sont identiques entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement
- Lorsque le remplacement permet de réduire (même faiblement) la consommation d'énergie par rapport à la réparation, il est le plus souvent préférable de remplacer l'équipement
  - Le besoin d'amélioration de rendement est le plus grand pour les CTA (scénario 7 - panne de la carte électronique et scénario 8 – panne moteur), l'économie d'énergie sur toute la durée de vie restante de l'équipement doit être d'au moins 8% (sc 7) ou 5% (sc 8)
  - Ce besoin est de 5% pour le sc 6 (Panne du circuit électronique d'une PAC d'un logement individuel appliqué au logement collectif air-air ≈ 7 kW) et de moins de 3% pour les autres.
  - Cette situation est probablement la plus courante car :
    - Les performances énergétiques des équipements produisant de la chaleur (et du froid) s'améliorent au fil des années<sup>28</sup> ;
    - Les installations peuvent être surdimensionnées et un remplacement par du

<sup>27</sup> La différence sur la consommation totale est le rapport entre la consommation de la chaudière de remplacement et la consommation de la chaudière réparée sur toute la durée de vie à  $t = \text{temps d'arrivée de la panne}$ . Si  $t = 5$  ans, la différence de consommation est calculée sur 12 ans (la durée de vie totale de la chaudière étant de 17 ans)

<sup>28</sup> Ces améliorations sont notamment poussées par les Directives éco-conception.

neuf peut permettre un redimensionnement adéquat puisqu'il y a un retour d'expérience sur les consommations du bâtiments (le surdimensionnement pouvant être lié à une mauvaise estimation lors de la construction du bâtiment ou à un changement de performances énergétique du bâtiment grâce à une isolation postérieure à l'installation de l'équipement de production de chaleur) ;

- Les nouveaux équipements de ventilation sont dotés de fonctionnalités de régulation plus avancées (ex : commande à distance), ce qui permet de faire des économies d'énergie.
- Le cas où le remplacement dégrade l'efficacité énergétique de l'équipement n'est pas calculé ici mais il ne présenterait aucune valeur ajoutée. En effet comme la réparation est déjà systématiquement préférable lorsque les performances énergétiques sont inchangées, elle l'est d'autant plus si les performances de l'équipement de remplacement sont moins bonnes que celles de l'équipement réparé.

**Remarque :** Dans certaines situations, la réparation permet d'améliorer la performance énergétique de l'équipement (par exemple, remplacement d'un circulateur mono-vitesse par un circulateur à vitesse variable). Les gains énergétiques liés à la réparation doivent donc être pris en compte dans le calcul de la différence de rendement et dans la décision de réparer ou remplacer l'équipement. Ces gains énergétiques éventuels sont modélisés dans cette étude.

### 4.3.3. Résultats économiques

Note : interprétation des graphiques des résultats économiques

- Les impacts avec un signe positif (+) sont positifs d'un point de vue économique
- Les impacts avec un signe négatif (-) sont négatifs d'un point de vue économique

Pour calculer le delta, nous faisons l'opération suivante :

Somme des impacts de la réparation – somme des impacts du remplacement

- Si le delta est positif, la réparation est préférable d'un point de vue économique par rapport au remplacement
- Si le delta est négatif, le remplacement est préférable d'un point de vue économique par rapport à la réparation

Remarque : ce sont des scénarios moyens qui ne représentent pas l'ensemble des situations possibles. L'ensemble des possibilités est détaillé dans les résultats sociétaux (4.3.5).

Légende :

« Achat » = achat de la pièce de réparation

« Dépose » = coût d'apport

« Installation » = coût de la main d'œuvre et de l'achat de l'équipement neuf

## Chaud BLC brûleur

Dans les cas de base, le remplacement coûte plus cher que la réparation (principalement lié au coût d'installation du remplacement) :

- Delta de 3 368 € sans variation de consommation (Figure 8)
- Delta de 983 € avec variation de la consommation de 3.2% (Figure 9)

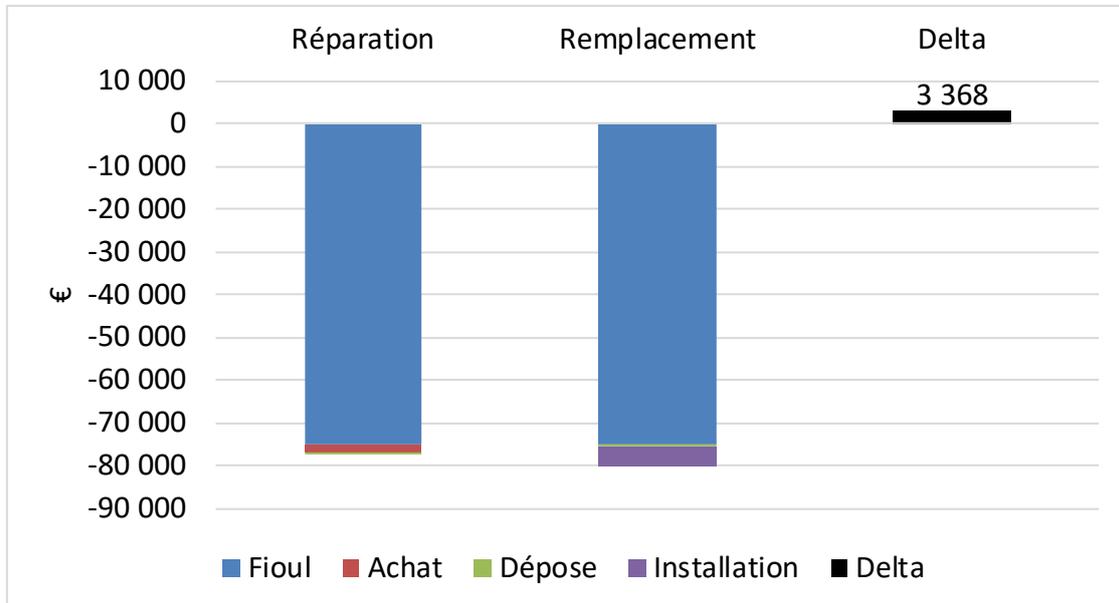


Figure 8 : Résultats économiques 1. Chaud BLC brûleur (sans variation de consommation)

### Légende :

« Achat » = achat de la pièce de réparation

« Dépose » = coût d'apport

« Installation » = coût de la main d'œuvre et de l'achat de l'équipement neuf

Plus de 90 % des coûts correspondent à la consommation de fioul. Le coût de remplacement vient en deuxième position (« installation ») et les coûts de réparation et de dépose sont relativement faibles et donc peu pertinents dans l'analyse.

L'enjeu économique est donc essentiellement un arbitrage entre le coût de remplacement et l'économie de consommation de combustible (fioul).

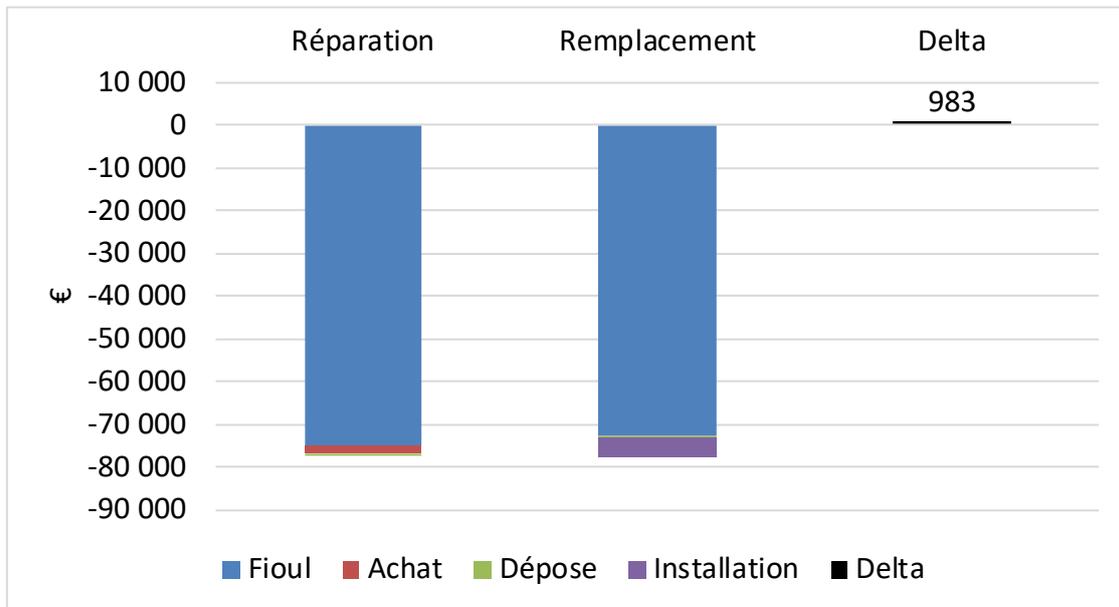


Figure 9 : Résultats économiques 1. Chaud BLC brûleur (baisse de consommation : 3.2%)

Néanmoins, dans le cas d'une variation de consommation de fioul, la préférence pour la réparation ou le remplacement dépend fortement du delta consommation d'énergie totale. En effet, plus la nouvelle chaudière sera efficiente, plus il est intéressant de remplacer la chaudière au lieu de la réparer. Si dans le cas moyen (delta consommation d'énergie totale de 3.2%), la réparation reste favorable, la Figure 10 montre qu'il est moins cher de remplacer la chaudière en panne si la diminution de consommation d'énergie totale est d'au moins 4.3%.

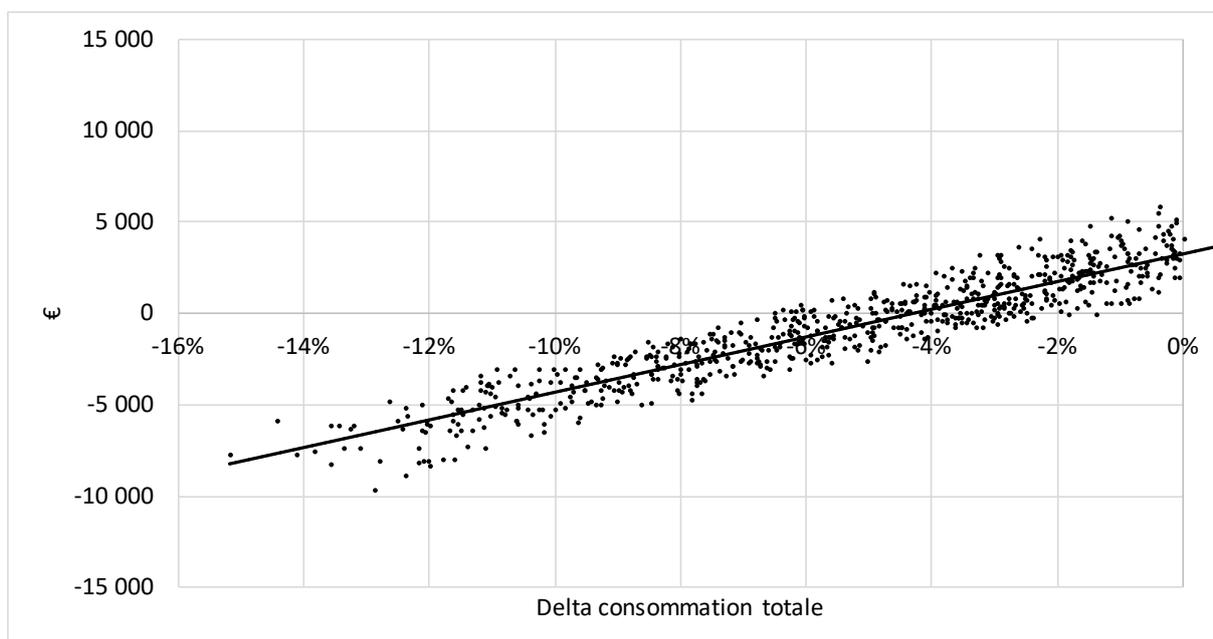


Figure 10 : Résultats économiques 1. Chaud BLC brûleur – delta économique en fonction du delta énergie total (avec variation de consommation)

## Chaud MI tab. cde.

Plus de 90 % des coûts correspondent au gaz. Le remplacement coûte plus cher que la réparation (principalement lié au coût d'installation du remplacement) :

- Delta de 1 399 € sans variation de consommation (Figure 11)
- Delta de 979 € avec variation de la consommation de 2.9% (Figure 12)

**Il est moins cher de remplacer la chaudière en panne si le delta consommation d'énergie totale est d'au moins -9.4%.**

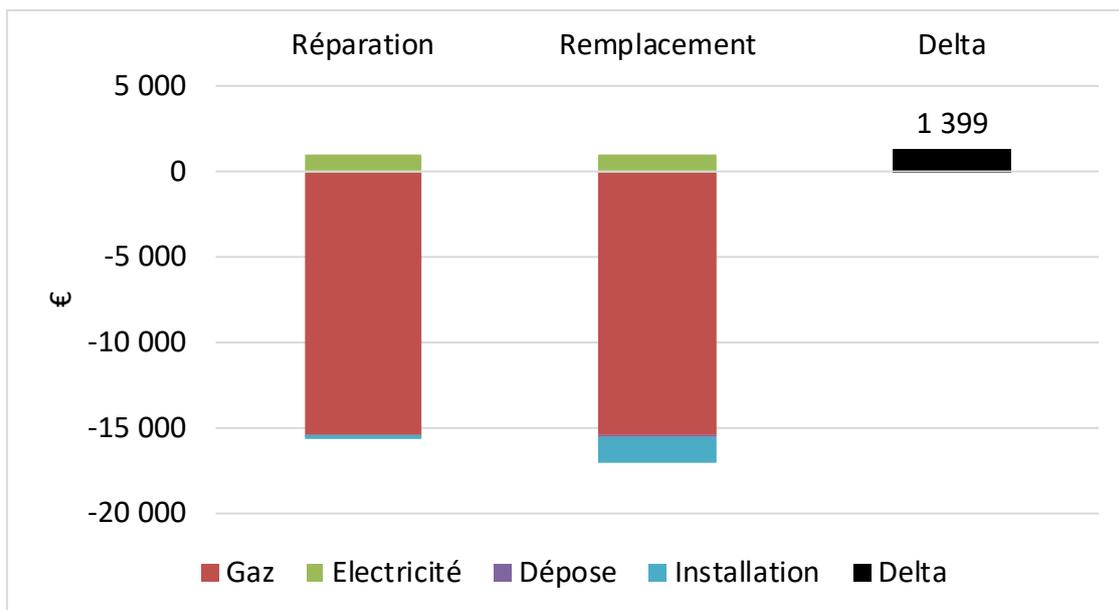


Figure 11 : Résultats économiques 2. Chaud MI tab. cde. (sans variation de consommation)

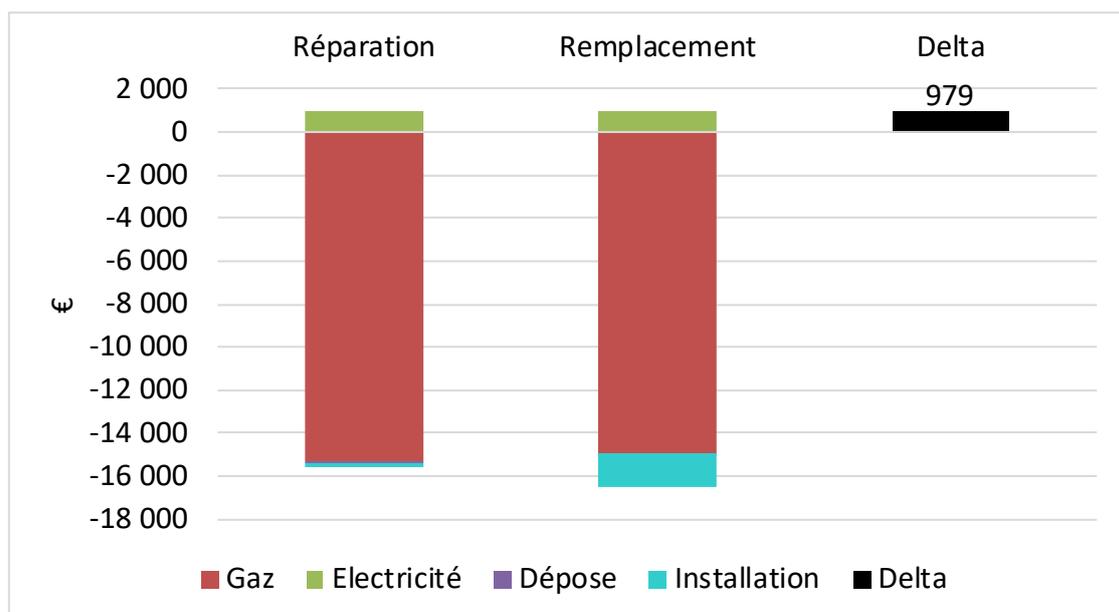


Figure 12 : Résultats économiques 2. Chaud MI tab. cde. (baisse de consommation : 2.9%)

## Chaud MI circulateur

Plus de 90 % des coûts correspondent à la consommation de gaz. Le remplacement coûte plus cher que la réparation (principalement lié au coût d'installation du remplacement) :

- Delta de 1 360 € sans variation de consommation (Figure 13)
- Delta de 940 € avec variation de la consommation de 2.9% (Figure 14)

Figure 13 : Résultats économiques 3. Chaud MI circulateur (sans variation de consommation)

**Il est moins cher de remplacer la chaudière en panne si le delta consommation d'énergie totale est d'au moins -9.1%.**

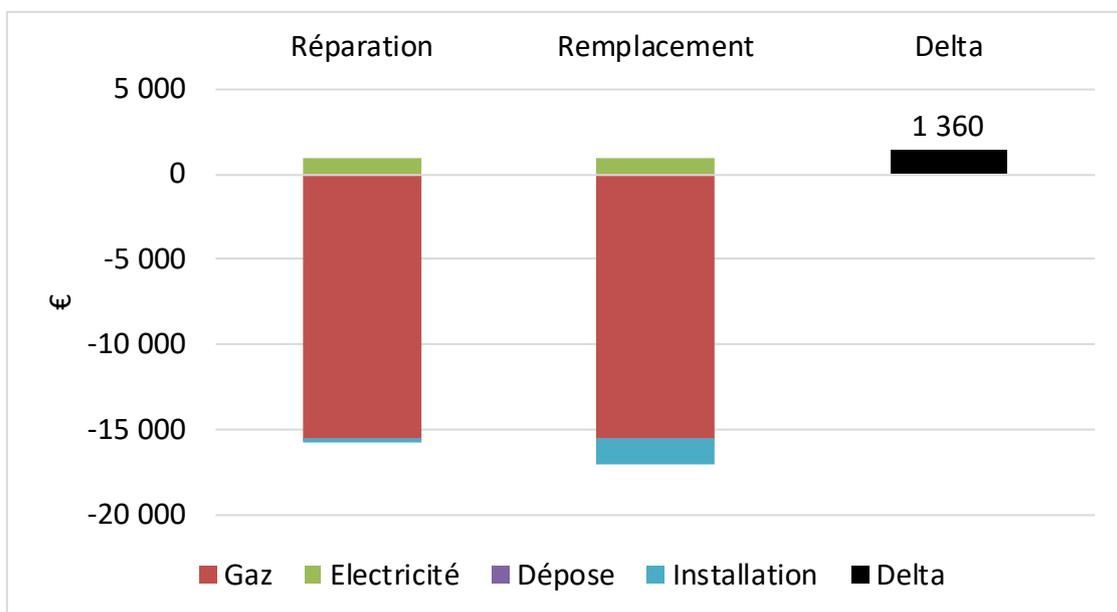


Figure 13 : Résultats économiques 3. Chaud MI circulateur (sans variation de consommation)

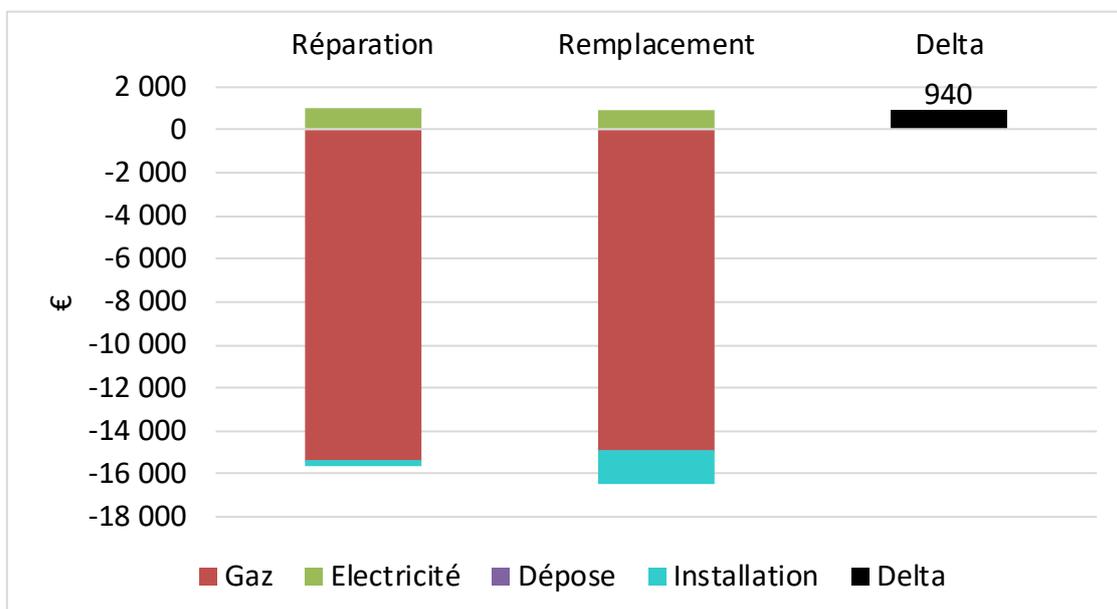


Figure 14 : Résultats économiques 3. Chaud MI circulateur (baisse de consommation : 2.9%)

## PAC air-eau MI <12 kW

Plus de 70 % des coûts correspondent à l'électricité. Le remplacement coûte plus cher que la réparation (principalement lié au coût d'installation du remplacement) :

- Delta de 5 133 € sans variation de consommation (Figure 15)
- Delta de 4 633 € avec variation de la consommation de 3.4% (Figure 16)

**La réparation est toujours moins chère que le remplacement.**

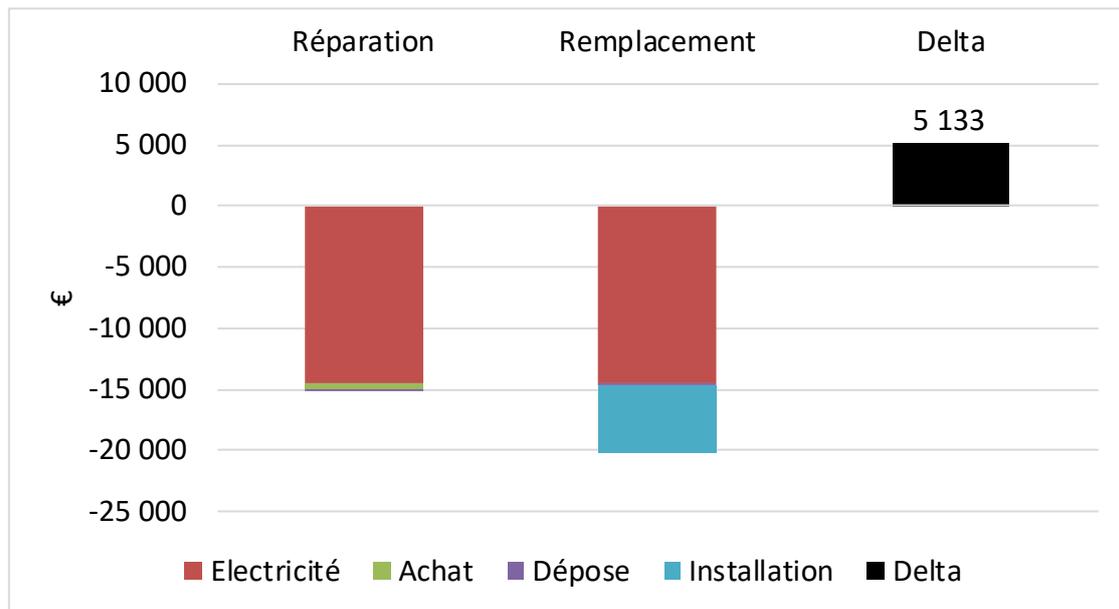


Figure 15 : Résultats économiques 4. PAC air-eau MI &lt;12 kW (sans variation de consommation)

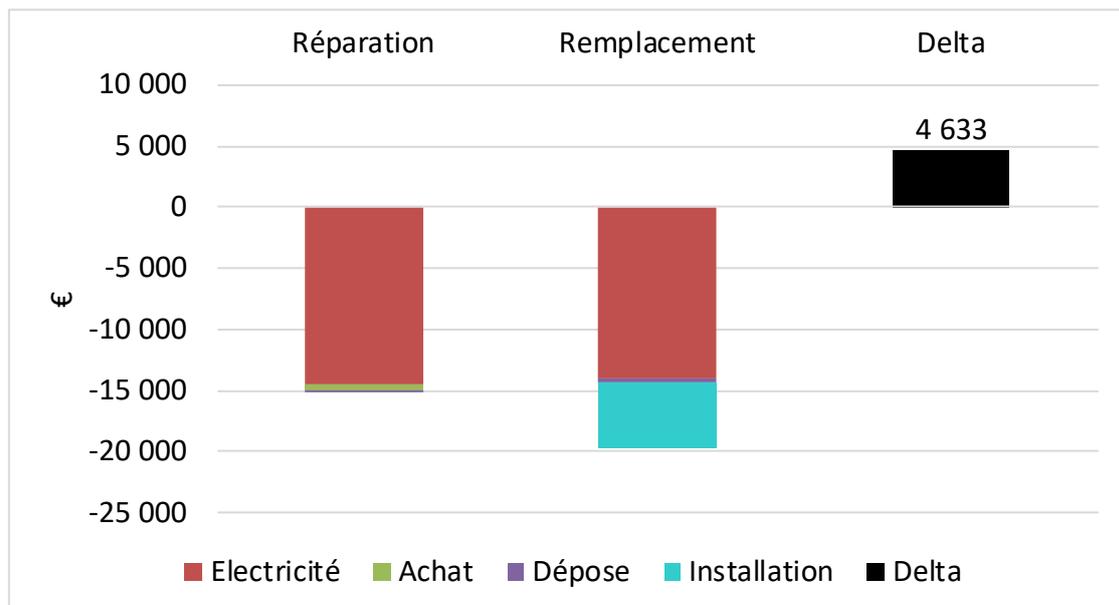


Figure 16 : Résultats économiques 4. PAC air-eau MI &lt;12 kW (baisse de consommation : 3.4%)

## PAC air-air MI <12 kW

Plus de 75 % des coûts correspondent à l'électricité. Le remplacement coûte plus cher que la réparation (principalement lié au coût d'installation du remplacement) :

- Delta de 1 962 € sans variation de consommation (Figure 17)
- Delta de 1 635 € avec variation de la consommation de 4.3% (Figure 18)

**Il est moins cher de remplacer la PAC air-air en panne si la diminution de consommation d'énergie totale est d'au moins 23%.**

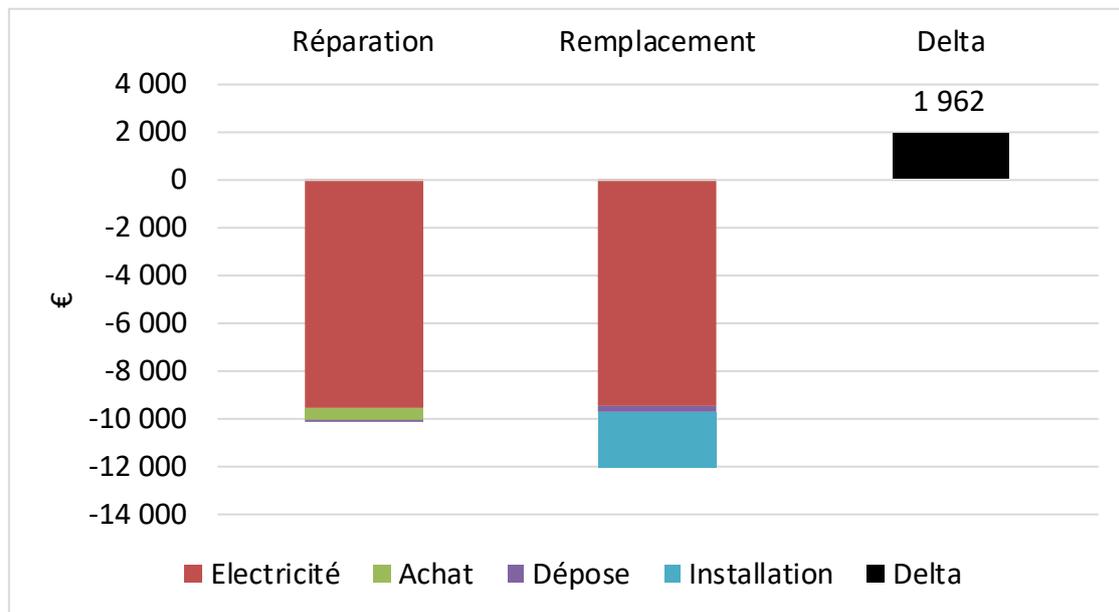


Figure 17 : Résultats économiques 5. PAC air-air MI <12 kW (sans variation de consommation)

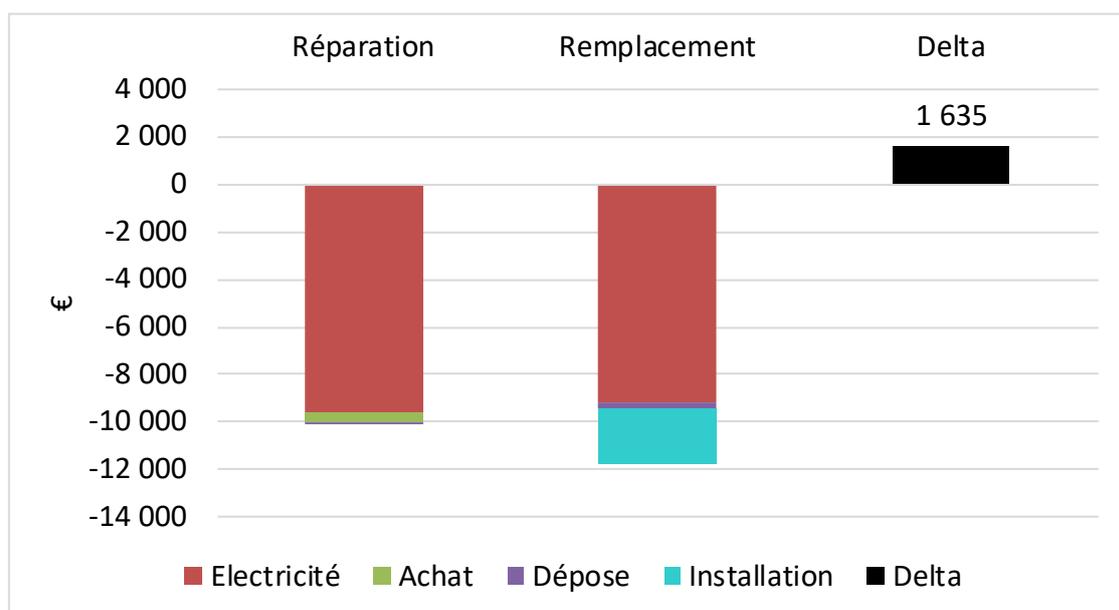


Figure 18 : Résultats économiques 5. PAC air-air MI <12 kW (baisse de consommation : 4.3%)

## PAC air-air BLC 6 kW

Plus de 65 % des coûts correspondent à l'électricité. Le remplacement coûte plus cher que la réparation (principalement lié au coût d'installation du remplacement) :

- Delta de 1 616 € sans variation de consommation (Figure 19)
- Delta de 1 419 € avec variation de la consommation de 4.3% (Figure 20)

**La réparation est toujours moins chère que le remplacement.**

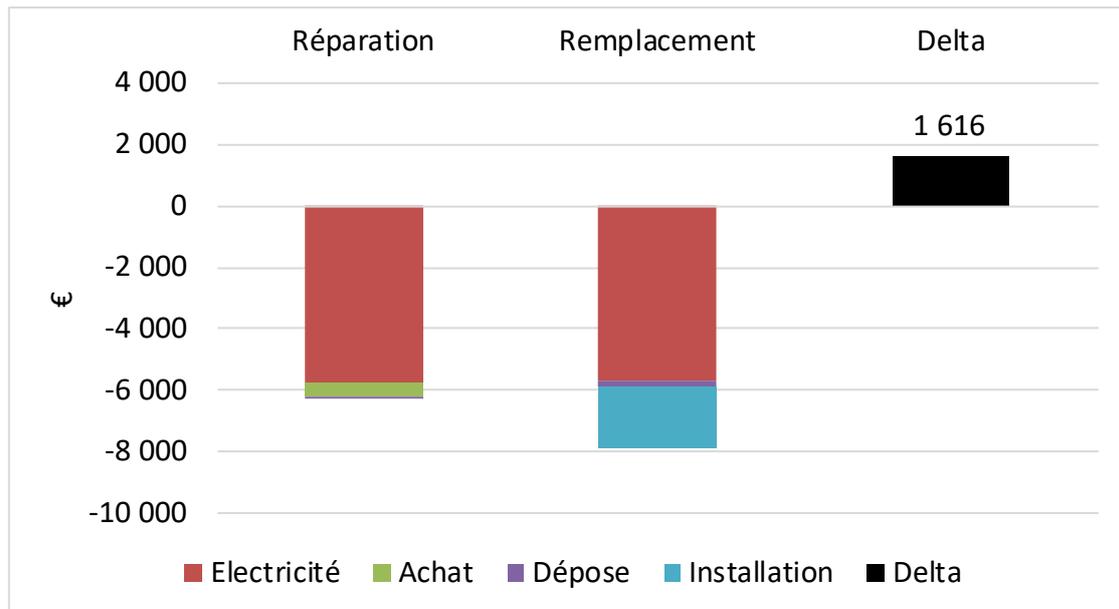


Figure 19 : Résultats économiques 6. PAC air-air BLC 6 kW (sans variation de consommation)

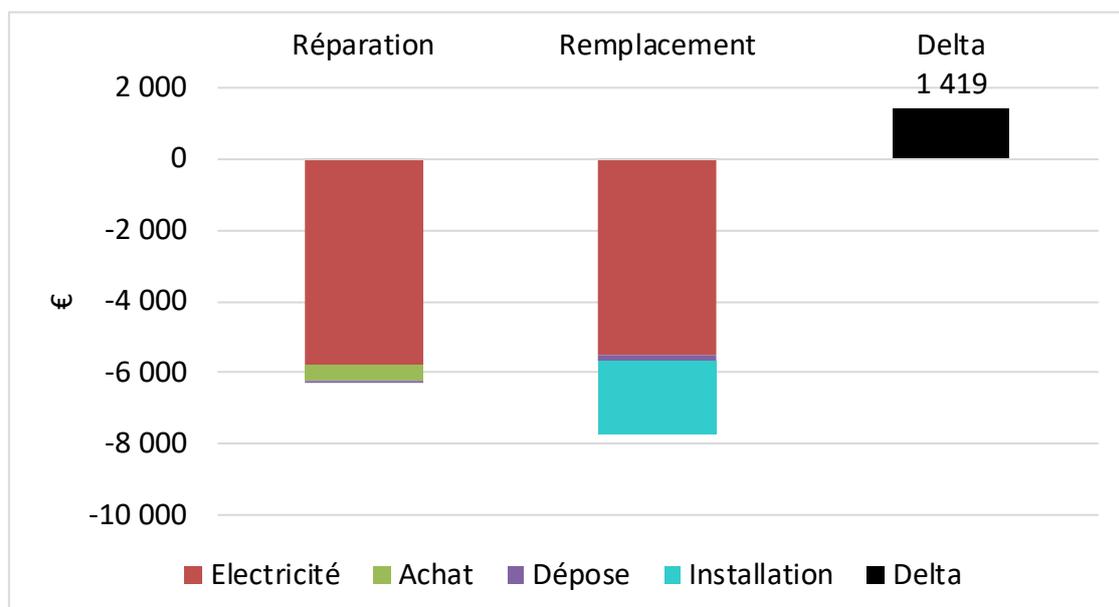


Figure 20 : Résultats économiques 6. PAC air-air BLC 6 kW (baisse de consommation : 4.3%)

## CTA élec

Dans le cas de la réparation, l'électricité représente plus de 95 % des coûts. Dans le cas du remplacement, l'équipement neuf (« solution alternative ») représente environ 50 % des coûts, l'électricité 28 % et l'installation 20 %.

Le remplacement coûte plus cher que la réparation (principalement lié au coût de l'équipement neuf et au coût d'installation du remplacement) :

- Delta de 19 468 € sans variation de consommation (Figure 21)
- Delta de 19 064 € avec variation de la consommation de 5.2% (Figure 22)

**La réparation est toujours moins chère que le remplacement.**

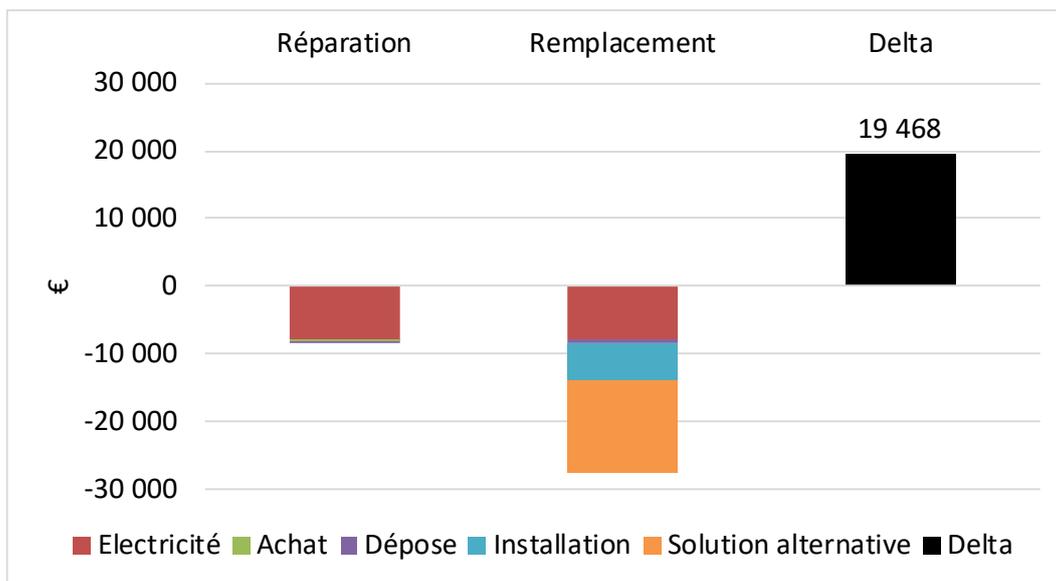


Figure 21 : Résultats économiques 7. CAT élec (sans variation de consommation)

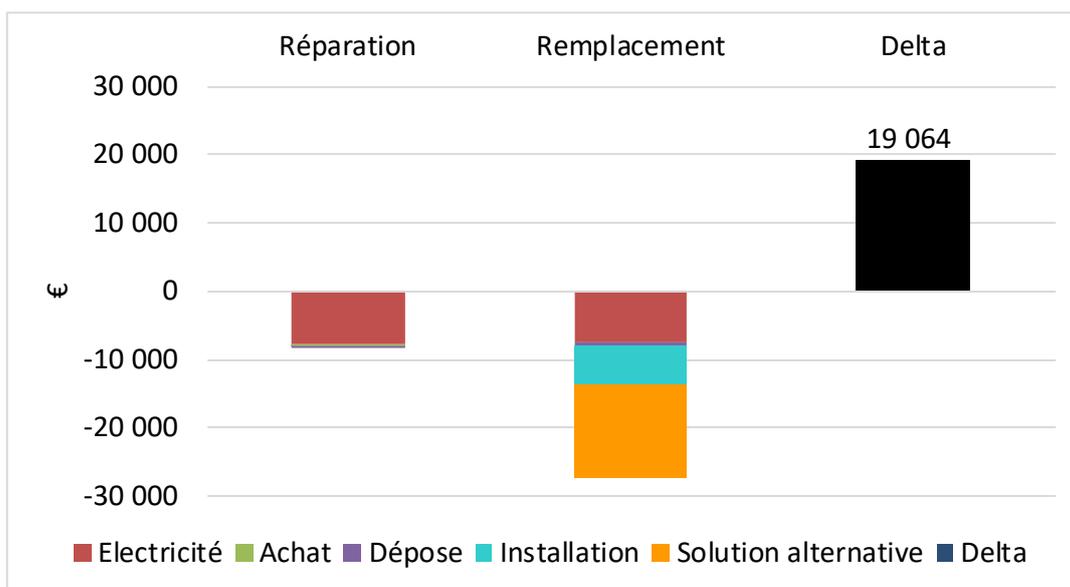


Figure 22 : Résultats économiques 7. CAT élec (baisse de consommation : 5.2%)

## CTA moteur

Dans le cas de la réparation, l'électricité représente environ 85 % des coûts. Dans le cas du remplacement, la solution alternative représente environ 50 % des coûts, l'électricité 28 % et l'installation 20 %.

Le remplacement coûte plus cher que la réparation (principalement lié au coût de la solution alternative et au coût d'installation du remplacement) :

- Delta de 18 367 € sans variation de consommation (Figure 23)
- Delta de 17 963 € avec variation de la consommation de 5.2% (Figure 24)

**La réparation est toujours moins chère que le remplacement.**

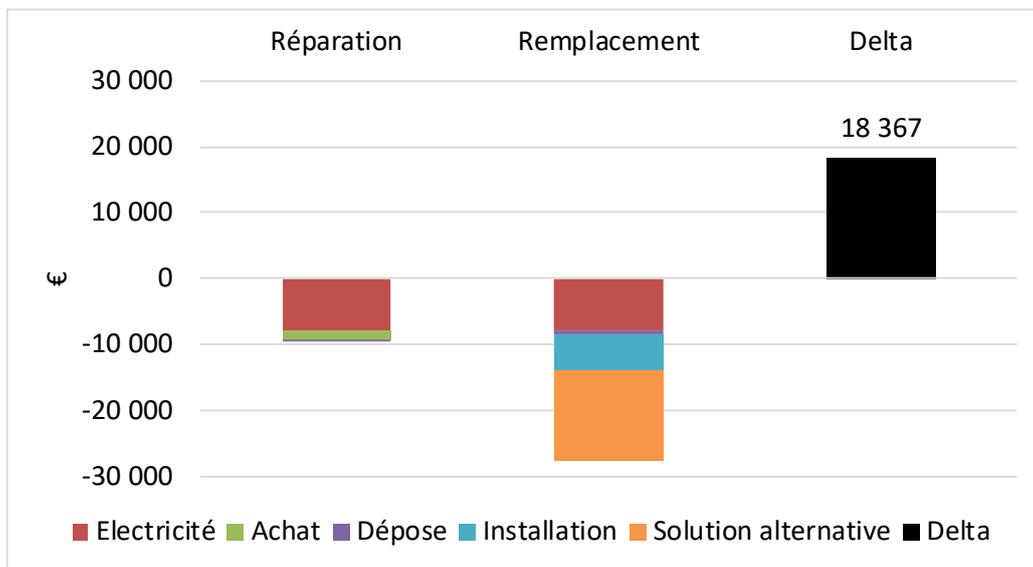


Figure 23 : Résultats économiques 8. CAT moteur (sans variation de consommation)

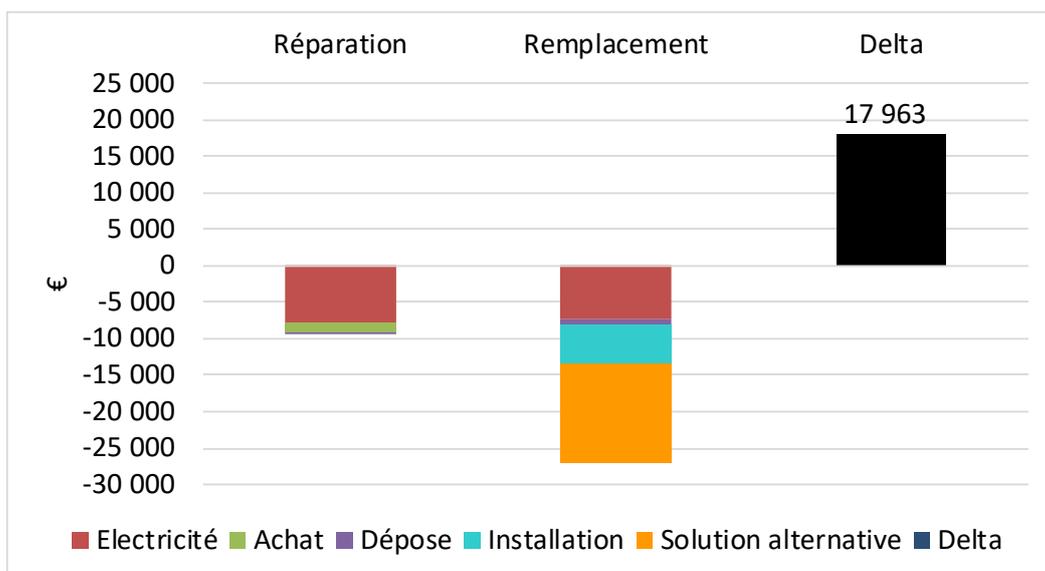


Figure 24 : Résultats économiques 8. CAT moteur (avec consommation - 5.2%)

## 4.3.4. Résultats sociaux

Note : interprétation des graphiques des résultats sociaux

- Les impacts avec un signe positif (+) sont positifs d'un point de vue social
- Les impacts avec un signe négatif (-) sont négatifs d'un point de vue social

Pour calculer le delta, nous faisons l'opération suivante :

Somme des impacts de la réparation – somme des impacts du remplacement

- Si le delta est positif, la réparation est préférable d'un point de vue social par rapport au remplacement
- Si le delta est négatif, le remplacement est préférable d'un point de vue social par rapport à la réparation

Remarque : ce sont des scénarios moyens qui ne représentent pas l'ensemble des situations possibles. L'ensemble des possibilités est détaillé dans les résultats sociétaux (4.3.5).

### Chaud BLC brûleur

Pour la réparation, l'impact social est environ neutre.

Pour le remplacement,

- le temps d'attente supplémentaire (les chaudières neuves mettent en général plus de temps à être livrées que le brûleur de remplacement) est un impact négatif
- le bénéfice lié à la tranquillité (on se fait moins de souci avec une chaudière neuve) est un impact positif.
- l'impact négatif du temps d'attente supplémentaire domine. La réparation est donc préférable au remplacement d'un point de vue social avec un delta de 652 €.

En modélisant la variation de valeur de ces deux paramètres, la réparation est préférée au remplacement d'un point de vue social dans plus de 80 % des cas. Ce % serait encore plus élevé en considérant une corrélation (non modélisée) entre les deux paramètres, c'est-à-dire que les personnes qui sont prêtes à payer le plus pour réduire le temps d'attente sont également celles qui sont prêtes à payer le plus pour avoir la tranquillité d'esprit.

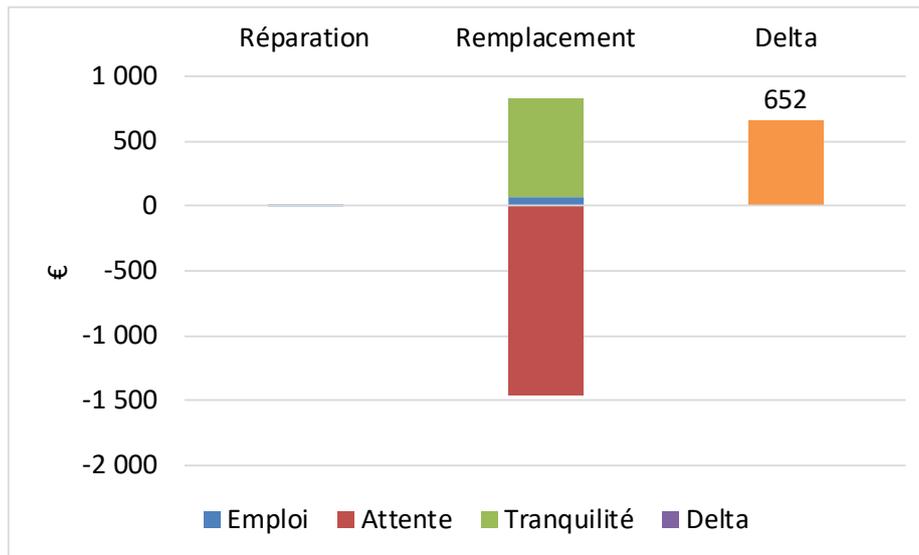


Figure 25 : Résultats sociaux 1. Chaud BLC brûleur

## Chaud MI tab. cde.

Pour la réparation, l'impact social est neutre.

Pour le remplacement, le temps d'attente supplémentaire est un impact négatif et le bénéfice lié à la tranquillité un impact positif. L'impact positif de la tranquillité (et la création d'emplois) domine. Le remplacement est donc préférable à la réparation d'un point de vue social avec un delta de **37 €** (Figure 26).

La valeur plus faible que dans le scénario 1 (Chaud BLC brûleur) s'explique par le fait que le bénéfice lié à la tranquillité est plus élevé pour les maisons individuelles car il n'y a pas de syndic qui s'occupe de coordonner la réparation ou le remplacement.

Le remplacement est préféré à la réparation d'un point de vue social dans plus de 60 % des cas modélisés. Comme dans le scénario 1 (Chaud BLC brûleur), ce % serait plus élevé en considérant une corrélation (non modélisée) entre les deux paramètres.

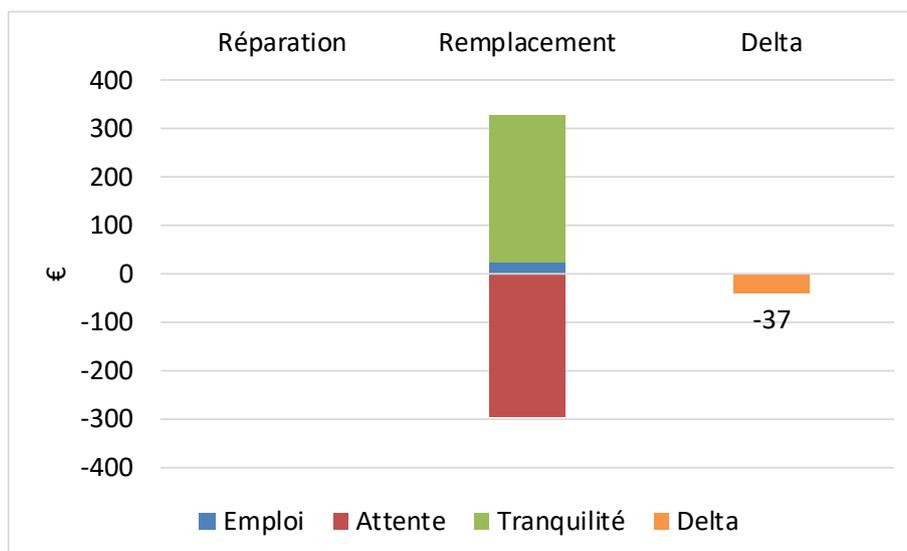


Figure 26 : Résultats sociaux 2. Chaud MI tab. cde.

## Chaud MI circulateur

Pour la réparation, l'impact social est neutre.

Pour le remplacement, le temps d'attente supplémentaire est un impact négatif et le bénéfice lié à la tranquillité un impact positif. L'impact positif de la tranquillité (et la création d'emplois) domine. Le remplacement est donc préférable à la réparation d'un point de vue social avec un delta de **35 €** (Figure 27).

Ceci s'explique par le fait que le bénéfice lié à la tranquillité est plus élevé pour les maisons individuelles car il n'y a pas de syndic qui s'occupe de coordonner la réparation ou le remplacement.

Le remplacement est préféré à la réparation d'un point de vue social dans plus de 60 % des cas modélisés.

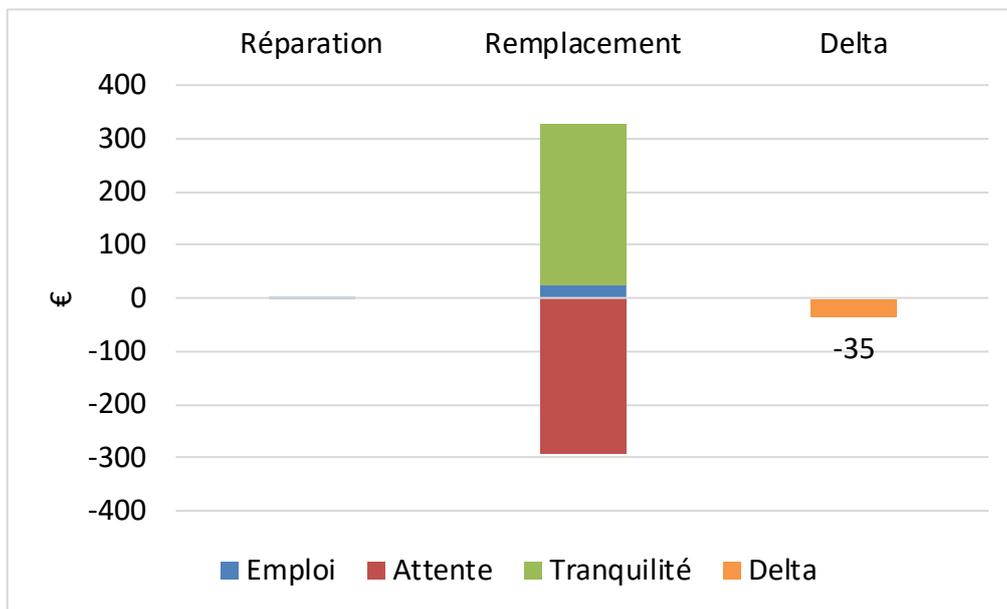


Figure 27 : Résultats sociaux 3. Chaud MI circulateur

## PAC air-eau <12

Pour la réparation, l'impact social est neutre.

Pour le remplacement, le temps d'attente supplémentaire est un impact négatif et le bénéfice lié à la tranquillité un impact positif. L'impact négatif du temps d'attente supplémentaire domine. La réparation est donc préférable au remplacement d'un point de vue social avec un delta de **619 €** (Figure 28).

La réparation est préférée au remplacement d'un point de vue social dans plus de 80 % des cas modélisés.

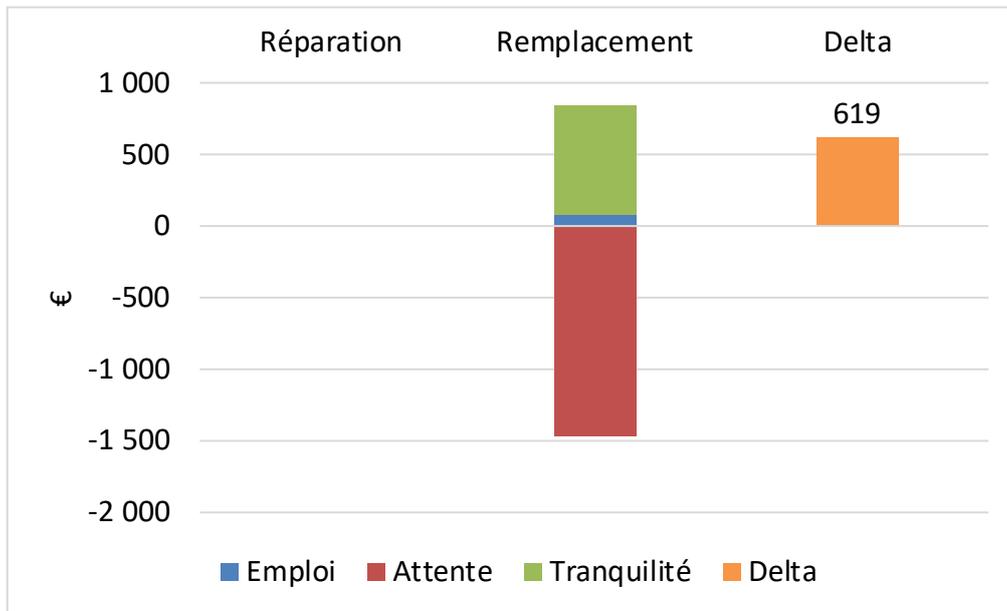


Figure 28 : Résultats sociaux 4. PAC air-eau <12

## PAC air-air <12

Pour la réparation, l'impact social est neutre.

Pour le remplacement, le temps d'attente supplémentaire est un impact négatif et le bénéfice lié à la tranquillité un impact positif. L'impact négatif du temps d'attente supplémentaire domine. La réparation est donc préférable au remplacement d'un point de vue social avec un delta de **667 €** (Figure 29).

La réparation est préférée au remplacement d'un point de vue social dans plus de 80 % des cas modélisés.

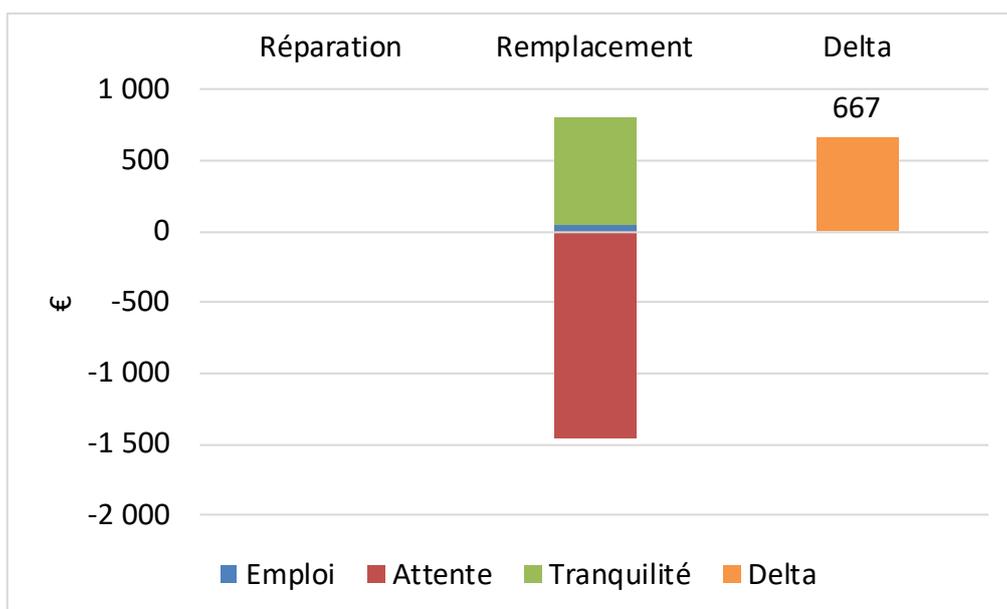


Figure 29 : Résultats sociaux 5. PAC air-air <12

## PAC air-air 6 kW

Pour la réparation, l'impact social est neutre.

Pour le remplacement, le temps d'attente supplémentaire est un impact négatif et le bénéfice lié à la tranquillité un impact positif. L'impact négatif du temps d'attente supplémentaire domine. La réparation est donc préférable au remplacement d'un point de vue social avec un delta de **698 €**.

La réparation est préférée au remplacement d'un point de vue social dans plus de 80 % des cas modélisés.

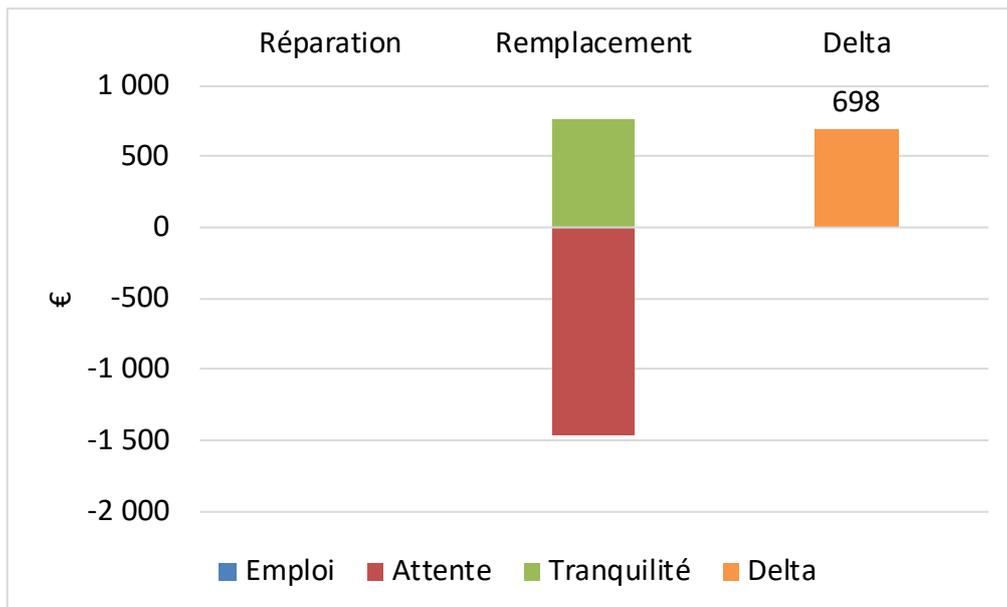


Figure 30 : Résultats sociaux 6. PAC air-air 6 kW

## CTA élec

Pour la réparation, l'impact social est neutre.

Pour le remplacement, le temps d'attente supplémentaire est un impact négatif et le bénéfice lié à la tranquillité un impact positif. L'impact négatif du temps d'attente supplémentaire domine. La réparation est donc préférable au remplacement d'un point de vue social avec un delta de **618 €** (Figure 31).

La réparation est préférée au remplacement d'un point de vue social dans plus de 80 % des cas modélisés.

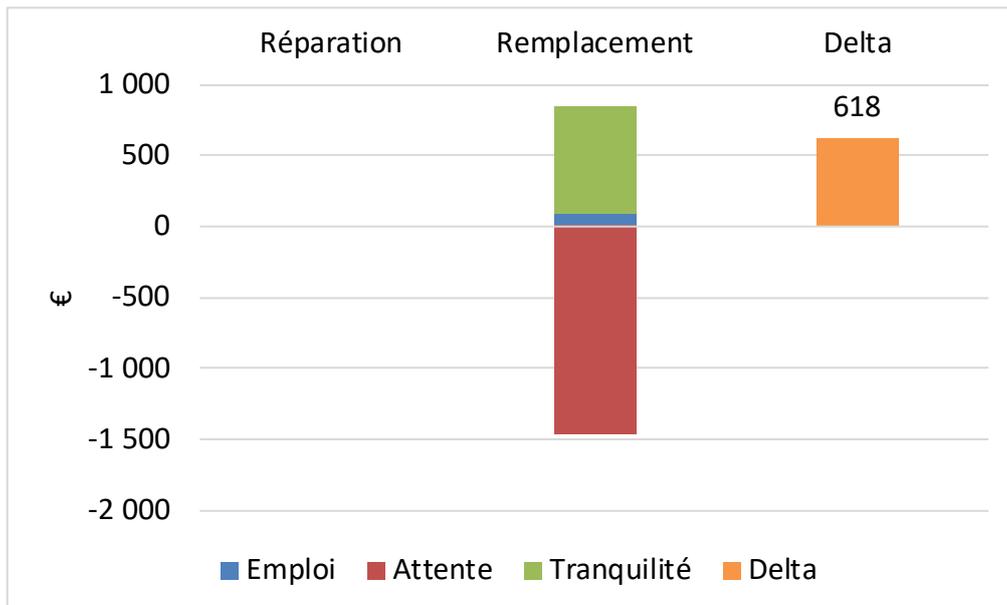


Figure 31 : Résultats sociaux 7. CTA élec

## CTA moteur

Pour la réparation, l'impact social est neutre.

Pour le remplacement, le temps d'attente supplémentaire est un impact négatif et le bénéfice lié à la tranquillité un impact positif. L'impact négatif du temps d'attente supplémentaire domine. La réparation est donc préférable au remplacement d'un point de vue social avec un delta de **631 €** (Figure 32)

La réparation est préférée au remplacement d'un point de vue social dans plus de 80 % des cas modélisés.

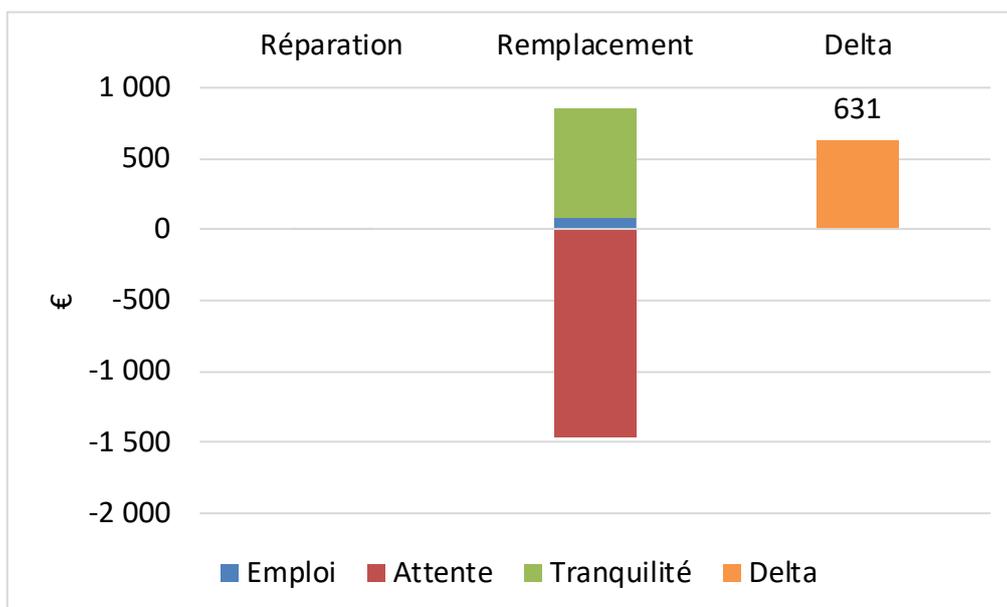


Figure 32 : Résultats sociaux 8. CTA moteur

## 4.3.5. Résultats sociétaux

Note : interprétation des graphiques des résultats sociétaux

Pour calculer le delta, nous faisons l'opération suivante :

Somme des impacts de la réparation – somme des impacts du remplacement

- Si le delta est positif, la réparation est préférable d'un point de vue sociétal par rapport au remplacement
- Si le delta est négatif, le remplacement est préférable d'un point de vue sociétal par rapport à la réparation

On voit **globalement** (voir les graphes suivants) que :

- L'enjeu économique domine (points en noir)
- L'enjeu **social** est faible (points en jaune)
- L'enjeu **environnemental** est d'importance variable (points en vert)
- Le gain de consommation d'énergie est un paramètre très important avec des effets similaires des points de vue environnemental et économique.

Rappels :

- En analyse coût-bénéfice, l'utilisation de valeurs monétaires ne sous-entend pas, même implicitement, que l'économique est le seul critère de valeur. En fait, c'est exactement le contraire : l'évaluation monétaire en analyse-coût-bénéfice évalue l'éventail complet des valeurs sociales.
- Pour éviter les doubles comptages, nous avons choisi de présenter les impacts environnementaux internalisés dans le pilier économique

## Chaud BLC brûleur

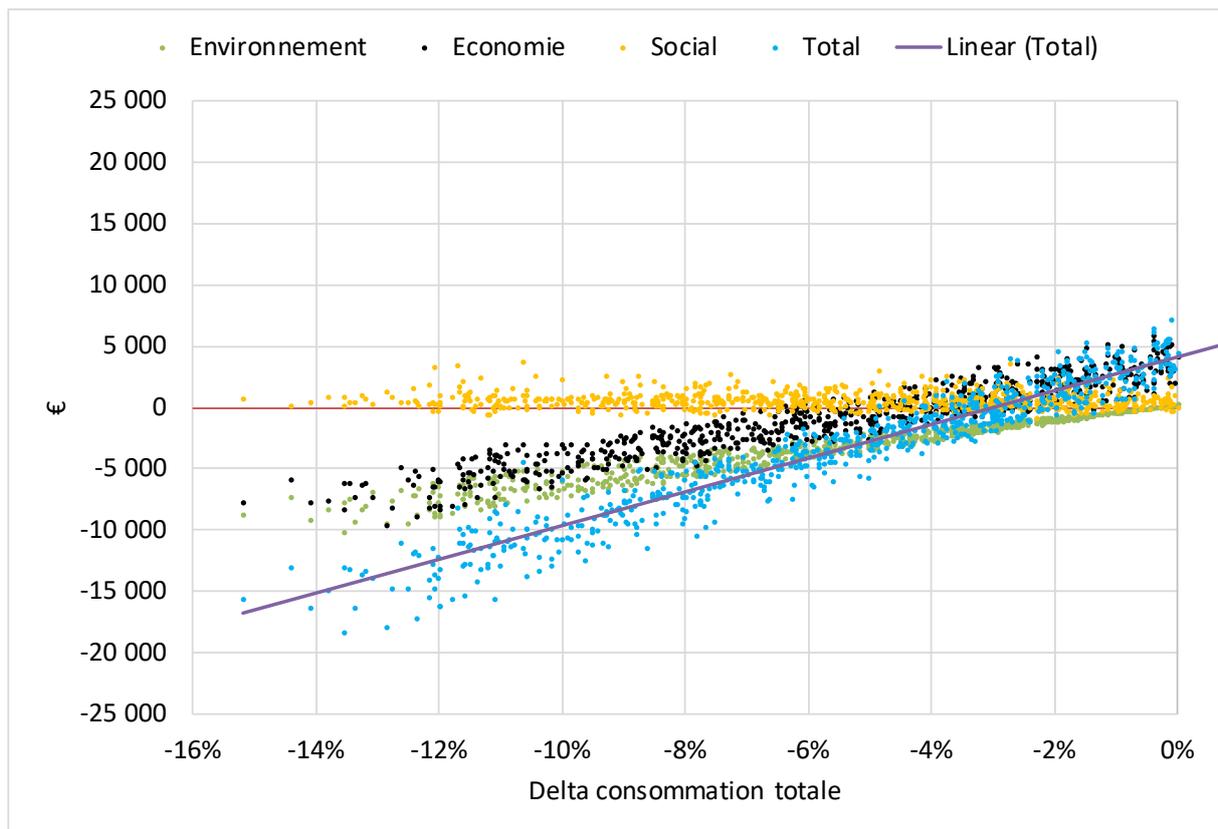


Figure 33 : Résultats sociétaux – 1. Chaud BLC brûleur

- D'un point de vue sociétal, il est **préférable de réparer plutôt que de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 3 %**. Si la diminution est supérieure à ce seuil, la conclusion s'inverse.
- D'un point de vue environnemental, il est préférable de remplacer plutôt que de réparer si la diminution de consommation totale est supérieure à 0.2 %.
- D'un point de vue économique, il est préférable de remplacer plutôt que de réparer si la diminution de consommation totale est supérieure à 4.3 %.
- D'un point de vue social, il est généralement préférable de réparer plutôt que de remplacer.

## Chaud MI tab. cde.

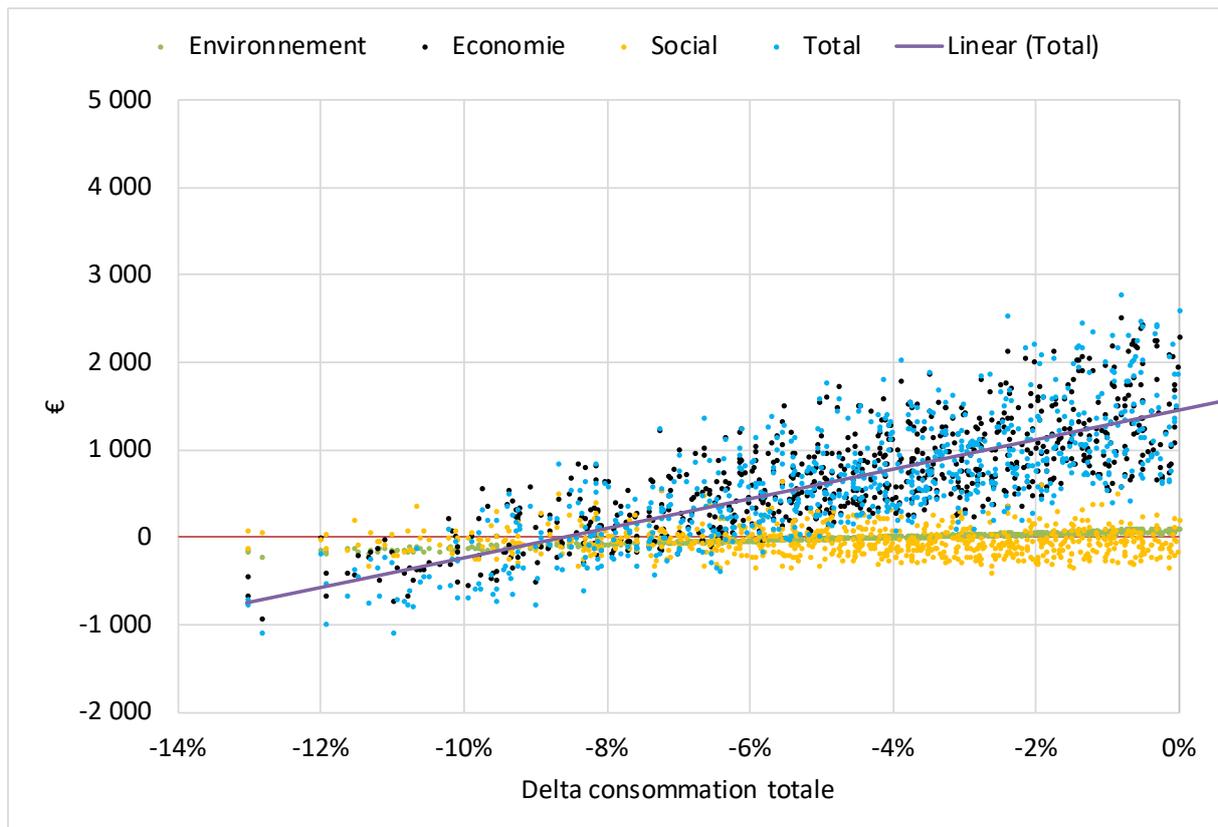


Figure 34 : Résultats sociétaux – 2. Chaud MI tab. cde.

- D'un point de vue sociétal, il est **préférable de réparer plutôt que de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 8.6 %**. Si la diminution est supérieure à ce seuil, la conclusion s'inverse.
- D'un point de vue environnemental, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 4.1 %.
- D'un point de vue économique, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 9.4 %.
- D'un point de vue social, il est généralement préférable de remplacer plutôt que de réparer.

## Chaud MI circulateur

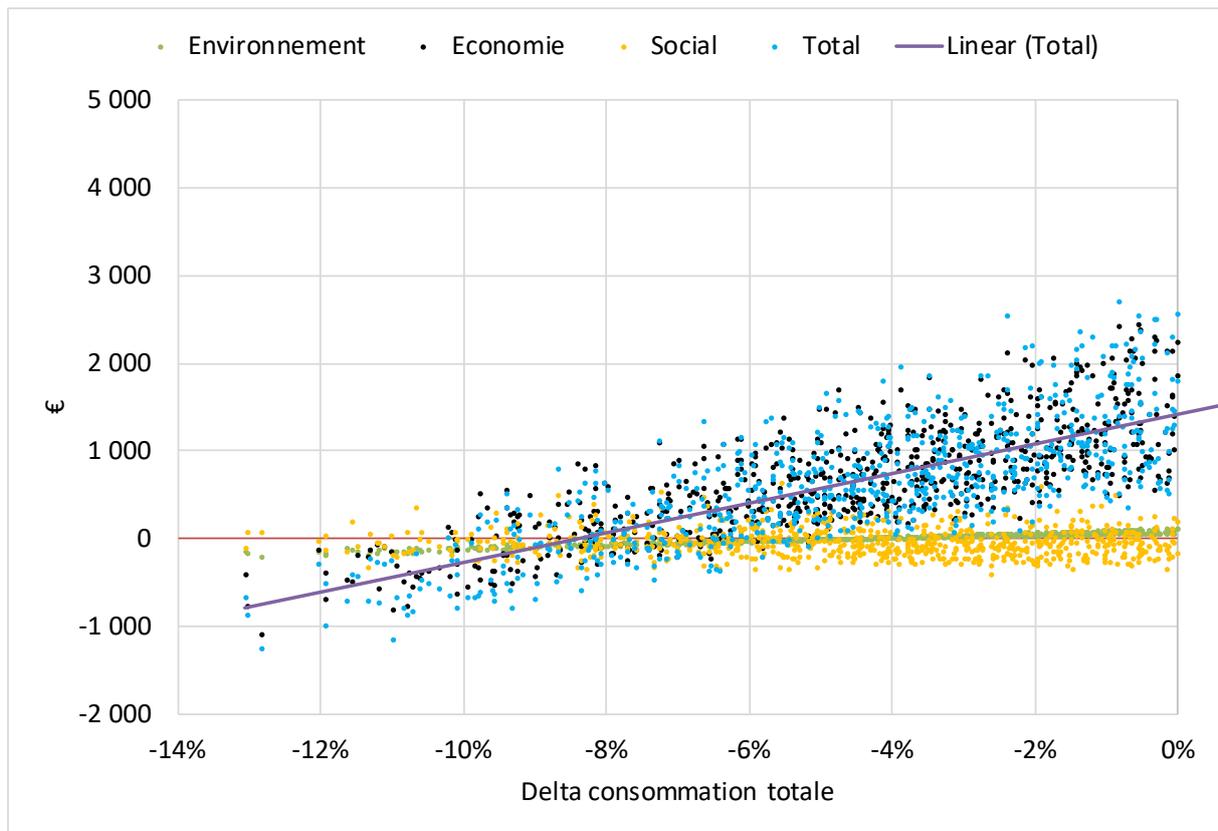


Figure 35 : Résultats sociétaux – 3. Chaud MI circulateur

- D'un point de vue sociétal, il est **préférable de réparer plutôt que de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 8.4 %**. Si la diminution est supérieure à ce seuil, la conclusion s'inverse.
- D'un point de vue environnemental, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 4.5 %.
- D'un point de vue économique, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 9.1 %.
- D'un point de vue social, il est généralement préférable de remplacer plutôt que de réparer.

## PAC air-eau <12 kW

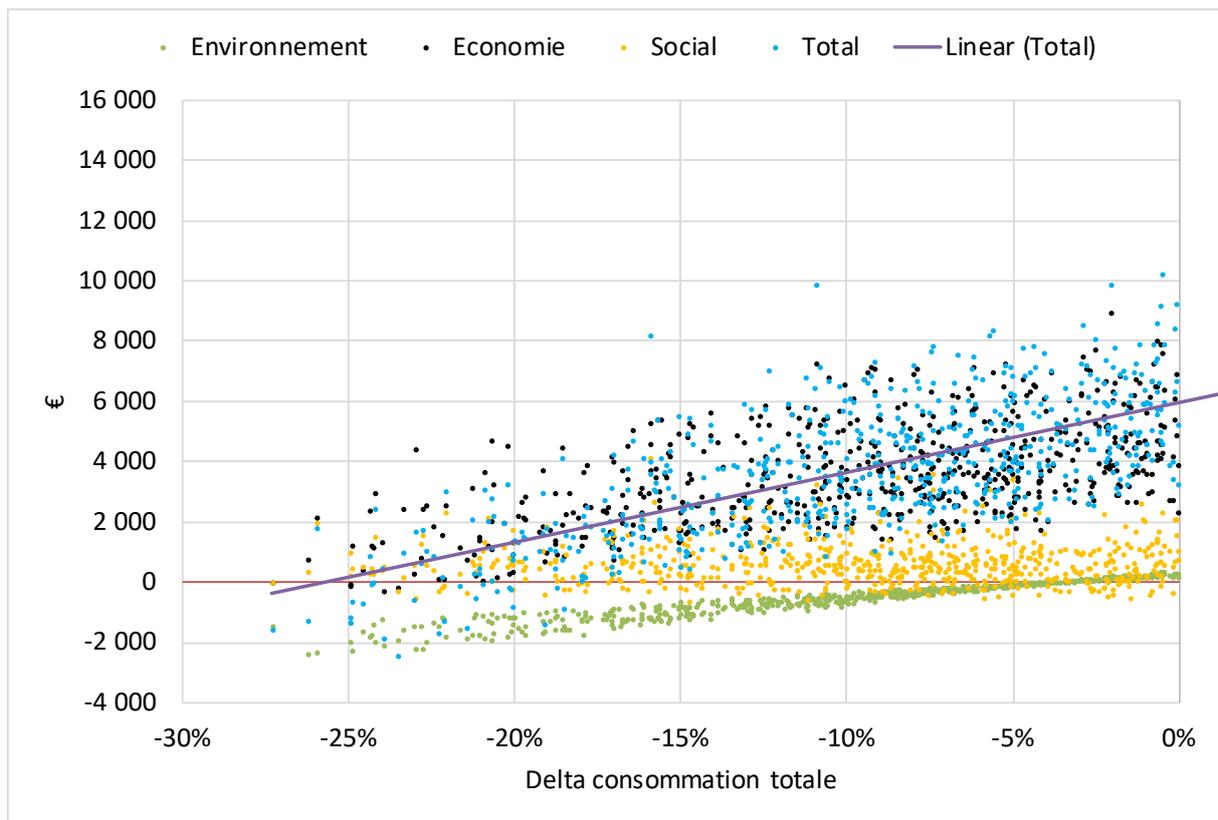


Figure 36 : Résultats sociétaux – 4. PAC air-eau <12 kW

- D'un point de vue sociétal, il est **préférable de réparer plutôt que de remplacer** (sauf si la diminution de consommation totale dépasse 26 %).
- D'un point de vue environnemental, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 3.1 %.
- D'un point de vue économique, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 33.4 %.
- D'un point de vue social, il est généralement préférable de réparer que de remplacer.

## PAC air-air <12 kW

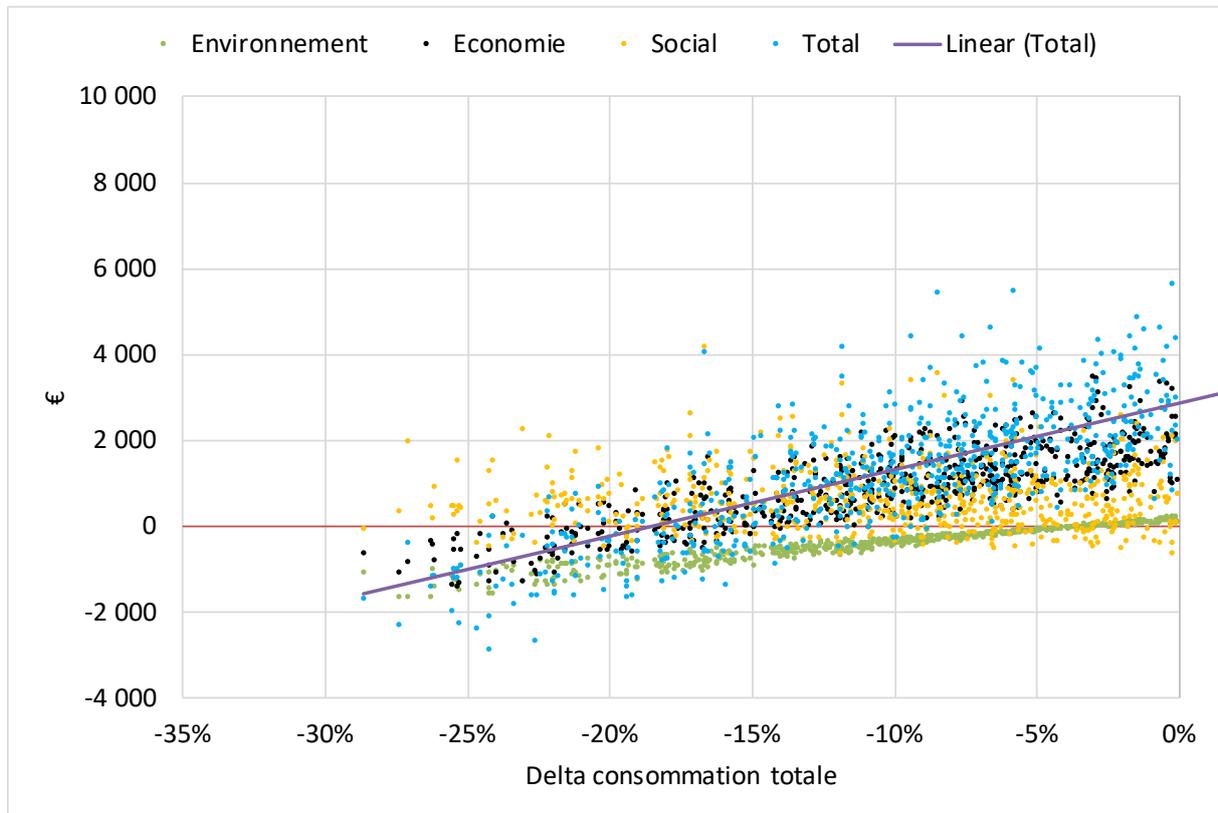


Figure 37 : Résultats sociétaux – 5. PAC air-air <12 kW

- D'un point de vue sociétal, il est **préférable de réparer plutôt que de remplacer** (sauf si la diminution de consommation totale dépasse 19 %).
- D'un point de vue environnemental, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 3.6 %.
- D'un point de vue économique, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 20 %.
- D'un point de vue social, il est généralement préférable de réparer que de remplacer.

## PAC air-air 6 kW

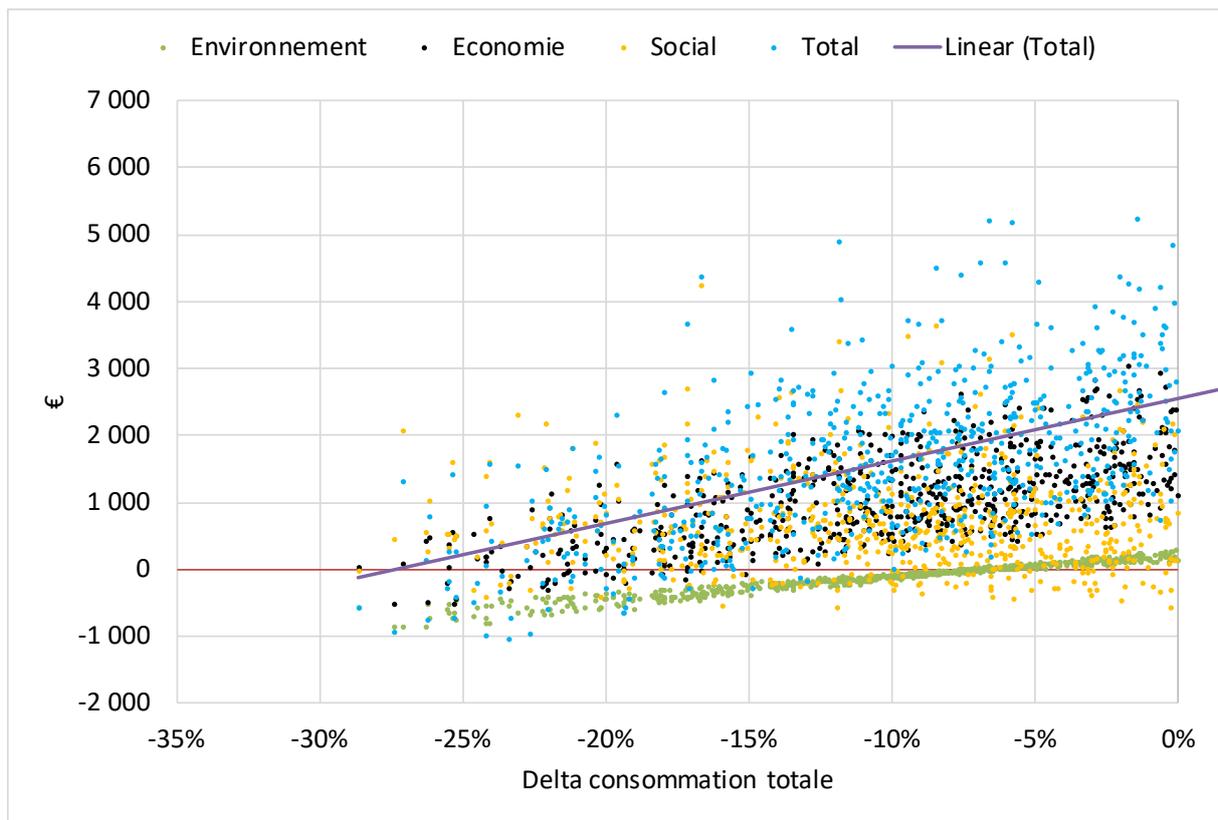


Figure 38 : Résultats sociétaux – 6. PAC air-air 6 kW

- D'un point de vue sociétal, il est **préférable de réparer plutôt que de remplacer** (sauf si la diminution de consommation totale dépasse 27 %).
- D'un point de vue environnemental, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 6.3 %.
- D'un point de vue économique, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 27 %.
- D'un point de vue social, il est généralement préférable de réparer que de remplacer.

## CTA élec

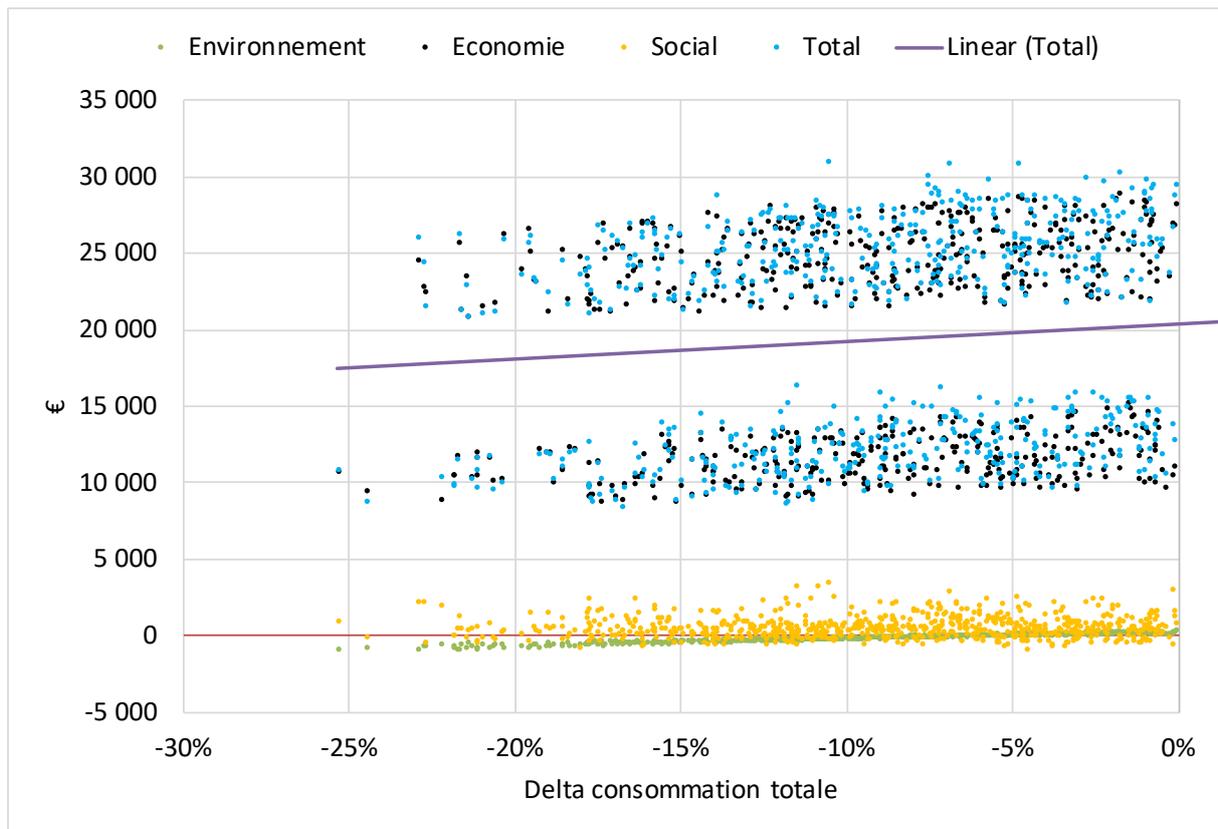


Figure 39 : Résultats sociétaux – 7. CTA élec

- D'un point de vue sociétal, il est toujours **préférable de réparer** que de remplacer.
- L'enjeu économique écrase les autres enjeux.
- D'un point de vue environnemental, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 7.7 %.
- D'un point de vue économique, il est toujours préférable de réparer que de remplacer.
- D'un point de vue social, il est généralement préférable de réparer que de remplacer.

## CTA moteur

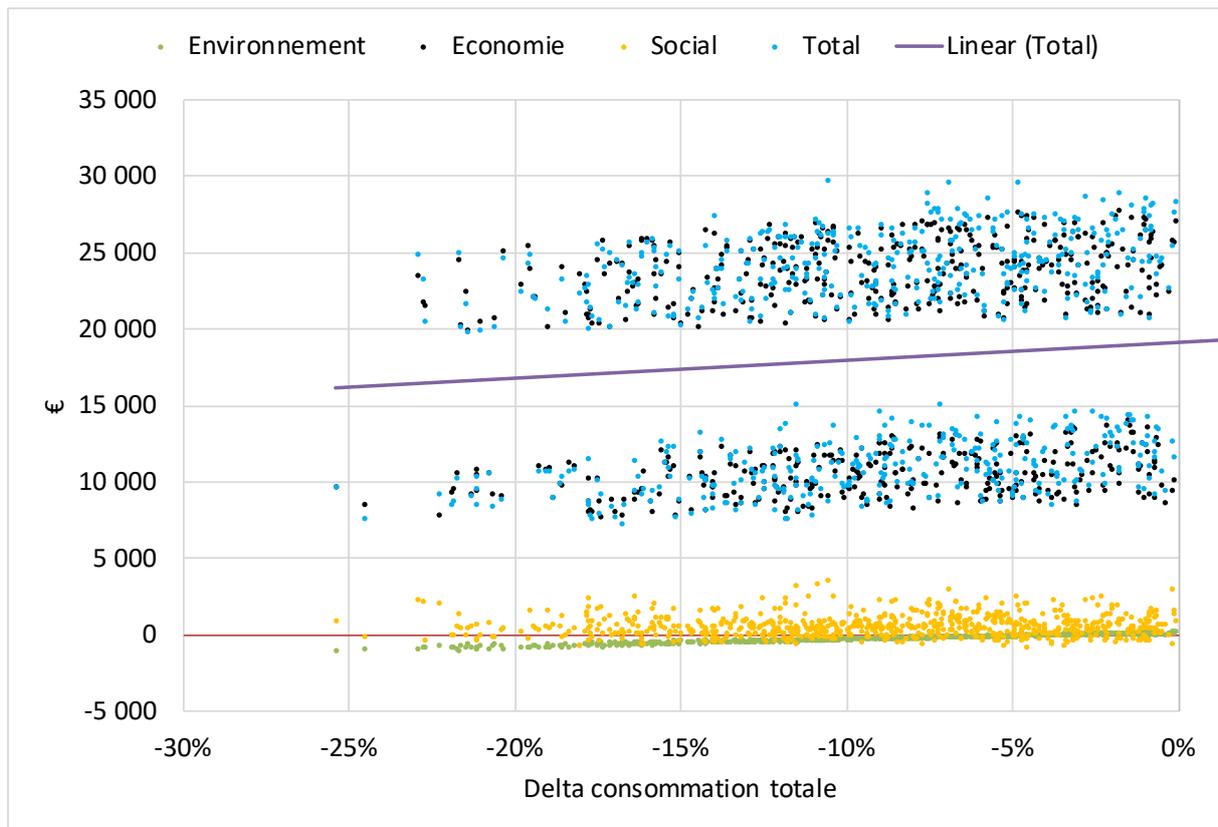


Figure 40 : Résultats sociétaux - 8. CTA moteur

- D'un point de vue sociétal, il est toujours **préférable de réparer** que de remplacer.
- L'enjeu économique écrase les autres enjeux.
- D'un point de vue environnemental, il est préférable de réparer que plutôt de remplacer si la diminution de consommation totale est inférieure à 4.5 %.
- D'un point de vue économique, il est toujours préférable de réparer que de remplacer.
- D'un point de vue social, il est généralement préférable de réparer que de remplacer.

## 5. LIMITES ET RAPPELS

Les principales limites de l'étude sont les suivantes :

- Après la réparation, nous faisons l'hypothèse que les années de vie restantes de l'équipement sont équivalentes à celles sans pannes. C'est une limite de l'étude car certaines réparations pourraient augmenter la durée de vie de l'équipement. Notons que nous évaluons principalement des pannes d'éléments qui ont une durée de vie largement inférieure à l'équipement comme les cartes électroniques (pannes fréquentes de cet élément au bout de 5 à 8 ans)
- La fin de vie des équipements est la fin de vie des équipements gérés par l'éco-organisme Recylum-Ecosystèmes. Si l'équipement ne suit pas de filière de recyclage, les conclusions environnementales en faveur de la réparation (lorsqu'il n'y a pas de gain énergétique grâce au remplacement) seraient renforcées.
- Les conclusions environnementales dans le cas sans gain énergétique grâce au remplacement sont sensibles à la masse et à la composition de l'équipement. Des compositions représentatives (pour un équipement d'une puissance donnée) ont été recherchées (études européenne EuP<sup>29</sup> ou des fiches PEP Ecopassport collective) mais ne sauraient être représentatives de tous les cas individuels rencontrés dans la réalité.
- La consommation énergétique des équipements est calculée selon des formules « théoriques ». En pratique les consommations dépendent de nombreux paramètres : dimensionnement de l'équipement, isolation de l'habitation, habitudes de chauffage ou refroidissement de l'utilisateur...
- Les résultats environnementaux sont présentés pour un indicateur agrégé (qui pondère les différents impacts environnementaux) et trois indicateurs d'impacts potentiels intermédiaires ACV sont présentés en annexe (changement climatique, épuisement des ressources fossiles, épuisement des ressources minérales). D'autres indicateurs d'impacts potentiels intermédiaires ACV sont recommandés par la commission européenne (ils sont au nombre de 16 au total).
- La création d'emplois est évaluée à la marge. Nous n'avons pas évalué des changements extrêmes (e.g. remplacement ou réparation systématique de tous les équipements).

Pour rappel,

- La réparation peut permettre dans certains cas, d'augmenter l'efficacité énergétique de l'équipement par rapport à la situation initiale (remplacement par un circulateur plus performant par exemple)
- C'est bien pris en compte dans l'étude puisqu'on parle en différentiel entre l'équipement réparé et l'équipement neuf envisagé. Pour faire le bilan entre la réparation et le remplacement, il faut donc prendre en compte la performance énergétique de l'équipement réparé et pas celle de l'équipement avant réparation.
- En fonction de la valeur monétaire du CO2 qui est prise en compte, la partie

---

<sup>29</sup> Études préalables à la mise en place des règlements européens sur l'écoconception

environnementale peut peser plus ou moins lourd face à l'économique et le social.

- Dans cette étude, nous avons pris la valeur de 54 €2018 par t CO2eq.
- Dans le dernier rapport de la commission Quinet<sup>30</sup> publié à la fin de cette étude, la valeur de la t CO2eq a été revue à la hausse : 250 € t CO2eq en 2030 et 775 € t CO2eq en 2050.
- Il est souvent fait référence à la valeur du CO2 du système d'échange de quotas d'émission de l'UE (SEQE-UE) mais cette valeur n'est pas pertinente dans une évaluation sociétale car la valeur des quotas est un compromis entre les dommages environnementaux et les enjeux économiques.
- Une valeur du CO2 plus élevée est plus en faveur du remplacement lorsque l'équipement neuf est plus performant.
- Pour éviter les doubles comptages, nous avons choisi de présenter les impacts environnementaux internalisés dans le pilier économiques (cf. 4.1. METHODOLOGIE).

---

<sup>30</sup>[https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2019-rapport-la-valeur-de-l'action-pour-le-climat\\_0.pdf](https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2019-rapport-la-valeur-de-l'action-pour-le-climat_0.pdf)

## 6. CONCLUSIONS

**Conclusion 1 : D'un point de vue sociétal, le choix entre réparation et remplacement dépend principalement de la diminution de la consommation d'énergie totale entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement**

**Conclusion 2 : D'un point de vue sociétal, il est toujours préférable de réparer l'équipement lorsque les performances énergétiques sont identiques entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement**

En l'absence d'amélioration de la performance énergétique, le seul petit avantage au remplacement est le sentiment de tranquillité face au risque de panne. Ce petit avantage est négligeable par rapport aux autres aspects (tous favorables à la réparation).

**Conclusion 3 : D'un point de vue sociétal, lorsque le remplacement permet de réduire la consommation d'énergie par rapport à la réparation, la préférence pour le remplacement dépend de l'équipement et de la diminution de la consommation d'énergie totale grâce aux nouveaux équipements**

Pour les pannes liées aux chaudières, il faut une diminution de 3 à 8 % de consommation pour que le remplacement soit préférable :

- 3 % pour la chaudière en logement collectif.
- 8 % pour la chaudière en maison individuelle.

Pour les pannes liées aux PAC, il faut une forte diminution de consommation pour que le remplacement soit préférable :

- La diminution de consommation doit au moins être de 26 % pour la PAC air-eau <12 pour que le remplacement soit préféré.
- La diminution de consommation doit au moins être de 19 % pour la PAC air-air <12 pour que le remplacement soit préféré.
- La diminution de consommation doit au moins être de 27 % pour la PAC air-air 6 kW pour que le remplacement soit préféré.

Pour les pannes liées à la ventilation, il est toujours préférable de réparer.

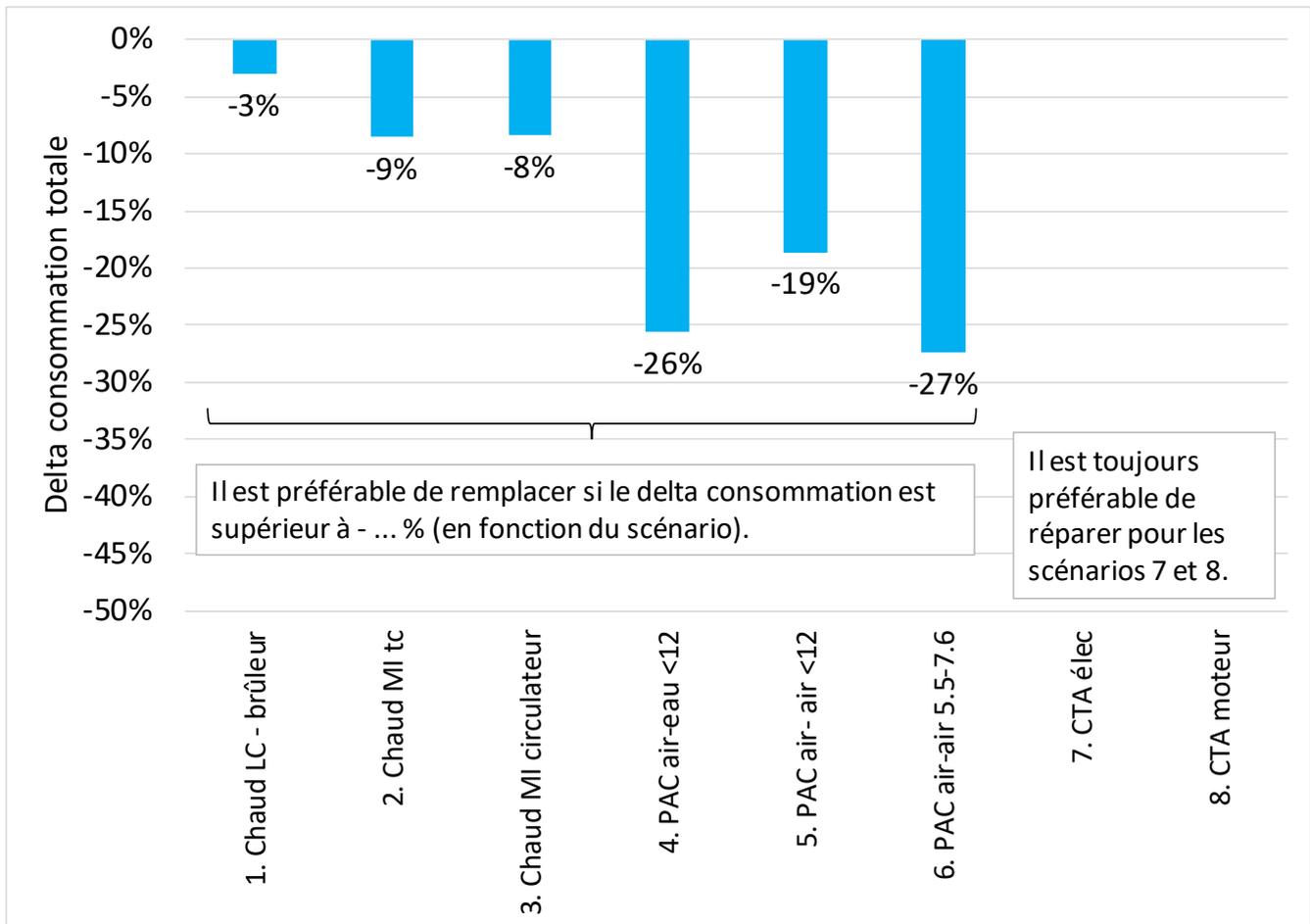


Figure 41 : Delta consommation requis pour que le remplacement soit préférable à la réparation d'un point de vue sociétal

#### Conclusion 4 : Les résultats environnementaux sont essentiellement liés à la phase d'utilisation de l'équipement (consommation d'énergie)

Lorsque le delta de consommation énergétique entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement est nulle c'est l'évitement de production des matières premières de l'équipement neuf qui est le principal contributeur aux résultats environnementaux.

**Conclusion 5 : D'un point de vue environnemental, il est toujours préférable de réparer l'équipement lorsque les performances énergétiques sont identiques entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement (cas le moins courant au regard des règlements actuels qui poussent à l'amélioration des rendements)**

**Conclusion 6 : D'un point de vue environnemental, lorsque le remplacement permet de réduire la consommation d'énergie (même faible) par rapport à la réparation, il est toujours préférable de remplacer l'équipement**

Cette situation est probablement la plus courante car :

- Les performances énergétiques des équipements produisant de la chaleur (et du froid) s'améliorent au fil des années (cf. directive éco-conception et étiquetage)
- Les installations peuvent être surdimensionnées et un remplacement par du neuf peut permettre un redimensionnement adéquat puisqu'il y a un retour d'expérience sur les consommations du bâtiments (le surdimensionnement pouvant être lié à une mauvaise estimation lors de la construction du bâtiment ou à un changement de performances énergétique du bâtiment grâce à une isolation postérieure à l'installation de l'équipement de production de chaleur)
- Les nouveaux équipements de ventilation sont dotés de fonctionnalités de régulation plus avancées, ce qui permet de faire des économies d'énergie.

Le cas où le remplacement dégrade l'efficacité énergétique de l'équipement n'est pas calculé ici mais il ne présenterait aucune valeur ajoutée. En effet comme la réparation est déjà systématiquement préférable lorsque les performances énergétiques sont inchangées, elle l'est d'autant plus si les performances de l'équipement de remplacement sont moins bonnes que celles de l'équipement réparé.

D'un point de vue environnemental, la réparation pourrait devenir plus intéressante que le remplacement dans le futur lorsque les technologies n'évolueront plus et que les rendements des équipements seront stabilisés.

Les points de changement de conclusion sont présentés par indicateur dans les deux tableaux suivants :

	Cout environnementaux totaux		Changement climatique	
	Delta consommation d'énergie (kWh)	Différence consommation totale (%)	Delta consommation d'énergie (kWh)	Différence consommation totale (%)
sc.1. Chaud BLC brûleur	2735	-0.2%	734	0.01%
sc.2. Chaud MI Tab. Cde.	1975	-1.0%	247	-0.1%
Sc.3. Chaud MI circulateur	2328	-1.2%	364	-0.2%
Sc.4. PAC MI air-eau <12 kW	3111	-3.1%	5281	-5.5%
Sc. 5. PAC MI air-air <12 kW	2290	-3.5%	3143	-4.9%
Sc. 6. PAC BLC air-air 6 kW	2296	-6.1%	3157	-8.4%
Sc.7. CTA élec	4108	-8.3%	6815	-13.8%
Sc.8. CTA moteur	2420	-4.8%	4494	-9.1%

**Aide à la lecture du tableau :** Pour le scénario 2 Chaud MI tab. cde., si en remplaçant la chaudière (par rapport au cas où on la répare), la consommation énergétique est réduite de plus de 1 975 kWh ou la différence de consommation entre les deux équipement est de plus de 1% sur toute la durée de vie restante de l'équipement (*durée de vie prévisible de l'équipement – temps avant arrivée de la panne*), il est préférable de remplacer la chaudière.

	Epuisement des ressources fossiles		Epuisement des ressources minérales	
	Delta consommation d'énergie (kWh)	Différence consommation totale (%)	Delta consommation d'énergie (kWh)	Différence consommation totale (%)
sc.1. Chaud BLC brûleur	1049	-0.02%	50179	-4.4%
sc.2. Chaud MI Tab. Cde.	298	-0.1%	Non pertinent, les résultats ne sont pas sensibles à ce paramètre	
Sc.3. Chaud MI circulateur	415	-0.2%		
Sc.4. PAC MI air-eau <12 kW	304	0.1%	15952	-17%
Sc. 5. PAC MI air-air <12 kW	144	0.2%	4218	-6.7%
Sc. 6. PAC BLC air-air 6 kW	144	0.0%	4255	-11%
Sc.7. CTA élec	555	-0.9%	10839	-21%
Sc.8. CTA moteur	426	-0.6%	3446	-6.8%

**Conclusion 7 : D'un point de vue économique, il est toujours préférable de réparer l'équipement lorsque les performances énergétiques sont identiques entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement.**

**Conclusion 8 : D'un point de vue économique, lorsque le remplacement permet de réduire la consommation d'énergie par rapport à la réparation, la préférence pour le remplacement dépend de l'équipement et de la diminution de la consommation d'énergie totale grâce aux nouveaux équipements.**

Pour les pannes liées aux chaudières, il faut une diminution de 4 à 9 % de consommation pour que le remplacement soit préférable :

- 4 % pour la chaudière en logement collectif.
- 9 % pour la chaudière en maison individuelle.

Pour les pannes liées aux pompes à chaleur, il faut une diminution de 20 à 33 % de consommation pour que le remplacement soit préférable :

- 33 % pour la PAC air-eau <12 kW
- 20 % pour la PAC air-air <12 kW
- 27 % pour la PAC air-air 6 kW

Pour les pannes liées à la ventilation, il est toujours préférable de réparer.

**Conclusion 9 : D'un point de vue social, la réparation est préférée au remplacement pour tous les équipements étudiés sauf les pannes chaudières des maisons individuelles**

En général, l'impact négatif de l'attente supplémentaire du remplacement domine l'impact positif de la tranquillité du remplacement. Par contre, l'effet tranquillité domine le désagrément lié à l'attente dans le cas des pannes chaudières pour les maisons individuelles. Ceci s'explique par le fait que le bénéfice lié à la tranquillité est plus élevé pour les maisons individuelles car il n'y a pas de syndic qui s'occupe de coordonner la réparation ou le remplacement.

## 7.RECOMMANDATIONS

### **Recommandation 1 : Obliger les producteurs à mettre à disposition les pièces détachées pendant une période suffisamment longue, dans un délai et à un prix raisonnables**

Afin de favoriser la réparation, les pièces détachables doivent être disponibles dans un délai raisonnable et à un prix raisonnable.

Le choix des moyens pour atteindre ce résultat doivent être laissés aux producteurs car il existe plusieurs possibilités en fonction des types de pièces détachés, en particulier :

- Standardisation des pièces de rechange avec gestion d'un stock
- Imprimante 3D avec flux tendu

### **Recommandation 2 : Favoriser l'accès à l'information et aux compétences pour permettre le diagnostic de la panne et sa réparation**

Pour favoriser la réparation :

- Le consommateur doit pouvoir accéder aux informations permettant de contacter un réparateur compétent pour diagnostiquer la panne.

L'accès à l'information peut être favorisé par plusieurs moyens, par exemple une liste d'entreprises de réparation compétentes diffusée par le fabricant.

- Le réparateur doit pouvoir diagnostiquer la panne dans un délai raisonnable afin de pouvoir réparer l'équipement lorsque c'est pertinent.

Le diagnostic peut être facilité de plusieurs manières : appareil électronique, informations fournies par le fabricant...

### **Recommandation 3 : Informer les experts des bénéfices sociétaux de la réparation et du remplacement en fonction des performances énergétiques**

- Avec des performances énergétiques identiques, il est toujours préférable de réparer d'un point sociétal.
- Dans le cas d'une amélioration de la performance énergétique, le remplacement peut être préférable d'un point de vue sociétal, particulièrement pour les chaudières.

Dans le dernier rapport de la commission Quinet<sup>31</sup>, la trajectoire du prix de la tonne de CO<sub>2</sub>eq a été revue à la hausse (775 € t CO<sub>2</sub>eq en 2050) et le remplacement serait d'autant plus favorisé d'un point de vue sociétal lorsque la performance énergétique s'améliore.

<sup>31</sup> [https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2019-rapport-la-valeur-de-l'action-pour-le-climat\\_0.pdf](https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2019-rapport-la-valeur-de-l'action-pour-le-climat_0.pdf)

# ANNEXES

## ANNEXE 1 : ACTEURS CONTACTES POUR LES FREINS ET LES LEVIERS

Le tableau ci-dessous présente les acteurs contactés et ceux avec lesquels nous avons pu avoir un entretien téléphonique.

Organisation	Contact	Entretien réalisé
Viessmann	Xavier Fort + Eric MOUGIN	X
LINDAB	Michaël BLAZY	X
UNICLIMA	Jérôme MALDONADO + Emmanuelle Brière + Fabrice LAMARRE + Valerie LAPLAGNE	X
Bureau Veritas	Ludovic DUMARQUEZ	X
CSTB	Sylvain Laurenceau	X
COSTIC	Marie Hélène HUZÉ	X
Albert &Compagnie	Clément NATAF + Marc SÉRIEIS	X
FMB Groupama SA	Claude LEGALL	X
Eurexo - PRUNAY	Catherine Million (COFIL)	X
Saretec	Christophe GADOULEAU + Christophe ANDRÉ	X
FFA	Anne-Lise GILLET (COFIL)	X
Eurisk	Daniel OISEL (COFIL)	X
Backacia (ex-batiphoenix)	Corentin LE FAUCHEUR	X
Circolab	Thierry LAQUITAINE	X
Fnac Darty	Enrique MARTINEZ	
AERECO	Marc JARDINIER	
ATLANTIC	Anne-Laure SIMON	
ALDES	Damien LABAUME	
ANJOS	Nicolas DUFOUR	
UECF-FFB	Nicolas VINCENT + Zied LASSOUED + Bruno LANNERÉE	
CAPEB	Hervé NAVES (COFIL)	
APAVE	Marc Granier	
CETIAT	Laure MOURADIAN + Dominique HANTZ	
Electro-Standard	Franck DEU-PHILIPPE	
Maisoning Tours à St Pierre des Corps		
Manexi	Nicolas MENACHE	
BET GOTECH	Monsieur Avelino GOMEZ	
Cabinet SATEC	M. ROTH	

Tableau 20 - Participants au groupe de travail

## ANNEXE 2 : GUIDE D'ENTRETIEN

### Note :

- Il s'agit de la version la plus large du guide d'entretien, certaines parties sont supprimées en fonction des acteurs -> les acteurs concernés sont indiqués en orange avant chaque partie / point :
  - A = Architecte
  - CET = Centre technique
  - COT = Contrôleur technique
  - F = Fabricant et syndicat des producteurs

- FDA = Fédération des assureurs
- PR = Plateforme de réemploi des composants de bâtiments
- R = Réparateur
- SEA = Société d'expertise en assurances
- SEDI = Société d'expertise de diagnostics et d'ingénierie de la construction
- SVE = Société de services en efficacité énergétique
- SI = Syndicat d'installateurs
- Pour les 3 premières parties, les éléments issus de la phase 1 sont en italique et les questions sont en gras

### 1. Freins à la réparation identifiés en phase 1 (CET, F, PR, R, SEA, SI)

- ➔ **Avez-vous des commentaires / réactions par rapport aux freins ci-dessous pour une chaudière / pompe à chaleur (PAC) / centrale de traitement d'air (CTA) et ventilation mécanique contrôlée (VMC) ?**
- ➔ **Enjeux différents pour des équipements d'une maison individuelle et des équipements pour des logements collectifs / bureaux / tertiaires ? Si oui, pourquoi ?**

- Conception de l'équipement
  - Impossibilité de démontage
  - Incompatibilités / rupture technologique
- Coûts / délais
  - Coûts de la réparation
  - Délai de réparation et donc d'immobilisation de l'équipement
- Connaissances / compétences
  - Disponibilité des pièces détachées et des informations nécessaires aux réparateurs
  - Disponibilité d'informations sur les possibilités de réparation pour les consommateurs
  - Manque de réparateurs qualifiés
  - Manque de compétence techniques de l'entreprise / réparateur qui intervient pour remettre en état l'équipement
- Service après-vente
  - Proposition du fabricant de remplacer le sous-ensemble endommagé mais pas de réparer
- Responsabilité
  - Attribution des responsabilités en cas de dommage à la suite d'une réparation

## 2. Préconisations issues de la phase 1 du projet (CET, COT, F, R, SEA, SEDI, SI)

- Les pièces devront être fabriquées selon les normes de préconisations suivantes :
  - Ne pas utiliser de colle ou autre type de fixation qui pourrait impliquer la destruction du matériel lors d'une ouverture
  - Le nombre de vis ou autre fixation devra être minimisé le plus possible afin de ne pas rendre l'ouverture fastidieuse.
  - Les vis et fixations devront être standardisées / normalisées afin que chaque marque utilise les mêmes, pour que la réparation ne nécessite pas un outil différent selon la marque de la pièce.
  - Créer pour les pièces électroniques faisant appel à des technologies complexes, une valise de contrôle permettant d'établir un diagnostic de la pièce et des pannes qu'elle présente.
  - Interdire le poinçonnage et l'utilisation de rivets.
    - ➔ **Beaucoup de pièces répondent-elles déjà à ces préconisations pour une chaudière / PAC / CTA et VMC ?**
    - ➔ **Envisageable pour une grande partie des pièces pour une chaudière / PAC / CTA et VMC ?**
    - ➔ **Enjeux différents pour des équipements d'une maison individuelle et des équipements pour des logements collectifs / bureaux / tertiaires ? Si oui, pourquoi ?**
- Standardiser / normaliser les systèmes d'ouverture et de fermeture du matériel des équipements
  - ➔ **Envisageable pour une grande partie des pièces pour une chaudière / PAC / CTA et VMC ?**
  - ➔ **Enjeux différents pour des équipements d'une maison individuelle et des équipements pour des logements collectifs / bureaux / tertiaires ? Si oui, pourquoi ?**
- Standardiser / normaliser les pièces détachées
  - ➔ **Envisageable pour une grande partie des pièces pour une chaudière / PAC / CTA et VMC ?**
  - ➔ **Enjeux différents pour des équipements d'une maison individuelle et des équipements pour des logements collectifs / bureaux / tertiaires ? Si oui, pourquoi ?**
- Mettre à disposition des pièces de rechange durant un certain temps qui dépendrait de la durée de vie moyenne du bien.

- Pour chaque pièce, combien de pièces de rechange (neuves ou de réemploi) sont nécessaires par 100 équipements vendus ? Autrement dit, quelle proportion des équipements auront une panne au cours de leur vie qui nécessitera le remplacement de la pièce ? **R, PR**
- Quel délai de livraison ? (Éventuellement variable selon le type de pièce, d'équipement, maisons individuelle / logement collectif / bureaux / tertiaire ...) **R, PR**
- Que coûtent au fabricant les pièces de rechange ?
  - Production (pièce standardisée / spécifique par marque)
  - Stockage
  - Pertes (pièces produites non utilisées)
  - Transport
  - Question / administration
- La fabrication sur commande (à la demande) des pièces endommagées (hors cartes électroniques) à l'aide d'une imprimante 3D
  - Envisageable pour une grande partie des pièces pour une chaudière / PAC / CTA et VMC ?
  - Enjeux différents pour des équipements d'une maison individuelle et des équipements pour des logements collectifs / bureaux / tertiaires ? Si oui, pourquoi ?
  - Quel délai de livraison ?
  - Quel coût ?

### 3. Actions de promotion/soutien à la réparation identifiées en phase 1 (tous les acteurs)

- Avez-vous des commentaires / réactions par rapport aux actions ci-dessous pour une chaudière / PAC / CTA et VMC ?
- Quels types de moyens devraient être mis en œuvre pour atteindre ces objectifs : imposition, incitants économiques (soutien de l'état, incitations des assureurs (pas de franchise, ...), communication (via les médias), ... ?
- Enjeux différents pour des équipements d'une maison individuelle et des équipements pour des logements collectifs / bureaux / tertiaires ? Si oui, pourquoi ?

- Conception de l'équipement
  - Inciter les fabricants à standardiser / normaliser l'accès aux pièces électroniques susceptibles d'être endommagées au cours de leurs existences d'utilisation
  - Rendre les pièces électroniques les plus indépendantes possibles les unes des autres, pour optimiser la réparation et en facilitant le démontage
- Disponibilité des pièces détachées pendant la durée de vie moyenne pour laquelle le produit a été conçu
  - Imposer aux fabricants la mise à disposition des pièces détachées à un coût raisonnable
  - Inciter les fabricants à produire les pièces détachées de remplacement concernées
  - Développer les réseaux de collecte et de mise à disposition
  - Créer une filière « d'échange standard » qui permettrait de récupérer et réinstaller les pièces non endommagées d'un système irréparable
  - Favoriser les échanges standards des pièces
- Réseau / certification réparation
  - Développement, sous label, d'un réseau de réparateurs agréés et rétribués directement par les compagnies d'assurances, afin de garantir une traçabilité et une maîtrise le plus large possible des coûts de réparation
  - Créer une certification de réparation
- Connaissances / compétences
  - Habilitier des artisans à la réparation en nature sur des biens dit immobiliers par destination (= *bien attaché à la maison (au mur, toit, sol) qui ne pourra pas être emmené lors d'un déménagement*)
- Assurances / garanties
  - Décennale mieux adaptée à la démarche de réparation d'équipements techniques pour les artisans
  - Inciter à la réparation dans les contrats valeur à neuf
  - Inciter l'assuré à la réparation et à l'autoréparation par des bonus
  - Développer des outils de diagnostic (suivi d'un pilote) permettant une plus grande adéquation entre les réparations effectuées et les garanties contractuelles
  - Augmenter la durée des garanties légales en fonction des équipements et de leurs composants
  - Mettre en place un système garantissant une durée de vie minimale des équipements achetés
  - Former les artisans pour leur donner des habilitations de réparation de leurs équipements et créer un contrat « pro »
- Affichage / communication
  - Créer un label volontaire d'affichage de la durée de vie des équipements

- Développer des labels de réparabilité communautaires de type Ecolabel européen, et inciter au volontariat à adhérer à ces labels
- Inciter les fabricants à publier des chiffres sur les pannes
- Convaincre le consommateur à renoncer aux produits irréparables

#### 4. Impacts économiques, environnementaux et sociaux

##### Equipement neuf (chaudière / PAC / CTA et VMC)

- *A, CET, F, SEA, SEDI, SI* Quelle valeur d'achat moyenne selon la taille des équipements neufs ?
- *A, F, SEA, SEDI, SI* Quel temps/coût d'installation et quelle qualification des emplois ?
- *CET, COT, F, SEDI, SI* Quel poids et quelles sont les matières principales de chaque composant de l'équipement ?
- *A, CET, COT, F, SEA, SEDI, SVE, SI* Quelle consommation moyenne de l'équipement durant sa phase d'utilisation ? Evolution dans le temps ? Quelles pièces sont susceptibles d'affecter le rendement si elles fonctionnent moins bien ? (y a-t-il un risque que l'utilisation d'une pièce de seconde main ou réparée induise un rendement moindre de l'équipement ?)
- *CET, COT, F, SEDI, SEA, SI* Quelle durée de vie moyenne de l'équipement avant la première panne et jusqu'au remplacement intégral ?
- *A, CET, F, FDA, PR, SEA, SEDI* Lors de la construction / rénovation d'un bâtiment, les prescriptions contiennent-elles parfois des critères de réparabilité ou d'utilisation préférentielle d'équipements de seconde main ?

**→ Enjeux différents pour des équipements d'une maison individuelle et des équipements pour des logements collectifs / bureaux / tertiaires ? Si oui, pourquoi ?**

##### Equipement endommagé et réparé (chaudière / PAC / CTA et VMC)

- *CET, COT, F, R, SEA, SEDI, SI* Maintenance des équipements : quelle fréquence ? opérateurs certifiés ?
- *COT, F, R, SEA, SEDI, SI* Quels sont les acteurs de la réparation existants : indépendants, entreprises, économie sociale et solidaire, réseaux ... ? Sont-ils certifiés ?
- *COT, F, R, SEA, SEDI, SI* Quel coût de la réparation : pièces /composants à changer (neuves ou de réemploi) ou réparer et main d'œuvre ? Quel % par rapport au prix total de l'équipement ?
- *COT, F, R, SEDI, SI* Quel temps de réparation
- *COT, F, R, SEDI, SI* Quelle qualification des emplois ?
- *COT, F, R, SEDI, SI* Quelle composition et poids moyens des pièces réparées ?
- *COT, F, R, SEDI, SI* Quelle origine des pièces remplacées/réparées : pièce neuve, pièce imprimée en 3D, pièce de seconde main ... ?
- *COT, F, R, SEDI, SI, SVE* Quelle consommation moyenne de l'équipement réparé ? Perte de

rendement après réparation ? Evolution dans le temps ?

- *COT, F, R, SEDI, SI* Quelle durée de vie moyenne après réparation ?
- *COT, F, R, SEA, SEDI, SI* Quelle est la part des d'équipements endommagés réparés à ce jour ?
- *COT, F, FDA, PR, R, SI* Existe-t-il une (des) plateforme(s) de récupération de pièces / matériels endommagés en vue de les réemployer dans un deuxième temps ?

➔ **Enjeux différents pour des équipements d'une maison individuelle et des équipements pour des logements collectifs / bureaux / tertiaires ? Si oui, pourquoi ?**

**Equipement endommagé non réparé (chaudière / PAC / CTA)**

- *F, PR, R, SI* Quelle filière de traitement de fin de vie de l'équipement actuellement ?

➔ **Enjeux différents pour des équipements d'une maison individuelle et des équipements pour des logements collectifs / bureaux / tertiaires ? Si oui, pourquoi ?**

### ANNEXE 3 : GROUPE DE TRAVAIL

Les Participants au groupe de travail sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Nom	Organisation
Christophe André	SARETEC
Albert Bacqueville	COVEA - FFA
Michaël Blazy	LINDAB - UNICLIMA
Sylvain Breuillé	FFB
Frédéric Boyer	Allianz
Gérard Charney	AFPAC
Mélanie Coppens	RDC Environment
Bernard De Caevel	RDC Environment
Ludovic Dumarquez	Bureau Veritas Construction
Christel Ebner	AQC
Erwann Fangeat	ADEME
Anne-Lise Gillet	FFA
Stephen Jamenot	AXA France
Arnaud Meyer	AQC
Catherine Million	PRUNAY
Hervé Naves	CAPEB
Florian Rasse	CSTB
Mariángel Sánchez	AQC

Tableau 21 - Participants au groupe de travail

## ANNEXE 4 : COMPOSITION DES EQUIPEMENTS

Équipement	Chaudière	Chaudière	Pompe à chaleur	Pompe à chaleur	CTA
Habitat	Maison individuelle	Logement collectif	Individuel	Individuel	Collectif
Description équipement	Chaudière individuelle murale 24 kW	Chaudière collective au sol 115 kW	PàC air/air (1 unité extérieure et 3 unités intérieures)	PàC air/eau	Centrale de traitement d'air simple flux
Energie	Gaz	Fioul	Electricité	Electricité	Electricité
Acier	62%	31%	47%	66%	88%
Acier inoxydable	6%	1%	2%	5%	0%
Fonte d'acier	3%	64%	0%	0%	0%
Aluminium	0%	0%	2.4%	2.9%	4.5%
Fonte d'aluminium	4%	0%	2.4%	2.9%	4.5%
Cuivre	9%	0%	24%	12%	1.5%
Ferrite	0%	0%	0%	0%	0%
Laiton	4%	0%	1%	1%	0%
Polypropylène (PP)	8%	2%	4%	1%	0%
Polystyrène (PS)	0%	0%	6%	2%	0%
Polychlorure de vinyle (PVC)	0%	0%	0%	0%	0.14%
Polycarbonate (PC)	0%	0%	0%	0%	0.04%
Polyéthylène (PE)	0%	0%	2%	2%	0.00%
Acrylonitrile butadiène styrène (ABS)	0%	0%	4%	0%	0%
Polyamide (PA)	0%	0%	0%	0%	0.2%
Polyamide 6 (renforcé 30% fibre de verre)	0%	0%	0%	0%	0.07%
Polyamide 6.6 (renforcé 30% fibre de verre)	0%	0%	0%	0%	0.56%
Autres plastiques	1%	0%	0%	0%	0%
Isolant (mousse polyuréthane)	2%	1%	0%	0%	0%
Silicon	0%	0%	0%	0%	0.10%
Caoutchouc	0%	0%	0%	1%	0.11%
Carte électronique (tableau de commande)	2%	0%	2%	1%	0.24%
Gaz réfrigérant R410A	0%	0%	3%	1%	0%
Gaz réfrigérant R407C	0%	0%	0%	1%	0%

<b>Masse totale de l'équipement (hors emballages)</b>	<b>45 kg</b>	<b>221 kg</b>	<b>84 kg</b>	<b>150 kg</b>	<b>334 kg</b>
Source	[1]	[1]	[2]	[3]	[4] & [5]

*Composition des équipements neufs et remplacés*

[1] : Preparatory study on Eco-design of Boilers, European Commission, september 2007 (carried out by VHK) – Task 5

[2] : Profil Environnemental Produit Collectif - Pompe à chaleur AIR/AIR assurant le chauffage en logement individuel (PEP ecopassport n° UNIC-00018-V01.01-FR) - UNICLIMA - Aout 2018

[3] : Profil Environnemental Produit Collectif - Pompe à chaleur AIR/EAU assurant le chauffage en logement individuel (PEP ecopassport n° UNIC-00017-V01.01-FR), UNICLIMA, Août 2018

[4] : Profil Environnemental Produit - Centrale de traitement d'air simple flux Batterie thermodynamique BTH Split (PEP Ecopassport n°SCGA-00067-V01.01-FR) - Atlantic - juin 2016

[5] : Profil Environnemental Produit Collectif - caisson de ventilation double flux tertiaire avec batterie à eau chaude - UNICLIMA, juillet 2018

Équipement	Circulateur intégré 90W	Bruleur	Moteur CTA (Moteur de ventilateur roues libres centrifuges)
Acier	0%	32.3%	43.8%
Acier inoxydable	0%	0.8%	0%
Fonte d'acier	67.9%	66.2%	0%
Fonte d'aluminium	8.9%	0%	45.3%
Cuivre	14.3%	0.4%	7.8%
Laiton	0%	0.3%	0%
Polypropylène (PP)	7.2%	0%	0%
Polyamide	0%	0%	3.2%
Autres plastiques	1.7%	0%	0%
<b>Masse totale de l'équipement (hors emballages)</b>	<b>2.048 kg</b>	<b>Entre 16 et 20 kg</b>	<b>Entre 35 et 45 kg</b>
Source	[1]	[2]	[3]

#### Composition des pièces de remplacement

[1] : EUP Lot 11: Circulators in buildings, European Commission (carried out by AEA Energy & Environment), February 2008

[2] : Masse totale basée sur un bruleur de marque De Dietrich modèle M 200 S<sup>32</sup> (bruleur d'une puissance de 60 à 125 kW). Composition estimée sur base de nomenclature de la chaudière : uniquement les parties métalliques conservées pour estimer la composition du bruleur

[3] : EuP Lot 11: Fans for ventilation in non residential buildings Final Report, Fraunhofer, February 2008 (Product category 4)

## ANNEXE 5 : PRESENTATION DE RANGE-LCA

Le logiciel utilisé pour calculer les résultats est RangeLCA (outil développé par RDC Environment).

Le logiciel calcule automatiquement :

- Les résultats moyens d'impact correspondant à la moyenne des résultats obtenus pour l'ensemble des combinaisons aléatoires de paramètres ;
- Les résultats obtenus pour chacune des combinaisons de paramètres (par exemple, 1000 combinaisons) ; ces résultats peuvent être portés en graphe en fonction de la valeur d'un des paramètres variables du modèle ; ces graphes dits « Range » permettent d'évaluer la sensibilité des résultats par rapport au paramètre mis en abscisse ;
- Le classement de l'ensemble des paramètres par ordre décroissant de sensibilité du modèle ; le logiciel permet ainsi de déterminer la sensibilité des différents résultats à chaque paramètre variable du modèle, tous les autres paramètres restant variables (et non pas, classiquement, tous les autres paramètres étant fixes).

Ce type de résultats permet de s'assurer une analyse précise et complète du système étudié. En effet, le logiciel permet d'étudier un grand nombre de scénarios possibles.

En pratique, cela permet de :

- Créer des graphes « Range » pour :

<sup>32</sup> [http://fr.dedietrich-heating.be/index.php/produits/gammes\\_de\\_produits/bruleurs/fioul\\_petite\\_moy\\_puiss/m\\_200\\_s](http://fr.dedietrich-heating.be/index.php/produits/gammes_de_produits/bruleurs/fioul_petite_moy_puiss/m_200_s)  
Agence Qualité Construction · 2019

- Identifier les résultats possibles (valeurs minimum et maximum) ;
  - Évaluer la probabilité des scénarios étudiés ;
  - Exprimer sous forme de graphes, la sensibilité des résultats pour un paramètre précis (pente de droite de régression linéaire).
- Déterminer tous les liens de causalité entre les variables du modèle ;
  - Identifier le point critique (ou zone critique) d'inversion des conclusions ;
  - Identifier la liste des paramètres les plus sensibles (automatiquement calculés par le logiciel).

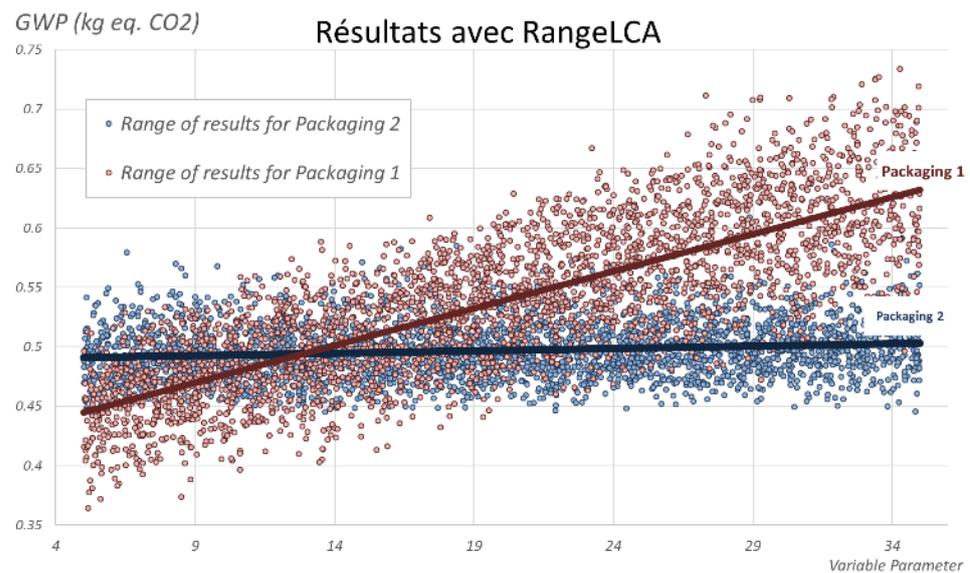


Figure 42 : Exemple de graphique « Range » obtenu avec RangeLCA

Les clés d'interprétation des résultats sont les suivants :

- Chaque point correspond à un résultat pour un ensemble spécifique de paramètres fixes. Ainsi, tous les résultats correspondant à tous les paramètres potentiels de combinaison de variables du modèle sont représentés sur cette figure ;
- Plus la ligne de tendance est raide, plus les résultats sont sensibles au paramètre présenté sur l'axe de la coordonnée X ;

Le degré de dispersion verticale (largeur de la bande de points) correspond directement à l'importance relative de la variabilité résiduelle.

**ANNEXE 6 : ENQUETES REALISEES****Sondage réparation chauffage**Description du formulaire

---

**1. En période hivernale (gel la nuit), en cas de panne de votre chauffage, combien seriez-vous prêt à payer en plus pour qu'un réparateur vienne chez vous 1 JOUR plus tôt ?**

Réponse courte  
.....

**2. Même question, mais pour qu'il vienne 7 JOURS plus tôt ?**

Réponse courte  
.....

**3. Votre chaudière de 5 ans tombe en panne. Le chauffagiste vous offre deux options, toutes les deux avec la même période de garantie : réparer votre chaudière ou installer une chaudière neuve. Combien seriez-vous prêt à payer en plus pour une chaudière neuve ?**

Réponse courte  
.....

**4. Quelle est la classe de revenu net de votre ménage ?**

- Moins de 2 000€ par mois
- Entre 2 000 et 5 000€ par mois
- Plus de 5 000€ par mois

**5. Combien de personnes vivent dans l'hébergement ?**

Réponse courte  
.....

**6. Avez-vous eu un problème avec votre chauffage dans les 3 derniers mois ?**

- Oui
- Non

## Sondage réparation climatisation

Description du formulaire

---

En période estivale (canicule) en cas de panne de votre climatisation, combien seriez-vous prêt à payer en plus pour que le réparateur vienne chez vous 1 JOUR plus tôt ?

Réponse courte

.....

Même question, mais pour qu'il vienne 7 JOURS plus tôt ?

Réponse courte

.....

Quelle est la classe de revenu net de votre ménage ?

- Moins de 2 000€ par mois
- Entre 2 000 et 5 000€ par mois
- Plus de 5 000€ par mois

## ANNEXE 7 : RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX ADDITIONNELS

Contrairement à l’affichage « traditionnel » des résultats environnementaux » et dans un but de se conformer au mode de présentation des résultats économiques et sociaux

- Les impacts avec un signe positif (+) représentent des bénéfices pour l’environnement (impacts évités)
- Les impacts avec un signe négatif (-) représentent des contributions aux impacts environnementaux (par exemple des émissions vers l’air ou des consommations de ressources)

### 1. Changement climatique

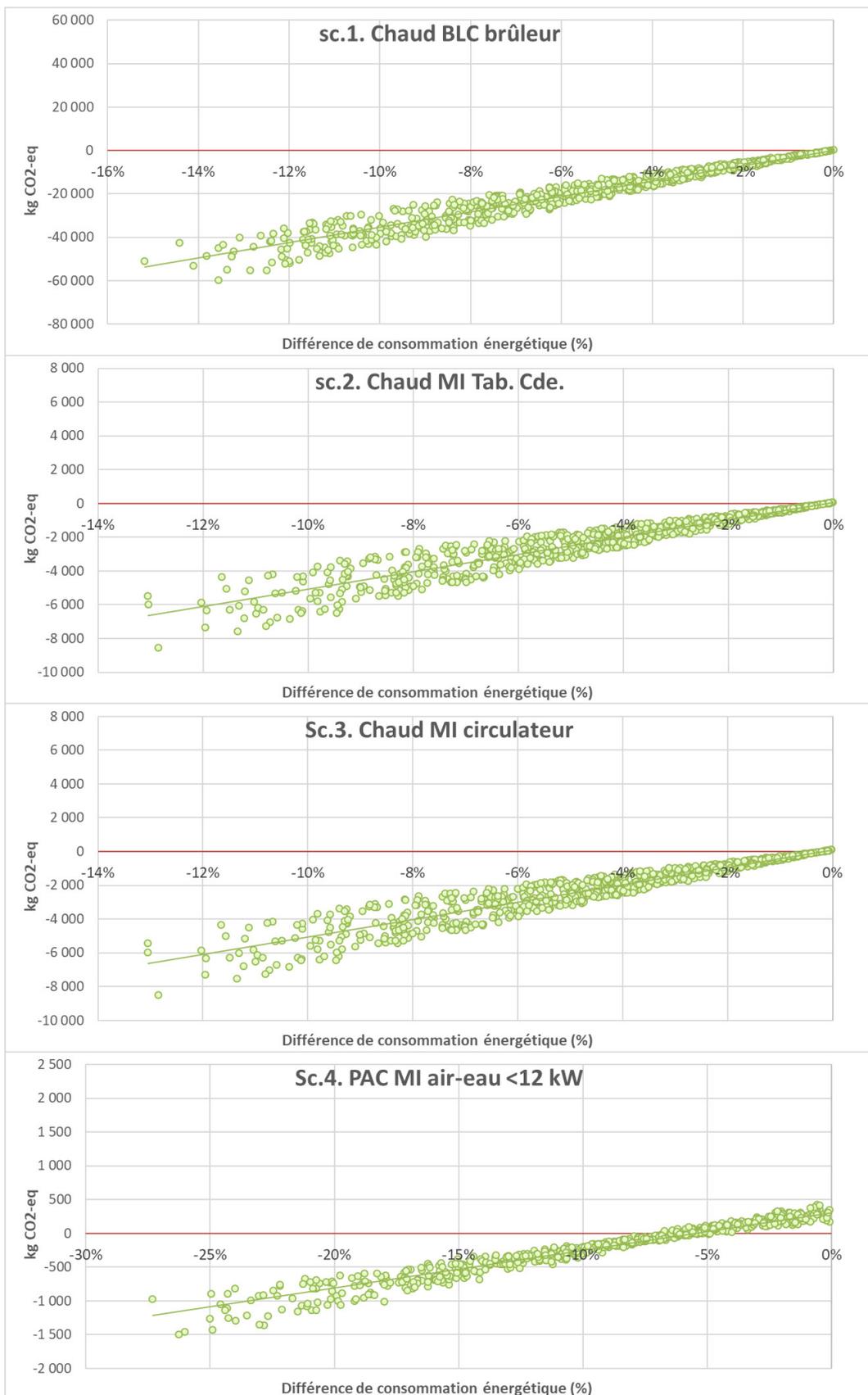
#### Comparaison sans variation de performance énergétique

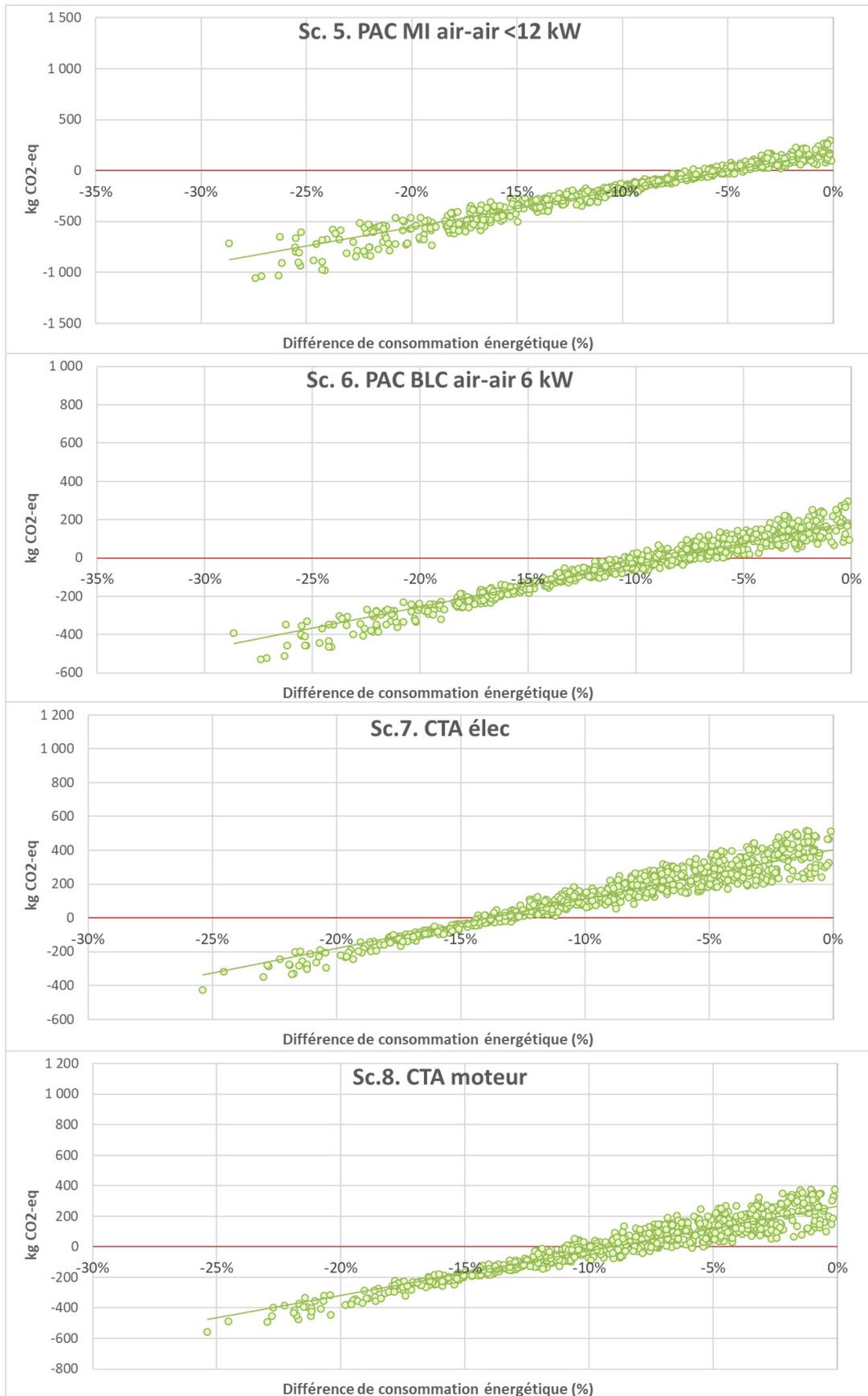


Eviter de produire et distribuer un nouvel équipement	Fin de vie évitée de l'ancien équipement	Impacts réparation	Delta utilisation	TOTAL
328	-229	-45	0	142
533	-145	-29	0	270
433	-188	-37	0	208
95	-44	-54	0	21
202	-22	-44	0	114
149	-33	-49	0	67
95	-44	-22	0	51
202	-22	-12	0	146
149	-33	-17	0	99
360	-146	-137	0	173
744	-73	-89	0	479
553	-110	-114	0	329
239	-68	-154	0	76
511	-34	-102	0	305
375	-51	-128	0	196
239	-68	-154	0	76
511	-34	-102	0	305
375	-51	-128	0	196
535	-454	-82	0	246
1 090	-227	-38	0	571
815	-342	-61	0	412
328	-229	-45	0	142
533	-145	-29	0	270
433	-188	-37	0	208

Tableau des résultats sur le changement climatique

## Comparaison avec variation de performance énergétique





## 2. Epuisement des ressources fossiles

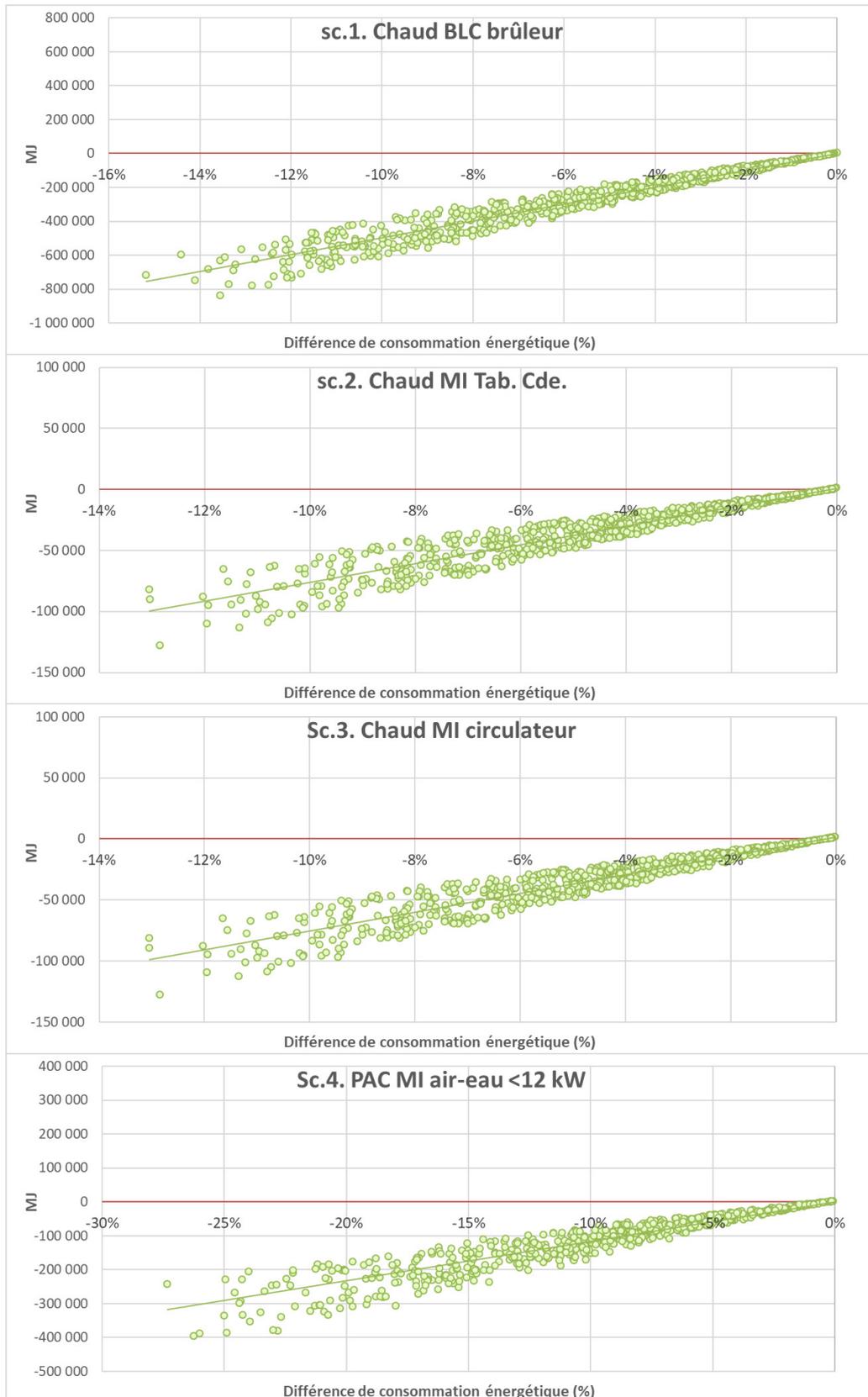
### Comparaison sans variation de performance énergétique

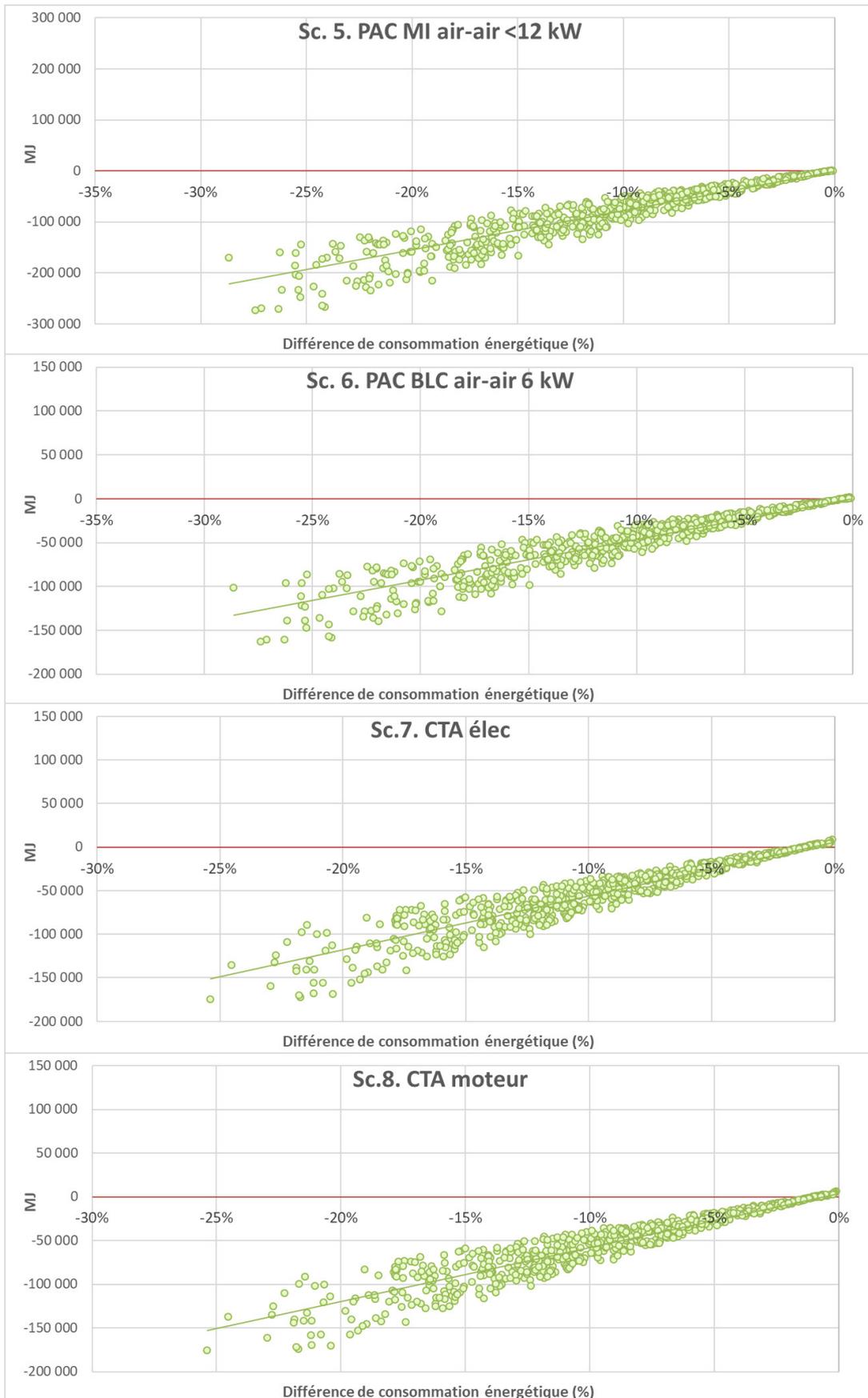


Eviter de produire et distribuer un nouvel équipement	Fin de vie évitée de l'ancien équipement	Impacts réparation	Delta utilisation	TOTAL
4 829	-1 639	-810	0	3 038
7 848	-1 035	-551	0	5 579
6 368	-1 343	-687	0	4 338
1 455	-430	-817	0	467
3 090	-215	-662	0	1 984
2 279	-325	-740	0	1 214
1 455	-430	-339	0	914
3 090	-215	-183	0	2 467
2 279	-325	-262	0	1 692
4 281	-1 162	-2 071	0	1 961
8 920	-581	-1 351	0	5 960
6 596	-877	-1 723	0	3 996
2 813	-835	-2 334	0	441
6 148	-415	-1 551	0	3 210
4 470	-629	-1 938	0	1 903
2 813	-835	-2 334	0	441
6 148	-415	-1 551	0	3 210
4 470	-629	-1 938	0	1 903
7 409	-3 959	-1 241	0	4 493
15 105	-1 980	-580	0	10 159
11 293	-2 988	-923	0	7 381
4 829	-1 639	-810	0	3 038
7 848	-1 035	-551	0	5 579
6 368	-1 343	-687	0	4 338

Tableau des résultats sur l'épuisement des ressources fossiles

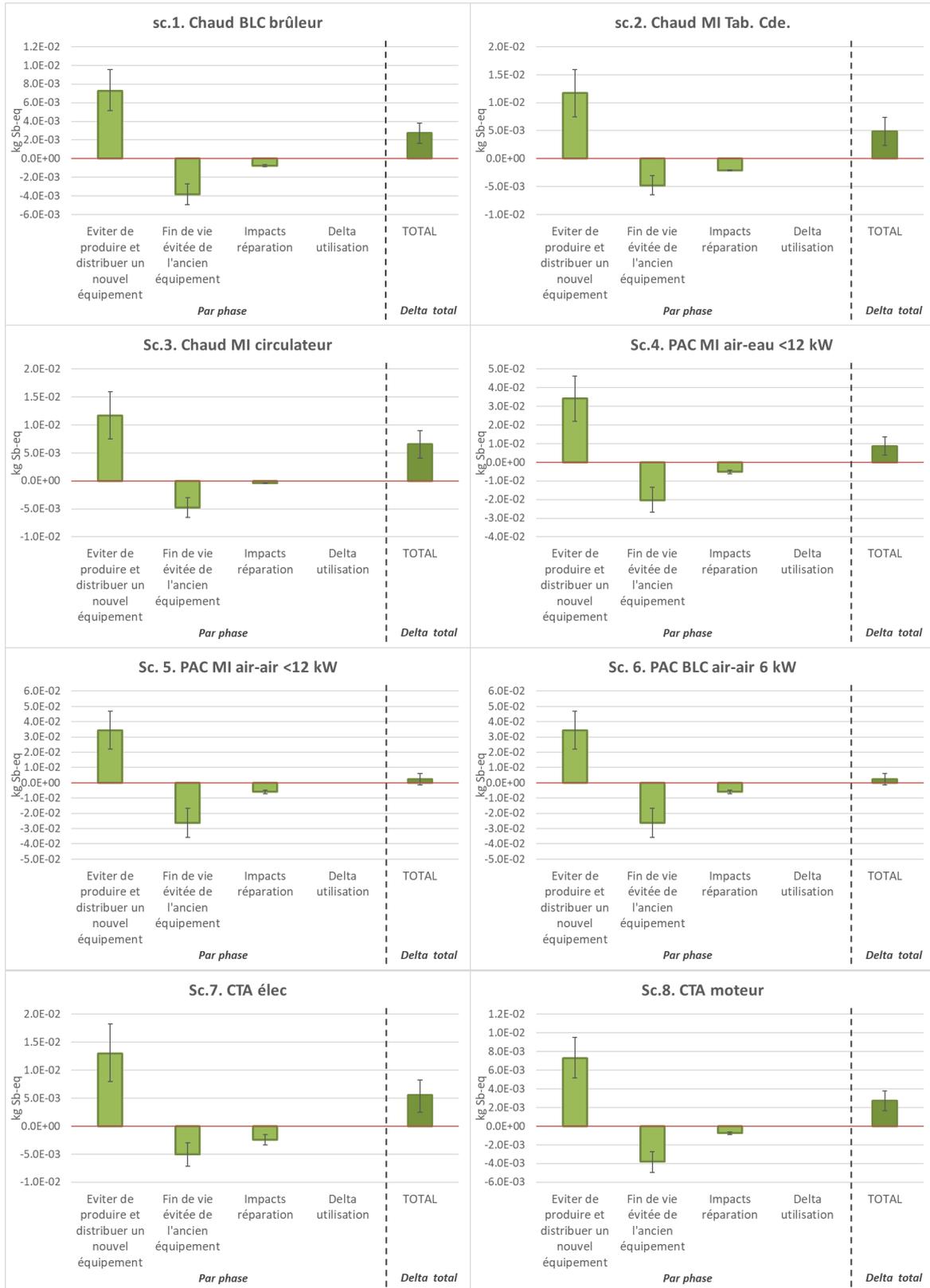
## Comparaison avec variation de performance énergétique





### 3. Epuisement des ressources minérales

#### Comparaison sans variation de performance énergétique

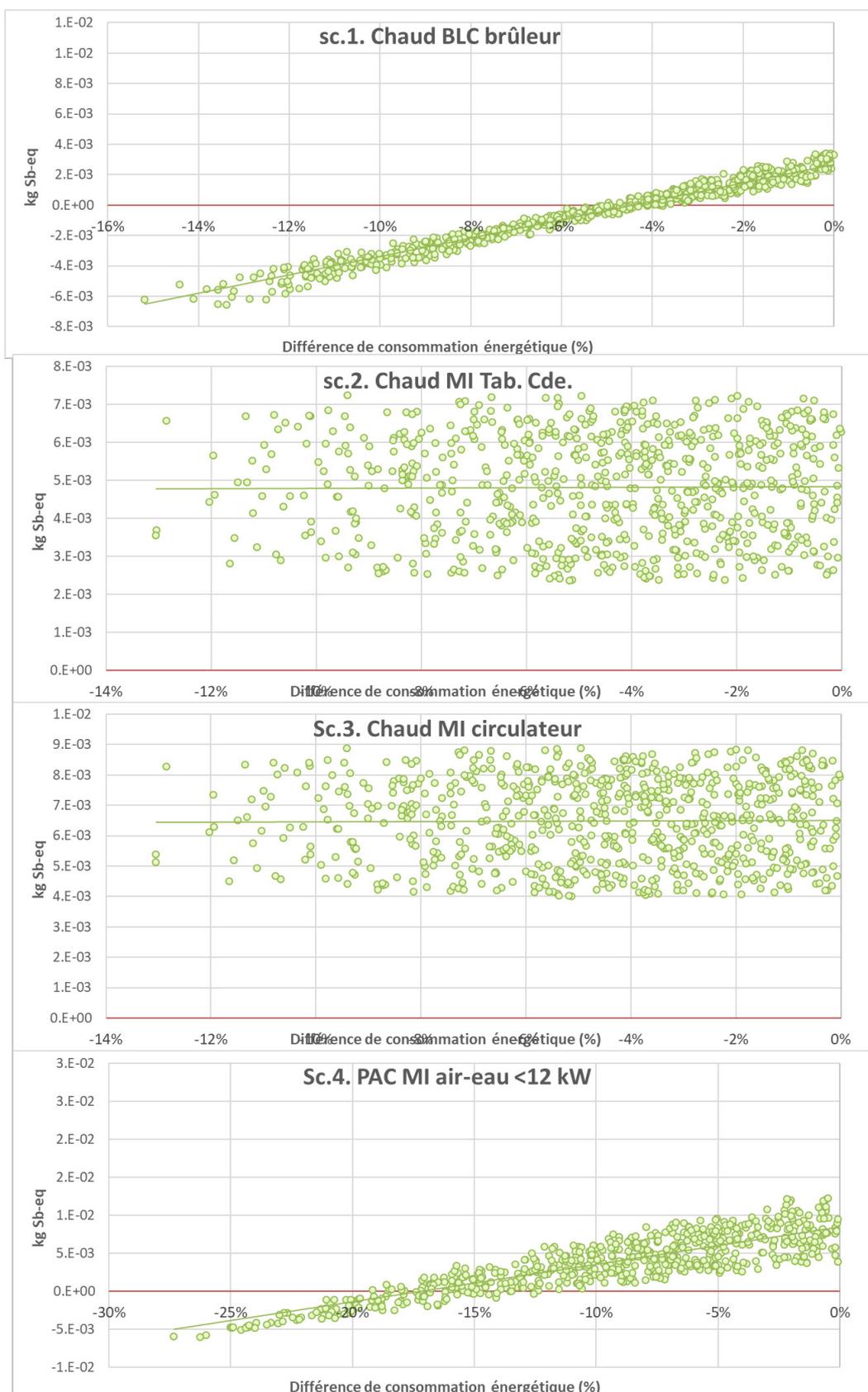


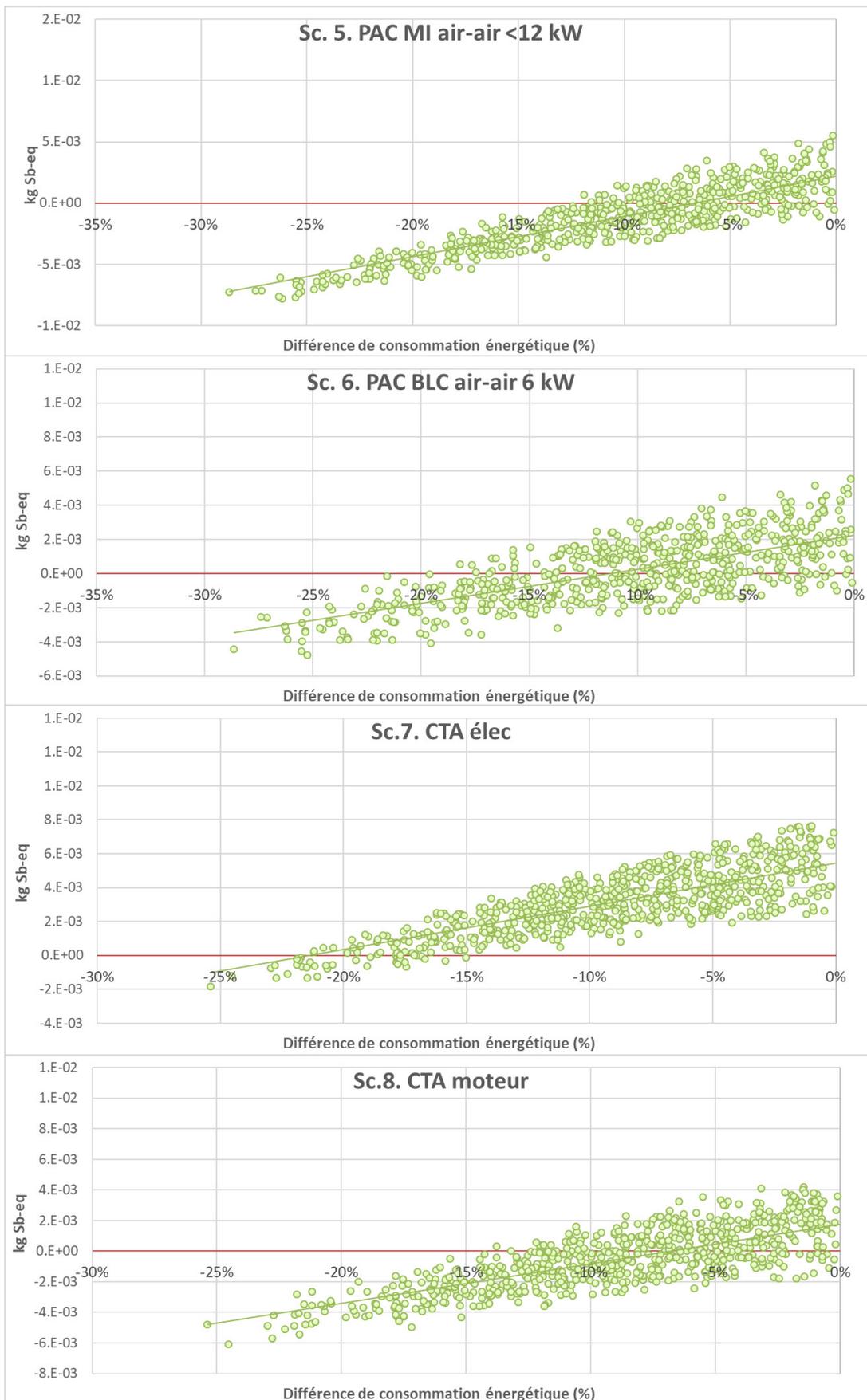
## REPARABILITE DES EQUIPEMENTS TECHNIQUES

Eviter de produire et distribuer un nouvel équipement	Fin de vie évitée de l'ancien équipement	Impacts réparation	Delta utilisation	TOTAL
5.2E-03	-5.0E-03	-8.7E-04	0.0E+00	1.6E-03
9.5E-03	-2.7E-03	-6.3E-04	0.0E+00	3.8E-03
7.3E-03	-3.8E-03	-7.6E-04	0.0E+00	2.7E-03
7.5E-03	-6.5E-03	-2.1E-03	0.0E+00	2.4E-03
1.6E-02	-3.0E-03	-2.0E-03	0.0E+00	7.4E-03
1.2E-02	-4.7E-03	-2.1E-03	0.0E+00	4.9E-03
7.5E-03	-6.5E-03	-4.8E-04	0.0E+00	4.0E-03
1.6E-02	-3.0E-03	-3.6E-04	0.0E+00	9.0E-03
1.2E-02	-4.7E-03	-4.2E-04	0.0E+00	6.5E-03
2.2E-02	-2.7E-02	-6.2E-03	0.0E+00	3.9E-03
4.6E-02	-1.3E-02	-4.1E-03	0.0E+00	1.3E-02
3.4E-02	-2.0E-02	-5.2E-03	0.0E+00	8.6E-03
2.2E-02	-3.6E-02	-7.1E-03	0.0E+00	-1.5E-03
4.7E-02	-1.7E-02	-4.8E-03	0.0E+00	5.9E-03
3.4E-02	-2.6E-02	-5.9E-03	0.0E+00	2.3E-03
2.2E-02	-3.6E-02	-7.1E-03	0.0E+00	-1.5E-03
4.7E-02	-1.7E-02	-4.8E-03	0.0E+00	5.9E-03
3.4E-02	-2.6E-02	-5.9E-03	0.0E+00	2.3E-03
8.0E-03	-7.2E-03	-3.3E-03	0.0E+00	2.5E-03
1.8E-02	-3.0E-03	-1.5E-03	0.0E+00	8.3E-03
1.3E-02	-5.0E-03	-2.4E-03	0.0E+00	5.5E-03
5.2E-03	-5.0E-03	-8.7E-04	0.0E+00	1.6E-03
9.5E-03	-2.7E-03	-6.3E-04	0.0E+00	3.8E-03
7.3E-03	-3.8E-03	-7.6E-04	0.0E+00	2.7E-03

Tableau des résultats sur l'épuisement des ressources minérales

## Comparaison avec variation de performance énergétique





# INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

## Table des tableaux

Tableau 1 - Freins à la réparation (voir Figure 1 pour la légende des couleurs) .....	10
Tableau 2 - Leviers à la réparation des équipements techniques (voir Figure 1 pour la légende des couleurs) .....	11
Tableau 3 : Scénarios de pannes étudiés.....	13
Tableau 4 : Catégories d'impact étudiées .....	21
Tableau 5 : Données communes aux 3 types d'équipements techniques .....	24
Tableau 6 : Données communes chaudières (1).....	25
Tableau 7 : Données communes chaudières (2).....	26
Tableau 8 : Données communes PAC (1).....	27
Tableau 9 : Données communes PAC (2).....	28
Tableau 10 : Données communes ventilation (1) .....	29
Tableau 11 : Données communes ventilation (2) .....	29
Tableau 12: Principales hypothèses de modélisation et sources de données.....	31
Tableau 13 : Inventaires de cycle de vie pour la production des matériaux des équipements.....	33
Tableau 14 : Mix électriques .....	34
Tableau 15 : Données économiques communes .....	34
Tableau 16 : Données économiques chaudières.....	35
Tableau 17 : Données économiques PAC .....	36
Tableau 18 : Données économiques ventilation.....	37
Tableau 19 : Données sociales communes .....	38
Tableau 20 - Participants au groupe de travail.....	82
Tableau 21 - Participants au groupe de travail.....	88

## Table des Figures

Figure 1 - Chaîne de valeur équipement technique .....	10
Figure 2 - Champ de l'analyse environnementale, économique et sociale.....	14
Figure 3 : Illustration double comptage de ressources non-renouvelables .....	18
Figure 4 : La comparaison entre la réparation et le remplacement par du neuf .....	20
Figure 5 : Contribution des scénarios par phase des scénarios aux coûts environnementaux totaux – performances énergétiques identiques .....	43
Figure 6 : Sensibilité des coûts environnementaux totaux à la différence de consommation énergétique entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement (1/2).....	47
Figure 7 : Sensibilité des coûts environnementaux totaux à la différence de consommation énergétique entre l'équipement réparé et l'équipement neuf de remplacement (2/2).....	48
Figure 8 : Résultats économiques 1. Chaud BLC brûleur (sans variation de consommation).....	51
Figure 9 : Résultats économiques 1. Chaud BLC brûleur (baisse de consommation : 3.2%) .....	52
Figure 10 : Résultats économiques 1. Chaud BLC brûleur – delta économique en fonction du delta énergie total (avec variation de consommation) .....	52
Figure 11 : Résultats économiques 2. Chaud MI tab. cde. (sans variation de consommation) .....	53
Figure 12 : Résultats économiques 2. Chaud MI tab. cde. (baisse de consommation : 2.9%) .....	53
Figure 13 : Résultats économiques 3. Chaud MI circulateur (sans variation de consommation) .....	54
Figure 14 : Résultats économiques 3. Chaud MI circulateur (baisse de consommation : 2.9%) .....	55
Figure 15 : Résultats économiques 4. PAC air-eau MI <12 kW (sans variation de consommation) .....	55
Figure 16 : Résultats économiques 4. PAC air-eau MI <12 kW (baisse de consommation : 3.4%).....	55
Figure 17 : Résultats économiques 5. PAC air-air MI <12 kW (sans variation de consommation) .....	56
Figure 18 : Résultats économiques 5. PAC air-air MI <12 kW (baisse de consommation : 4.3%) .....	56
Figure 19 : Résultats économiques 6. PAC air-air BLC 6 kW (sans variation de consommation).....	57
Figure 20 : Résultats économiques 6. PAC air-air BLC 6 kW (baisse de consommation : 4.3%) .....	57
Figure 21 : Résultats économiques 7. CAT élec (sans variation de consommation) .....	58
Figure 22 : Résultats économiques 7. CAT élec (baisse de consommation : 5.2%) .....	58
Figure 23 : Résultats économiques 8. CAT moteur (sans variation de consommation).....	59
Figure 24 : Résultats économiques 8. CAT moteur (avec consommation - 5.2%).....	59
Figure 25 : Résultats sociaux 1. Chaud BLC brûleur .....	61

Figure 26 : Résultats sociaux 2. Chaud MI tab. cde. ....	61
Figure 27 : Résultats sociaux 3. Chaud MI circulateur.....	62
Figure 28 : Résultats sociaux 4. PAC air-eau <12.....	63
Figure 29 : Résultats sociaux 5. PAC air-air <12.....	63
Figure 30 : Résultats sociaux 6. PAC air-air 6 kW.....	64
Figure 31 : Résultats sociaux 7. CTA élec.....	65
Figure 32 : Résultats sociaux 8. CTA moteur.....	65
Figure 33 : Résultats sociétaux – 1. Chaud BLC brûleur.....	67
Figure 34 : Résultats sociétaux – 2. Chaud MI tab. cde. ....	68
Figure 35 : Résultats sociétaux – 3. Chaud MI circulateur .....	69
Figure 36 : Résultats sociétaux – 4. PAC air-eau <12 kW.....	70
Figure 37 : Résultats sociétaux – 5. PAC air-air <12 kW.....	71
Figure 38 : Résultats sociétaux – 6. PAC air-air 6 kW.....	72
Figure 39 : Résultats sociétaux – 7. CTA élec.....	73
Figure 40 : Résultats sociétaux – 8. CTA moteur.....	74
Figure 41 : Delta consommation requis pour que le remplacement soit préférable à la réparation d'un point de vue sociétal.....	78
Figure 42 : Exemple de graphique « Range » obtenu avec RangeLCA.....	92

