



Prévenir les désordres,
améliorer la qualité
de la construction

PÔLE
PRÉVENTION
PRODUITS MIS
EN ŒUVRE

Juillet 2017

RÉPARABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES DU BÂTIMENT PHASE 1

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



REMERCIEMENTS

aux membres du Comité de suivi

Albert BACQUEVILLE (COVEA)
Frédéric BOYER (ALLIANZ)
Sylvain BREUILLE (FFB)
Antoine DEMARQUE (Bureau Veritas Construction)
Philippe DEMEULLE (ALLIANZ)
Olivier GOUVIS (EGF-BTP)

Pour l'ADEME
Erwann FANGEAT

Pour l'AQC
Christel EBNER
Arnaud MEYER
Mariangel SANCHEZ

CITATION DE CE RAPPORT

AQC, Catherine MILLION, Daniel OISEL, Pierre ACHARD – Réparabilité des équipements techniques du bâtiment - 2017 – Rapport - 64 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque et www.qualiteconstruction.com

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie

Ce document est diffusé par l'ADEME et l'AQC

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1602C0056

Étude réalisée par AQC pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Coordination technique - ADEME : FANGEAT Erwann

Direction Économie Circulaire et Déchets / Service Produits et Efficacité Matière

Rédacteurs : Catherine MILLION, Daniel OISEL, Pierre ACHARD



TABLE DES MATIERES

Résumé	6
1. Contexte du projet	7
1.1. Déterminer les familles de matériel	10
1.2. Analyser les types de dysfonctionnements	11
1.3. Les chiffres.....	11
1.3.1. Statistiques 2016	11
2. Méthodologie	12
3. Etude des pannes par famille d'équipements	12
3.1 Les volets roulants	12
3.1.1 Les problèmes rencontrés	12
3.1.2 Les Causes potentielles	12
3.1.3 Les dommages causés sur les volets roulants.....	13
a- Pour les moteurs de type filaires :	14
b- Pour les moteurs de type radio commandés :	14
3.1.4 Les possibilités de réparation	15
3.2 Les pompes à chaleur & climatisation, multi-split.....	18
3.2.1 Les problèmes rencontrés	22
3.2.2 Les causes potentielles	26
3.2.3 Les possibilités de réparation	26
3.2.3.1 La réparation des compresseurs frigorifiques	27
3.2.3.2 La réparabilité des compresseurs hermétiques	31
3.3 Les chaudières	32
3.3.1 Les problèmes rencontrés	33
3.3.2 Les Causes potentielles	38
3.3.3 Les possibilités de réparation	38
3.4 Chauffe-eau thermodynamique	39
3.4.1. Le ballon préparateur E.C.S	40
3.4.2. L'échangeur thermique	40
3.4.3. L'anode anticorrosion	41
3.4.4. La résistance	41
3.4.5. L'afficheur ou le tableau de commande	41
3.4.6. Les cartes électroniques.....	42
3.4.7 Les causes potentielles de dommage	42
3.4.8 Les dommages causés directement au module ballon tampon	42



3.5	Centrales de traitement d'air.....	42
3.5.1	Les filtres	44
3.5.2	Les ventilateurs	45
3.5.2.1	Ventilateurs centrifuges	45
3.5.2.2	Ventilateurs axiaux	45
3.5.2.3	Pannes et réparations	45
3.5.3	Type de moteur	45
3.5.3.1	Entraînement Moteur.....	46
3.5.3.2	Pannes et réparation	46
3.5.4	Les batteries de réchauffage électrique	46
3.5.4.1	Pannes et réparation	46
3.5.5	Les batteries de réchauffage ou de refroidissement à eau ou à détente directe.....	46
3.5.5.1	Pannes et réparations	46
3.5.6	Les humidificateurs.....	47
3.5.6.1	Les humidificateurs adiabatiques qui utilisent l'eau sous forme liquide.....	47
3.5.6.2	Les humidificateurs isothermes qui utilisent l'eau sous forme vapeur.....	47
3.5.6.3	Pannes et réparations	47
3.5.7	Les systèmes de récupération d'énergie.....	48
3.5.7.1	Les échangeurs de chaleur à plaques	48
3.5.7.2	Les roues de récupération.....	48
3.5.7.3	Double batterie	48
3.5.7.4	Pannes et réparations	48
3.5.8	Les systèmes de réglage de débit d'air	48
3.5.9	Les systèmes de régulation.....	48
3.5.9.1	Pannes et réparations	49
3.6	Photovoltaïque.....	49
3.6.1	Installation photovoltaïque.....	49
3.6.1.1	Le panneau photovoltaïque.....	50
3.6.1.2	Le boîtier de jonction	51
3.6.1.3	Les coffrets AC/DC.....	52
3.6.1.4	L'onduleur photovoltaïque	52
3.6.2	Les causes potentielles de dommages	53
3.6.3	Les dommages électriques causés aux appareils	53
3.6.4	Les possibilités de réparation.....	54
3.7	Les cartes électroniques.....	54
4.	Synthèse réparabilité par famille	55

5. Préconisations	56
5.1 Les actions attendues du fabricant.....	56
5.1.1 La conception du matériel	56
5.1.2 Standardisation et normalisation	57
5.1.3 Inciter les fabricants à rendre réparable leurs matériels	57
5.2 Le fabricant et son réseau	58
5.2.1 Le fabricant gère le suivi de ses pièces endommagées	58
5.2.2 Le réseau parallèle de réparation et d'échange standard	58
5.2.3 La fabrication sur commande des pièces endommagées	58
5.3 La qualification des artisans	58
5.3.1 Agrément du fabricant	59
5.3.2 Habilitations professionnelles	59
5.3.2.1 Pour le domaine photovoltaïque.....	59
5.3.3 Formations techniques sur les nouveaux modèles et leurs technologies	59
6. Perspectives	59
7. Lexique	62
Sigles et acronymes	63



Résumé

Le XX^e siècle a vu se développer un mode de consommation particulièrement insatiable en ressources naturelles dont l'extraction mal maîtrisée a été décuplée après-guerre.

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 cet algorithme, au profit d'une économie circulaire donnant la priorité à une gestion raisonnée des ressources naturelles, en incluant un cycle de traçabilité des impacts environnementaux depuis la production et les réparations successives d'un bien jusqu'au traitement de ses déchets.

Acteur de cette mutation, l'ADEME et l'AQC propose une étude d'impacts d'une réparation accrue des équipements techniques, afin de vérifier la nécessité ou non de mettre en place une incitation à leur « réparabilité » dans une perspective de normalisation. Le cadre fixé pour cette mission consiste donc à identifier les différentes familles d'équipements concernés, et d'en analyser les types de dysfonctionnements les plus fréquents afin d'isoler des stratégies de réparabilité en contexte.

Cette étude a porté sur sept familles d'équipements. Comme on le verra, les principaux résultats qui en ressortent démontrent qu'il n'existe aucun obstacle technique à la réparabilité, et que les problèmes rencontrés naissent plus de l'intention des marques de concevoir des produits personnalisés, et donc par nature peu accessibles à une notion de normalisation.

Comme on pourra le lire dans les préconisations concluant cette étude, il apparaît donc nécessaire d'identifier les différents acteurs à accompagner dans cette démarche de réparabilité des équipements techniques, afin de continuer à inscrire le futur dans un modèle répondant de façon plus harmonieuse aux contraintes moins opposées qu'il n'y paraît d'accroissement des besoins et de gestion raisonnée des ressources.



1. Contexte du projet

Depuis 2015, la notion d'économie circulaire a été inscrite dans la Loi (*), symbolisant ainsi la volonté de donner la priorité à une gestion économe des ressources naturelles. A l'appui d'une telle prise de conscience, de nombreux travaux ont démontré que la croissance de la population mondiale, et par là-même l'aspiration des sociétés émergentes à adopter le modèle de surproduction des sociétés développées, entrerait d'ici 2050 en contradiction avec la réalité des ressources disponibles.

Il en résulte la nécessité d'un changement en profondeur des modes de production, depuis l'extraction des matières premières nécessaires à la fabrication d'un produit, jusqu'à leur récupération après consommation de celui-ci en terme d'usage et de réparations successives, et leur valorisation dans un nouveau cycle de production.

S'inscrivant dans cette logique d'amélioration de la Productivité des Ressources, la Commission Européenne a adopté en 2015 un train de cinquante mesures, "*afin de faciliter la transition de l'Europe vers une économie circulaire qui renforcera sa compétitivité au niveau mondial, favorisera une croissance économique durable et créera de nouveaux emplois*". Les travaux entrepris se sont ainsi fixés comme objectifs d'identifier les blocages éventuels à cette perspective et d'inscrire la consommation humaine future dans le sens d'une réduction, la plus large possible, de ses impacts environnementaux.

Une première notion, souvent retrouvée dans les habitudes de consommation qui nous poussent à nous débarrasser d'un produit toujours fonctionnel, est l'obsolescence au sens large que l'on peut définir comme le fait pour un produit d'être "dépassé" et donc, de perdre une partie de sa valeur d'usage, soit sous l'effet d'une évolution technique, soit sous celui de la mode. On parle alors d'obsolescence psychologique par opposition à l'obsolescence indirecte résultant de l'impossibilité ou non de réparer un produit.

Le Petit Larousse donne ainsi de l'obsolescence la définition suivante : "*la dépréciation d'un équipement avant son usure matérielle*". Le Petit Robert ajoute que « *cette dépréciation se fait indépendamment de l'usure physique du produit et qu'elle est essentiellement due à l'évolution des techniques ou des comportements.* »

De là, il convient de différencier les notions d'obsolescence et de durée de vie fonctionnelle.

Un appareil obsolète peut très bien fonctionner encore, mais l'évolution de sa concurrence en a fortement diminué l'intérêt aux yeux du consommateur qui préfère en suspendre l'usage et le remplacer. De même, dans le cas d'une panne, plusieurs études ont démontré qu'un coût de réparation supérieur à 30% de la valeur de remplacement d'un produit, déclenche automatiquement son remplacement et ce, même si sa réparation est prise en charge par une garantie ou une assurance. Ce point est une des nombreuses applications possibles de la démarche durable.

Comme on le verra dans la partie "perspectives" de cette étude, le développer pourrait induire, à lui seul, un bénéfice réel en terme de coût, d'emploi, par le développement de réparateurs agréés, et d'impacts environnementaux.

En 2011, un rapport de la Commission du développement durable et de l'aménagement du territoire apporte des précisions utiles sur les différents types d'obsolescence :

- **L'obsolescence indirecte :**

Elle est induite par l'impossibilité de réparer un produit, que celle-ci soit présente dès la fabrication par la présence de pièces essentielles inamovibles (carte électrique, processeurs...) ou faute de pièces détachées.

- **L'obsolescence d'incompatibilité :**

Elle résulte, par exemple, d'un logiciel informatique inopérant à la suite d'une mise à jour du système d'exploitation.



- **L'obsolescence esthétique** avec de nouveaux produits mis régulièrement sur le marché avec une esthétique nouvelle, sinon améliorée, qui rend désuètes les versions précédentes de ces produits.
- **L'obsolescence de service après-vente** qui suggère que le consommateur sera plus enclin à racheter un produit plutôt que de le réparer, en partie à cause des délais de réparation et des prix.

En 2012, un rapport publié par l'Ademe sur la durée de vie des équipements électriques et électroniques (EEE) insiste sur la notion d'obsolescence "conjoncturelle" des produits pouvant être liée à :

- **Des raisons techniques**, par exemple des sauts technologiques ou l'apparition d'incompatibilités entre équipements (comme avec la mise en réseau croissante).
- **Des raisons économiques**, par exemple des questions de coût de stockage des pièces de rechange.
- **Des raisons réglementaires**, par exemple des évolutions de la réglementation en matière de technologies (passage de l'analogique au numérique) ou en termes de sécurité (par exemple interdiction ou limitation de certaines substances dangereuses).
- **Des choix de consommation** au regard d'une évolution naturelle de la gamme des produits disponibles sur le marché, fonction de la maturité de la technologie considérée, des innovations et de la concurrence.

C'est cette décomposition d'un même concept que l'Ademe a souhaité répartir en deux catégories principales d'obsolescence :

- **L'obsolescence "fonctionnelle"** concernant les produits qui ne répondent plus aux nouveaux usages attendus pour des raisons techniques (incompatibilité), réglementaires et/ou économiques.
- **L'obsolescence "d'évolution"** (autrement dit de désir ou de mode) concernant les produits qui ne répondent plus aux envies des utilisateurs, du fait d'une évolution de fonctionnalité ou de design.

Parmi les différentes sortes d'obsolescence, celle dite "programmée" est un cas particulier que le magazine « The Economist » définit comme *"une stratégie d'entreprise dans laquelle l'obsolescence des produits est programmée depuis leur conception (...) de telle manière que le consommateur ressent le besoin d'acheter de nouveaux produits et services que les fabricants proposent pour remplacer les anciens"*.

Cette notion apparaît pour la première fois en 1932 sous la plume de Bernard London, un riche marchand de biens new-yorkais, au travers d'un rapport publié sous le titre *"mettre fin à la crise au moyen de l'obsolescence planifiée"*. Dans cet opuscule, l'auteur expliquait que la grande dépression incitait les américains à allonger la durée de vie de leur produit par différentes stratégies incluant la réparation (voitures, radios, vêtements...), et que ce nouveau mode de consommation aggravait fortement la crise, en diminuant les achats de nouveaux produits manufacturés.

A l'inverse du "sophisme de la vitre cassée" publié en 1850 et que l'économiste Frédéric Bastiat résume lui-même par "destruction n'est pas profit",

London préconisait ainsi de rendre l'obsolescence programmée obligatoire, non pas en produisant des produits manufacturés de mauvaise qualité, mais en leur imposant une date limite légale, après laquelle les consommateurs devraient obligatoirement les renvoyer à un organisme AD HOC, de manière à entretenir un flux éternel de produits manufacturés.

De cette façon, l'obsolescence dite "programmée" doit donc sans doute s'entendre plus en terme d'incitation systématique à la consommation de nouveaux produits, que de limitation techniquement préméditée de la durée de vie d'un produit.



A l'issue du même rapport de 2012 sur la durée de vie des EEE, l'Ademe a ainsi souhaité limiter cette notion "à des raisons techniques objectives pour en exclure la dimension subjective liée aux choix de consommation ».

Une application de cette distinction pourrait, par exemple, concerner les pièces essentielles inamovibles des EEE, dont les pannes rendent le plus souvent irréparable le dispositif tout entier, multipliant, par là même, l'impact environnemental dudit produit.

Ici se dessine la nouvelle conception, celle de la durabilité des produits en terme de leur réparabilité et de l'allongement de leurs cycles de vie, en associant les industriels à une réflexion sur l'obsolescence, afin d'en réduire progressivement les impacts économiques et environnementaux.

Cette notion de réparabilité d'un produit, c'est à dire sa "capacité" induite dès sa conception à être réparable, appelle une précision : au même titre que la notion de durabilité, la réparabilité est intrinsèque au produit qu'elle vise et a également vocation à être mesurable par les instances de normalisation. En cela, la notion de réparabilité d'un produit ne doit pas être confondue avec celle, plus large et extrinsèque, de sa réparation, de même que la notion propre à ce produit qu'est sa durabilité ne doit pas être confondue avec celle, là aussi plus large et moins accessible à la normalisation, de sa durée de vie.

Proposer ainsi, lorsque cela est possible, de rendre ces éléments amovibles et réparables, et par là-même permettre aux assureurs de mieux indemniser les réparations, en incitant à leur tour à cette option, et par là-même permettre aux pouvoirs publics d'opérer le développement de nouvelles filières d'emploi dans la réparation et la récupération, nous semblent une bonne illustration de la réflexion engagée au niveau européen sur la réparabilité, en terme d'écoconception, d'approvisionnement durable et de symbiose industrielle.

C'est dans le sillage de cette réflexion que cette étude a été demandée par l'ADEME et l'AQC dans une démarche spécifique aux équipements techniques.

[\(*\) Article 70 - Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.](#)

La mission :

« Une étude d'impacts d'une réparation accrue des équipements techniques permettrait de vérifier la nécessité ou non de mettre en place une incitation à la « réparabilité » des équipements techniques. » Telle est la réflexion exploratoire proposée par l'ADEME et l'AQC dans le contexte précité. Comme dans les autres travaux initiés sous la même impulsion, l'intention qui préside à la prise de conscience en faveur de l'économie circulaire demeure intacte. Elle s'accompagne cependant ici d'une spécificité lui permettant d'élargir le modèle à la source de toute production, jusqu'aux premières réflexions sur la conception d'un produit en terme de sa réparabilité ultérieure, et par conséquent des dispositifs et aménagements à prévoir pour permettre l'accès au cœur même de ce produit.

Les moyens à mettre en œuvre pour réaliser cette étude consistent donc dans un premier temps à isoler plusieurs familles d'équipements techniques dans une notion d'impropriété à destination, afin d'en mesurer les dysfonctionnements les plus fréquents et les plus coûteux en terme d'atteinte à l'usage du produit, et de proposer le cas échéant des pistes d'accroissement normalisable de sa réparabilité.

Dans la continuité de divers échanges sur des problématiques communes rencontrées aussi bien dans le cadre de l'Assurance Construction que celui de l'Assurances Dommages aux biens, nous avons ainsi fait le constat d'une difficulté de positionnement sur les conditions de garanties et de remplacement des cartes électroniques selon le type de bien (Chaudière, pompe à chaleur, VMC,...) et plus généralement de tous équipements techniques du bâtiment dont le dysfonctionnement peut compromettre l'usage attendu, et entraîner par là même le diagnostic souvent difficile à poser de l'impropriété à leur destination.



Présentes dans pratiquement tous les appareils électroniques de l'industrie, du bâtiment (centrales de climatisation, équipements de chauffage,...), de l'automobile, mais aussi de la vie courante des particuliers (appareils ménagers, TV, micro-informatique, domotique,..) ces cartes électroniques, qui intègrent généralement les différentes commandes de l'appareil, sont un composant particulièrement coûteux du dispositif. Dans la logique précitée, une incitation à leur réparabilité lorsque cela est possible, plutôt que leur remplacement ou la mise au rebut trop souvent systématique de l'ensemble du dispositif qu'elles commandent, aurait des répercussions sans doute non négligeables sur toute les filières.

Dans ce contexte spécifique, la vérification de « la nécessité ou non de mettre en place une incitation à la « réparabilité » des équipements techniques » peut donc trouver ici une application factuelle et mesurable en terme d'identification des éventuels obstacles techniques à la réparabilité, et, en l'absence de ceux-ci, d'une possible intention des marques de concevoir des produits personnalisés, et donc par nature inaccessibles à toute démarche de normalisation.

1.1. Déterminer les familles de matériel

Le choix des familles de matériels à étudier a été dicté par la notion d'impropriété à destination.

L'impropriété à destination est une notion utilisée dans la loi SPINETTA (loi n°78-12 du 4 janvier 1978). Cette loi a instauré des obligations en matière d'assurance construction pour les constructeurs et les particuliers. Elle a pour but de garantir le paiement des travaux de réparation indépendamment de la recherche des responsabilités.

Elle soumet les constructeurs à un régime de présomption de responsabilité en matière d'assurance décennale.

L'impropriété à destination est un des 2 cas pour lesquels s'applique cette garantie décennale. L'autre relève de la solidité de l'ouvrage.

La garantie décennale s'applique lorsqu'un dommage affectant l'un des éléments constitutifs de l'ouvrage ou l'un de ses éléments d'équipement le rend impropre à sa destination. L'impropriété à destination empêche l'ouvrage de remplir sa fonction première. Il s'agit d'une notion subjective soumise à interprétation.

Dans une habitation particulière ou dans un habitat collectif, quels sont les équipements dont la défectuosité rendrait le bien impropre à la destination ?

L'impropriété à destination empêche cet ouvrage de remplir la fonction à laquelle il est normalement destiné.

A partir de cette réflexion, nous avons tenté d'établir une liste des appareils qui pourraient rentrer dans ce cadre.

Nous avons, tout d'abord, consulté des textes réglementaires pour vérifier que la notion d'impropriété à destination puisse correspondre avec les familles d'équipements techniques que nous voulions étudier.

Deux grandes catégories d'impropriété à la destination de l'ouvrage peuvent être distinguées :

- celle qui se réfère à sa dangerosité ;
- celle qui se réfère à son inaptitude.

Compte-tenu des dysfonctionnements étudiés, nous avons rapidement laissé de côté l'aspect dangerosité pour concentrer notre étude sur la défectuosité des appareils les rendant inaptes à remplir leurs fonctions.

Les alarmes avaient été retenues initialement, mais à la suite des premiers échanges que nous avons eus avec les membres de l'AQC (Agence Qualité Construction), en partenariat avec l'Ademe, cette famille a été retirée de la liste d'étude.



En concertation avec les membres du groupe de travail, nous avons donc convenu de ne retenir que les familles suivantes :

- Volets roulants
- Pompe à Chaleur (PAC)
- Chaudières
- Chauffe-eau thermodynamique
- Climatisation, multi-split
- Centrales de traitement d'air
- Photovoltaïque

1.2. Analyser les types de dysfonctionnements

A travers les nombreux cas répertoriés lors d'expertises menées sur le terrain, nous avons recensé, par famille d'équipements, les dysfonctionnements rencontrés sur les appareils, tout en essayant d'être le plus précis possible.

C'est-à-dire d'identifier les pannes (électriques ou mécaniques) qui peuvent affecter l'appareil non pas d'un point de vue général, mais au niveau d'un ou plusieurs composants de l'équipement qui auraient été endommagés lors du sinistre.

1.3. Les chiffres

1.3.1. Statistiques 2016

Taux de réparabilité et coût moyen de la réparation (Hors franchise et vétusté)

Systeme	Taux de réparabilité	Coût moyen de réparation (ttc)
Chaudière	60%	1 640 €
Pompe à chaleur	76%	1 705 €
Chauffe-eau	45%	1 100 €
Chauffe-eau thermodynamique	90%	1 400 €
Climatisation	33%	250 €
Volet roulant	40%	230 €

Systeme photovoltaïque	
Taux de réparation des onduleurs	1 %
Taux de réparation des panneaux et boîtier	12 %



2. Méthodologie

Notre étude est basée sur les dossiers que nous avons pu gérer lors de nos différentes expertises lors de sinistres, mais aussi sur les rencontres que nous avons pu faire chez des professionnels intervenant dans ce domaine.

3. Etude des pannes par famille d'équipements

3.1 Les volets roulants

3.1.1 Les problèmes rencontrés

Concernant les volets roulants, la quasi-totalité des dommages est d'ordre électrique.

En effet, le mécanisme des volets roulants est assez simple et s'il existe encore des butées fin de course mécaniques, elles sont désormais électroniques.

Les problèmes que l'on peut rencontrer sont les suivants :

- Panne mécanique : le volet coulisse mal ou refuse systématiquement de s'enrouler ou de se dérouler.
- Panne électrique :
 - La panne la plus récurrente peut être liée à un problème d'alimentation : le moteur a besoin d'une alimentation électrique (10 ampères environ), en dessous le système ne fonctionne plus.
 - Une autre panne fréquente est liée à un problème de moteur. L'enroulage et déroulage sont par conséquent bloqués.
 - Le boîtier de commande peut être aussi endommagé.
 - Le système de freinage situé au niveau du moteur peut aussi avoir été endommagé. Cette dernière panne va provoquer un déroulage complet du volet dans le coffre de volet roulant.

3.1.2 Les Causes potentielles

Pour les problèmes d'ordre mécanique, les dysfonctionnements rencontrés peuvent s'expliquer par les **clips d'entraînement** qui ont sauté en cours d'utilisation.

Ce type de dysfonctionnement est souvent dû à la présence de glace sur le volet généralement installé en toiture (lors des périodes hivernales) et pose indirectement question sur le choix des matériaux constituant le volet, en fonction du climat.

Un effort anormal appliqué sur le volet peut aussi expliquer les désordres rencontrés sur le volet. Par effort anormal, il faut entendre un blocage du volet lors de la descente causé par une descente asymétrique du volet (présence d'un objet par exemple).

Un autre type d'effort anormal peut être la conséquence d'une intrusion. Le volet est alors forcé et les clips d'entraînement endommagés.



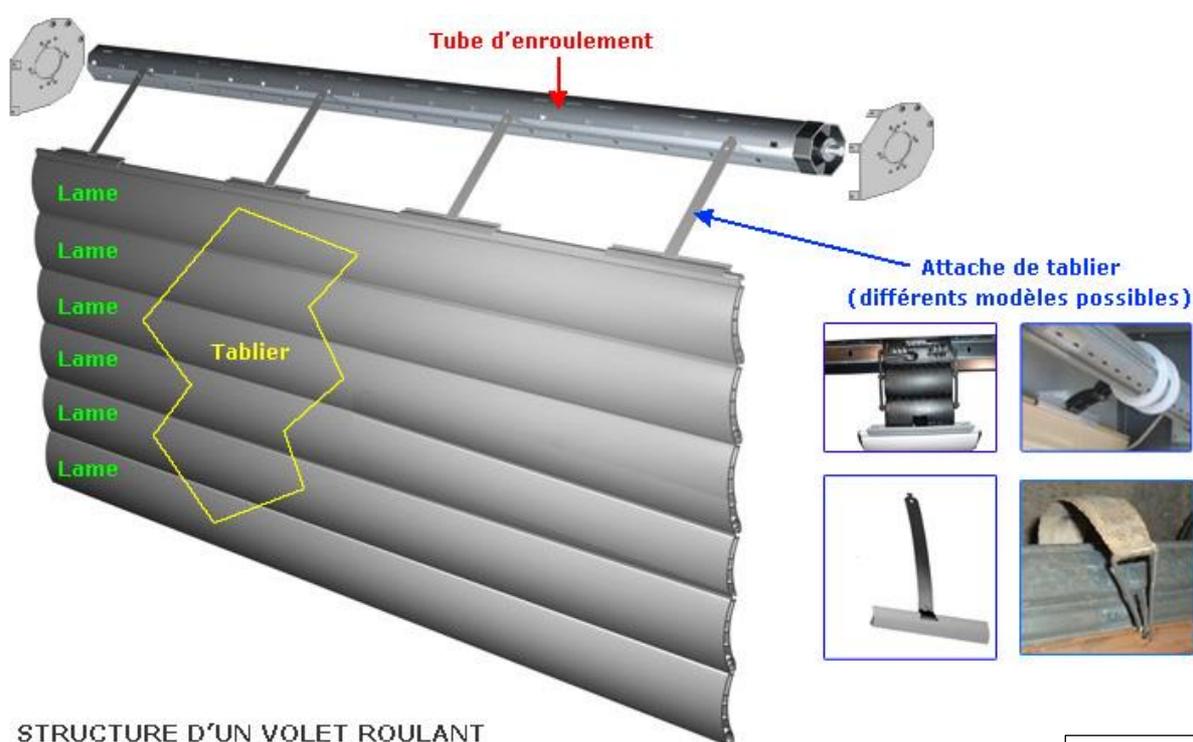
Pour les problèmes d'ordre électrique, les dysfonctionnements rencontrés peuvent s'expliquer principalement par plusieurs facteurs (du moins fréquent ou plus fréquent) :

- Une surtension de manœuvre : surtensions à haute fréquence ou oscillatoire amortie causées par une modification du régime établi dans un réseau électrique (lors d'une manœuvre d'appareillage).
- Une surtension d'origine atmosphérique : la surtension générée lors d'un orage (remontée de potentiel de terre) peut endommager l'ensemble « condensateur-moteur ». La foudre est un phénomène électrique à haute fréquence qui produit des surtensions sur tous les éléments conducteurs et, particulièrement sur les câblages et les équipements électriques.
- Une surtension ayant pour origine le réseau de distribution d'électricité.

3.1.3 Les dommages causés sur les volets roulants

Concernant les problèmes d'ordre mécanique, quel que soit le type de moteur installé, les dommages constatés se limitent aux clips d'entrainements qui sont les liaisons entre le moteur et le volet.

Il existe plusieurs types d'attaches.



STRUCTURE D'UN VOLET ROULANT

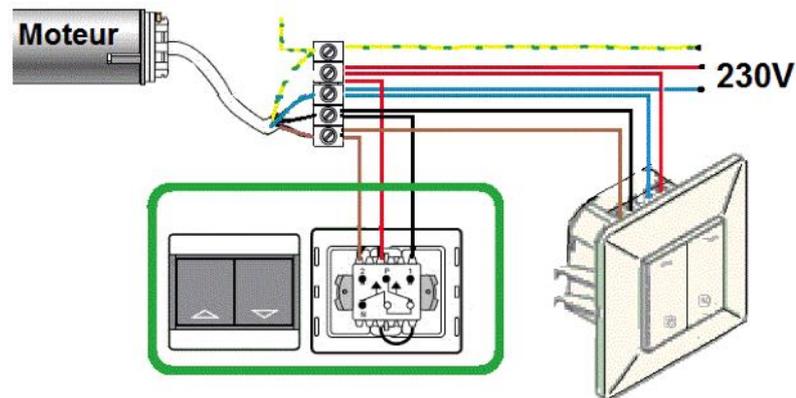
Source : Conseils store



Concernant les problèmes d'ordre électrique causés par une surtension, en fonction du type de moteur installé, les dommages peuvent concerner :

a- Pour les moteurs de type filaires :

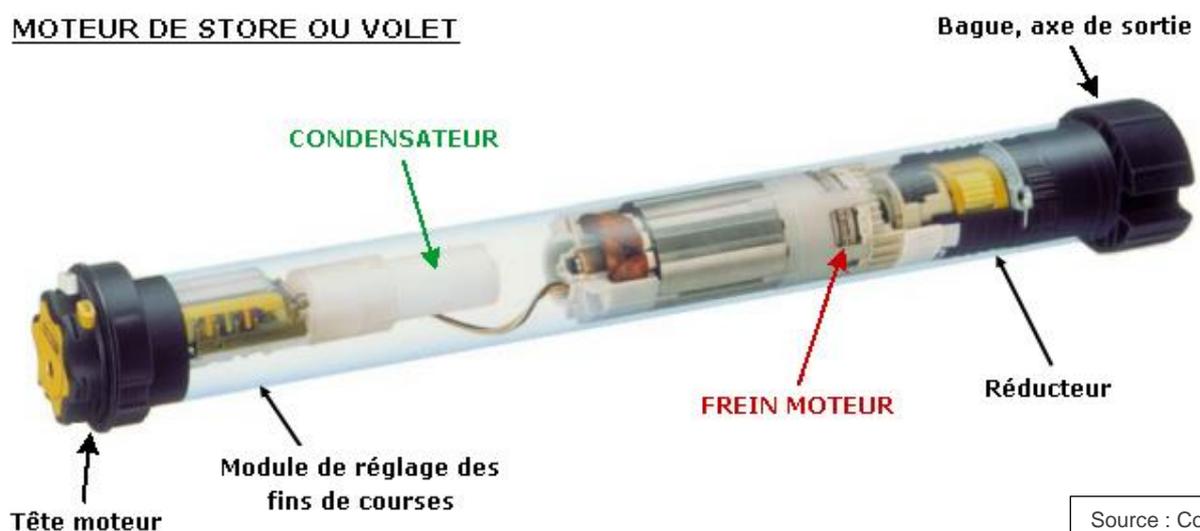
Les dommages sont souvent limités à l'inverseur. Il est, en effet, beaucoup plus rare que le moteur soit impacté par la surtension.



b- Pour les moteurs de type radio commandés :

Les dommages peuvent souvent se limiter au condensateur moteur.

MOTEUR DE STORE OU VOILET



Des dommages peuvent néanmoins être constatés sur le moteur ou le système de frein moteur.



3.1.4 Les possibilités de réparation

Pour étudier les possibilités de réparation, nous avons récupéré un moteur de volet roulant que nous trouvons fréquemment dans les maisons individuelles ou dans des immeubles d'habitations collectives. Il équipe les fenêtres de taille standard.



Ce moteur a été remplacé suite à un sinistre d'origine électrique. Il n'a jamais été démonté, mais directement remplacé lorsqu'il a été diagnostiqué hors service.

Nous avons donc procédé au démontage de ce moteur.

Il comporte un cordon électrique qui est maintenu sur le moteur par 2 vis.



En l'état, il est impossible de sortir l'électronique située à l'intérieur. Pour pouvoir extraire la partie commande électronique, il est tout d'abord nécessaire d'atteindre la vis de maintien qui est cachée derrière la collerette plastique qui est maintenue par une agrafe métallique.



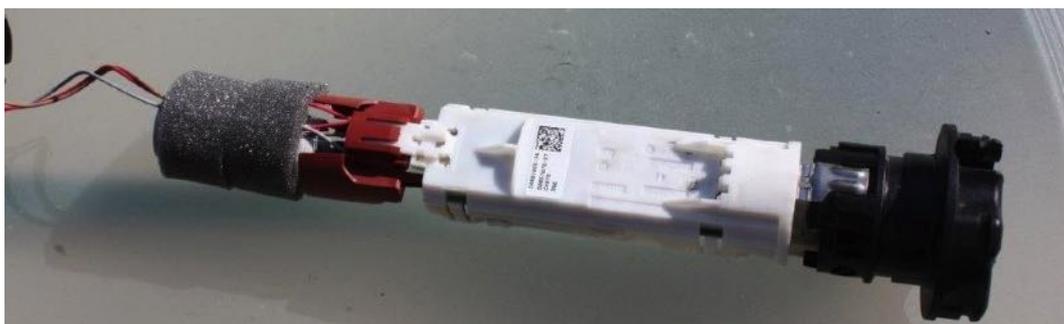
Une fois la collerette dentée enlevée, la vis de maintien latérale est aisément accessible.



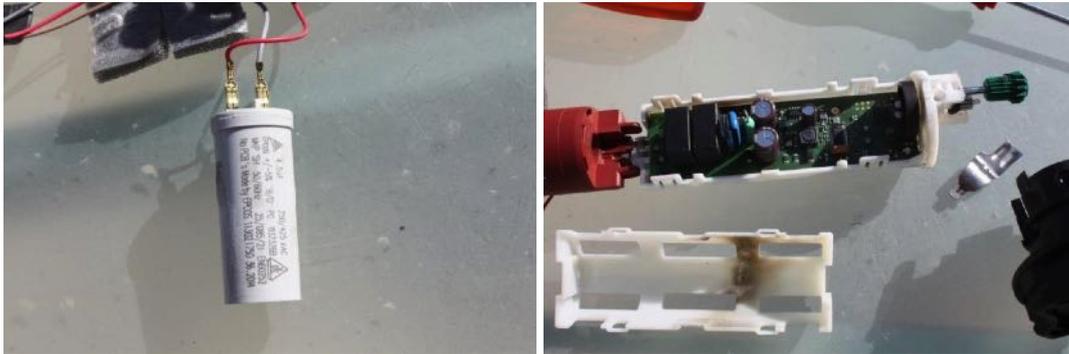
Il reste une vis qui maintient l'ensemble, au centre du moyeu. Cette vis est très aisée à dévisser et l'ensemble peut se retirer du tube métallique.



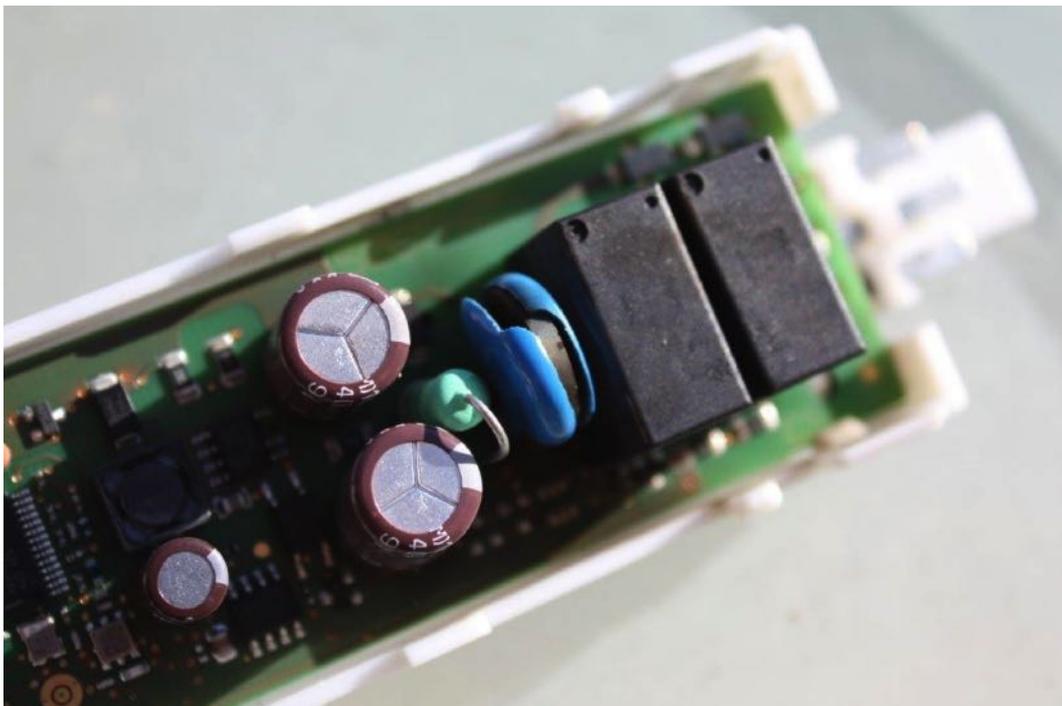
Toute la partie électronique de commande est alors accessible.



Le condensateur et la partie commande peuvent être contrôlés.



Dans ce cas de sinistre, nous nous apercevons que la partie électronique de commande a été endommagée. Une varistance a éclaté.



Nous suspectons une surtension d'être à l'origine des dommages constatés.

Par contre, le moteur électrique n'est pas accessible, nous ne pourrions pas vérifier si cet élément a été endommagé.

A travers cet exemple concret, nous avons pu illustrer que la partie électronique de commande d'un moteur de volet roulant peut-être facilement vérifiée et, pourquoi pas, remplacée.

Compte-tenu du prix de cet appareil, une réparation sur site est difficilement envisageable, mais une collecte des appareils endommagés et une réparation dans un centre spécialisé pourrait être une solution viable.



3.2 Les pompes à chaleur & climatisation, multi-split

Il existe quatre différents types de pompe à chaleur (PAC) :

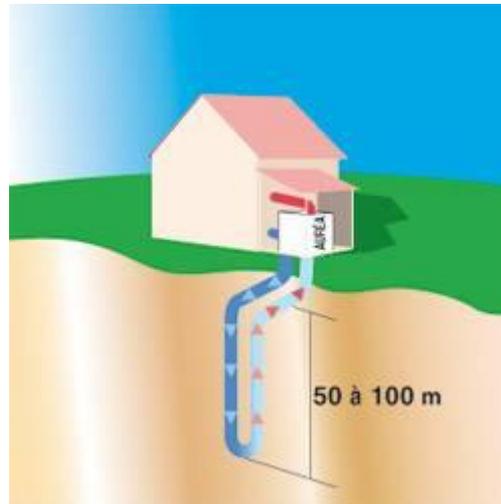
- **La pompe à chaleur air/eau** puise la chaleur dans l'air extérieur et l'amène, via un circuit d'eau, à l'intérieur de l'habitation. Cette chaleur peut être utilisée pour l'eau chaude sanitaire, pour le chauffage. Ce système peut, en outre, être utilisé en combinaison avec un chauffage au sol.

Une pompe à chaleur air-eau se choisit principalement pour équiper les maisons existantes d'un système énergétique respectueux de l'environnement. Lors d'une rénovation, il n'est pas toujours possible, en effet, d'installer une pompe à chaleur géothermique. Une PAC qui puise la chaleur dans l'air extérieur représente donc une bonne solution, étant donné que ce système ne demande pas de modification d'envergure (par exemple un forage dans le sol).

- **La pompe à chaleur air/air** puise la chaleur dans l'air extérieur et souffle celle-ci sous la forme d'air chaud, de manière à chauffer les pièces de la maison. En été, le processus de la PAC air-air peut être inversé, de manière à ce que l'installation fonctionne comme un système de climatisation (refroidissement des pièces de la maison).



- **La pompe à chaleur sol-eau** utilise la chaleur présente dans le sous-sol. Lors de l'installation d'une PAC sol-eau, un choix est à faire entre deux systèmes :
 - Un réseau de captation vertical : idéal lorsqu'il y a peu d'espace. Néanmoins, il faut tenir compte d'un coût d'investissement assez élevé en raison de la profondeur du forage.



- Un réseau de captation horizontal qui s'installe à environ un mètre et demi de profondeur. Le forage est donc moins onéreux que dans le cas d'un réseau vertical.



- **La pompe à chaleur eau-eau** : elle extrait la chaleur présente dans l'eau souterraine (température entre 7 et 12 °C). Pour pouvoir utiliser l'eau souterraine, l'installation comprend :
 - d'une part, une pompe de profondeur, qui va pomper l'eau présente dans le sol,
 - et, d'autre part, une fosse d'évacuation, pour récupérer l'eau souterraine utilisée.

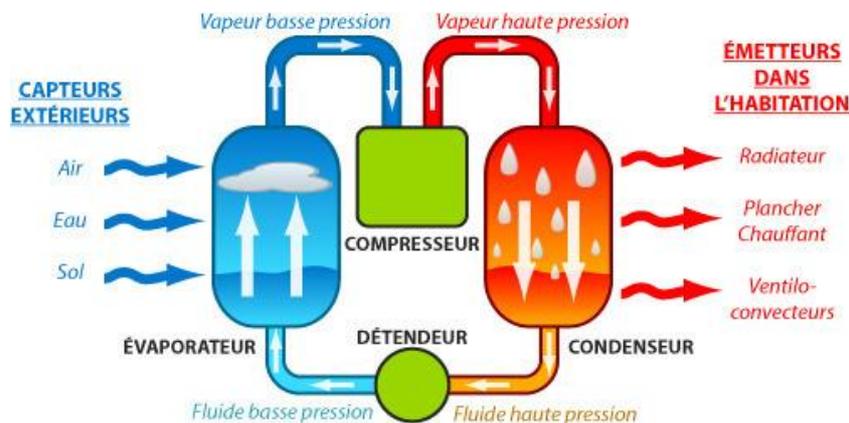
La pompe à chaleur eau-eau fournit le rendement le plus élevé de tous les systèmes de PAC. L'inconvénient du système de PAC eau-eau est qu'il faut forer deux fosses profondes, ce qui entraîne un coût d'investissement plus élevé.



Quel que soit le type de PAC, leur composition reste sensiblement la même.

Nous trouvons les composants suivants :

- carte puissance,
- carte régulation,
- compresseur,
- circulateur (sur les pompes à chaleur),
- ventilateur,
- cartes électroniques diverses,
- carte relais,
- tableau de commandes,
- afficheur.



Compte-tenu que les climatiseurs en split et, par extension, les systèmes à volume de réfrigérant variable (VRV), fonctionnent selon le même principe thermodynamique que les pompes à chaleur à eau, nous traiterons cette famille simultanément.

A la différence des pompes à chaleur à eau dans lequel le cycle thermodynamique se réalise au sein d'une machine monobloc qui alimente un circuit à eau, les machines en split possèdent une unité extérieure intégrant compresseur et condenseur. L'évaporateur est constitué par les unités intérieures.

Le cycle thermodynamique est ainsi scindé entre l'unité extérieure et les unités intérieures. Il ne s'agit plus d'un système monobloc.

Ainsi, le transfert de chaleur entre unités intérieures et unité extérieure s'effectue directement par la circulation du fluide frigorigène sans pompe et non plus par la circulation d'eau. Ces systèmes sont dits « à détente directe ».

Lorsque le système est réversible, le cycle thermodynamique peut être inversé, les fonctions de condenseur et d'évaporateur sont interverties.

Il existe des systèmes dits « mono split » qui ne comptent qu'une unité intérieure et des unités dites « multisplit » qui comportent plusieurs unités intérieures (jusqu'à plusieurs dizaines selon les marques) pour une unité extérieure.

Les compresseurs utilisés fonctionnent soit à débit constant, soit à débit variable (volume de réfrigérant variable : VRV).

Les systèmes à débit constant fonctionnent en mode « tout-ou-rien ».

Les systèmes à débit variable permettent d'adapter la puissance fournie aux besoins. La variation de débit est obtenue par la variation de la vitesse de rotation des compresseurs. Cette variation de vitesse est réalisée par une carte électronique associée au compresseur.

Il existe des systèmes à deux tubes. Chaque unité intérieure est reliée à l'unité extérieure par deux tubes.

Lorsque le système est réversible, la totalité des unités intérieures fonctionnent simultanément, soit en mode chauffage, soit en mode refroidissement.

Il existe également des systèmes VRV à trois tubes à récupération d'énergie. Chaque unité peut indépendamment des autres fonctionner soit en chauffage, soit en refroidissement. Cela permet des économies en transférant l'énergie récupérée sur les unités en mode refroidissement vers les unités en mode chauffage.

Les unités intérieures sont de différents types :

- murales,
- plafonniers,
- gainables.



Les unités extérieures comportent 1 ou plusieurs compresseurs.



3.2.1 Les problèmes rencontrés

La majorité des problèmes rencontrés sur les pompes à chaleur sont d'ordre électrique, excepté sur les compresseurs.

Plusieurs composants peuvent être endommagés lors d'un sinistre d'origine électrique.

Par ordre de fréquence, nous constatons les dommages suivants :

- Carte électronique



Un ou plusieurs composants de la carte électronique principale peuvent être endommagés suite à une surtension.

- Le compresseur.

Les dysfonctionnements rencontrés sont les suivants :

- D'origine mécanique :
 - serrage des bagues de palier,
 - usure des pompes à huile,
 - usure des roulements,
 - pannes affectant les ensembles piston et cylindre.



- D'origine électrique :
 - bobinage hors d'usage,



Les compresseurs sont des machines très résistantes.

Les pannes qui les affectent proviennent, en général, de leur environnement de fonctionnement lorsqu'ils sont soumis à des conditions de marche défavorables qui peuvent être dues à une mauvaise installation ou un dimensionnement inadapté..

Les pannes du système peuvent être liées à des conditions anormales d'installation.

Les unités extérieures ne sont parfois pas installées dans des conditions leur permettant une ventilation suffisante.

On trouve parfois des unités extérieures installées à l'intérieur, dans un vide sanitaire. Elles ne peuvent alors plus évacuer la chaleur.

Pour les machines à split, l'installation du réseau et son raccordement doivent être réalisés par un frigoriste qui doit prendre certaines précautions pour assurer la pérennité de fonctionnement.

Un tirage au vide permet d'enlever l'humidité des réseaux. La présence d'humidité peut engendrer la casse de compresseurs.

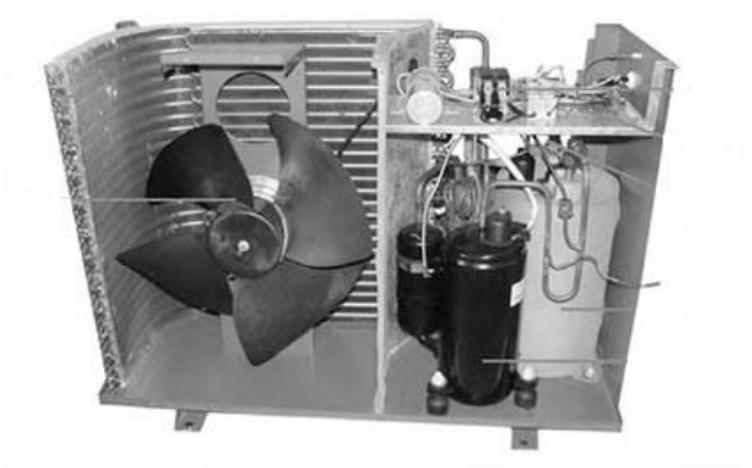
Lorsque la quantité de fluide frigorigène et la quantité d'huile ne sont pas correctes, les compresseurs peuvent également être détériorés.

Ce type de pathologie est moins présent dans les pompes à chaleur monoblocs pour lesquelles le montage du circuit frigorifique est mieux maîtrisé, car réalisé en usine.



- Le Ventilateur.

Sur le groupe extérieur, le moteur électrique peut être endommagé lors d'un sinistre d'origine électrique. En cas de blocage d'une pale, le moteur peut surchauffer et entraîner la destruction du bobinage.



- Le Circulateur.

Le circulateur de la pompe à chaleur se présente sous la forme d'un moteur électrique équipé d'une roue à aubes.

Son rôle, au sein d'une installation de chauffage, consiste à faciliter la circulation du liquide caloporteur (souvent de l'eau) dans la tuyauterie et à faire remonter la pression. Le circulateur aide ainsi à l'acheminement du liquide caloporteur vers les émetteurs de chaleur qui peuvent être des radiateurs ou des planchers chauffants.



Cet élément (photo ci-dessus) est composé d'un moteur électrique dont le bobinage a été endommagé. C'est le type principal d'endommagement que nous rencontrons sur cet appareil.



- Le Régulateur :

Le régulateur loi d'eau est un boîtier électronique qui procède à des mesures thermiques extérieures pour ajuster l'eau du circuit intérieur.

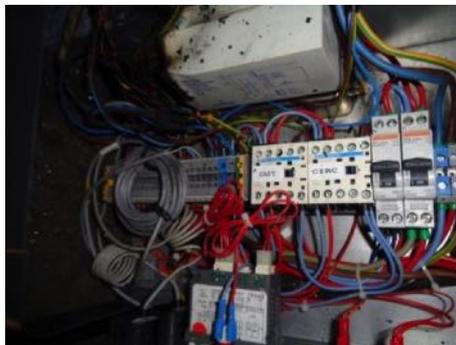
Ce boîtier électronique est souvent endommagé en cas de surtension.



- Le Faisceau :

Le faisceau électrique est un ensemble de câbles permettant de relier électriquement tous les composants électroniques de la pompe à chaleur.

Un ou plusieurs câbles électriques peuvent être endommagés suite à un écrasement ou une contrainte de la gaine protectrice par exemple, ou suite à un échauffement dû à problème de serrage des cosses.



3.2.2 Les causes potentielles

A travers les dossiers gérés, nous constatons que la cause des dommages la plus fréquente reste la surtension.

De la même façon que les dossiers concernant les volets roulants pour les problèmes d'ordre électrique, les dysfonctionnements rencontrés peuvent s'expliquer principalement par plusieurs facteurs (du moins fréquent ou plus fréquent) :

- Une surtension de manœuvre :
Surtensions à haute fréquence ou oscillatoire amortie causées par une modification du régime établi dans un réseau électrique (lors d'une manœuvre d'appareillage sur le réseau HTA).
- Une surtension d'origine atmosphérique :
Surtension générée lors d'un orage (remontée de potentiel de terre) qui peut endommager l'ensemble condensateur-moteur.
La foudre est un phénomène électrique à haute fréquence qui produit des surtensions sur tous les éléments conducteurs et, particulièrement sur les câblages et les équipements électriques.
- Une surtension ayant pour origine le réseau de distribution d'électricité.

Une surtension est la résultante d'un incident électrique dont les causes peuvent être les suivantes :

- une avarie sur un transformateur sur le réseau de distribution d'électricité.
- une rupture d'un conducteur de neutre sous le réseau de distribution d'électricité

Nous constatons néanmoins des dommages matériels consécutifs à plusieurs interruptions de fourniture de courant. Ces défauts résultent de la fragilité de certains composants. En effet, des matériels électriques raccordés sur le réseau de distribution d'électricité doivent être conçus pour fonctionner en régime normal d'exploitation et doivent également faire face aux événements affectant l'exploitation du réseau (décrets 2003-229 article 8), notamment en cas de travaux ou de régimes perturbés. Ces équipements conformes sont censés pouvoir supporter des coupures et remises sous tension en l'absence de surtension.

A travers les dossiers de sinistre que nous avons géré, les compresseurs et les cartes électroniques des pompes à chaleur semblent être des composants relativement fragiles par rapport à d'autres appareils.

3.2.3 Les possibilités de réparation

Nous constatons que la majorité des composants de la pompe à chaleur ne sont pas réparables. En effet, si d'un point de vue technique il est possible de remettre en état un ventilateur dont le moteur a été endommagé via un rebobinage du moteur, cette réparation est économiquement non viable actuellement, cela pour plusieurs points :

- L'entreprise qui intervient pour remettre en état n'a pas les connaissances techniques pour investiguer sur la défaillance interne du composant endommagé.
- L'entreprise qui intervient n'a pas les moyens techniques pour investiguer sur le mode de défaillance du composant.
- Le coût de la réparation d'un moteur électrique par une entreprise spécialisée n'est pas compétitif économiquement parlant par rapport à un produit neuf.
- La réparation d'un composant endommagé nécessite l'envoi chez un prestataire identifié et la notion de délai va être incompatible avec la nécessité de remettre en état rapidement l'installation pour rendre habitable l'habitation (fonction chauffage).



- Le fabricant ne propose que de remplacer le sous-ensemble endommagé.

Dès lors, la réparabilité de la pompe à chaleur se limite à remplacer le composant endommagé par un composant identique.

Néanmoins, nous avons pu constater que de nombreux constructeurs de pompe à chaleur sont désormais absents du marché et, de ce fait, il est impossible d'approvisionner des cartes électroniques ou autres composants.

Contrairement à ce que nous rencontrons, sur les chaudières par exemple, il est très difficile voire impossible d'upgrader un appareil en installant de nouveaux composants plus élaborés.

Enfin, concernant la réparation des compresseurs hermétiques, nous avons pris contact avec une entreprise spécialisée dans la réparation et recyclage des compresseurs frigorifiques et nous avons pu constater les faits décrits ci-après :

3.2.3.1 La réparation des compresseurs frigorifiques

➤ Les compresseurs

Les machines de production frigorifique utilisent principalement des compresseurs mécaniques. Le compresseur est l'élément mécanique principal de la machine. Il permet d'apporter l'énergie mécanique nécessaire au fluide frigorigène pour assurer la circulation du fluide et les changements de pression qui vont permettre la production de froid.

Le compresseur est entraîné par un moteur, en général électrique.

Les compresseurs peuvent être classés selon le principe de compression utilisé (piston, piston rotatif, spirale, vis, centrifuge)

Il existe trois familles de compresseurs :

- les compresseurs ouverts,
- les compresseurs hermétiques,
- les compresseurs semi-hermétiques.

Dans les compresseurs ouverts, le compresseur et le moteur sont deux entités séparées et indépendantes reliées par un arbre de transmission.

Les compresseurs hermétiques et semi-hermétiques contiennent, au sein d'un unique carter, le moteur et le compresseur. Le moteur est noyé dans le fluide dont la circulation le refroidit.

Le carter du compresseur hermétique est fermé par soudure. L'ensemble des éléments du moteur et du compresseur sont donc inaccessibles.

Chaque famille de compresseur possède ses avantages et ses inconvénients et correspond à un usage particulier.



Les compresseurs ouverts correspondent plutôt aux grosses puissances.



La liaison tournante entre moteur et compresseur étant extérieure au compresseur est une source potentielle de fuite. Le compresseur est démontable et donc réparable. Les joints entre les différentes parties démontables du carter sont une source de fuites.

Les compresseurs semi-hermétiques ont l'avantage de ne pas avoir de liaison tournante extérieure ce qui empêche les fuites. Le carter étant démontable, la machine est donc réparable et possède donc des joints extérieurs statiques qui sont également une source de fuite.



Les compresseurs hermétiques entièrement fermés par soudure n'ont pas de source de fuite (autres qu'au niveau des raccordements de fluide). Ils ne sont, par contre, pas réparables puisque leurs composants sont inaccessibles.



Les compresseurs hermétiques correspondent à des petites puissances. Ils ont l'avantage d'être bon marché et de prendre moins de place au sein d'une machine.

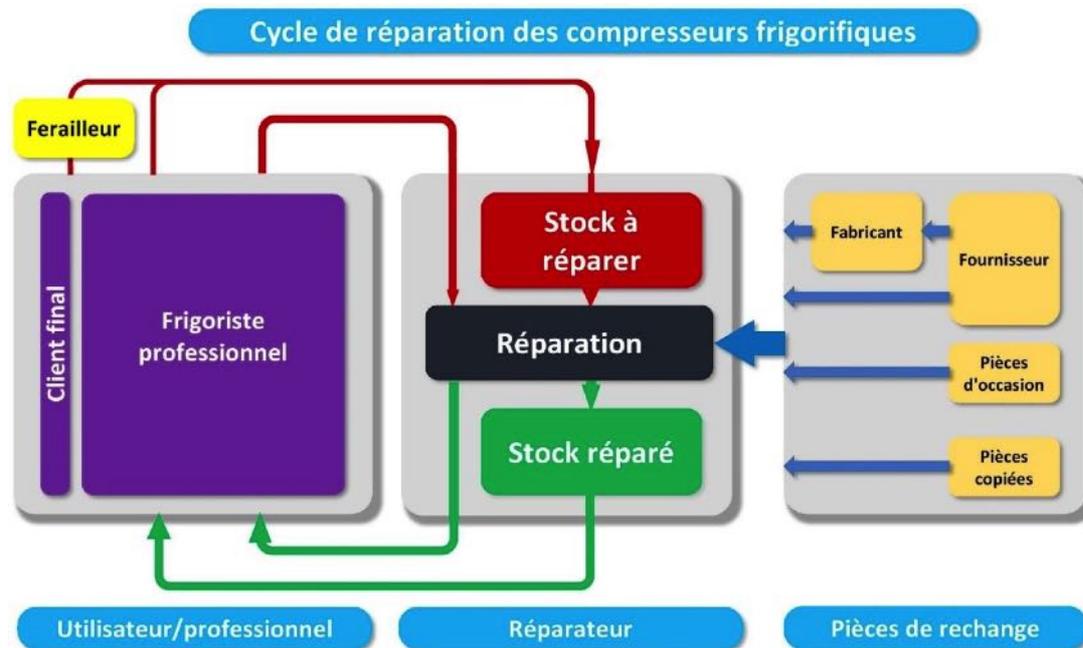
➤ L'activité de la société

Il y a, en fait, deux activités distinctes correspondant à la réparation des compresseurs :

- la réparation proprement dite d'un compresseur en panne confié par un client,
- les échanges standards.



Des compresseurs en panne sont réparés pour être stockés en attente d'être vendus dans le cadre d'un remplacement.



Environ 1500 compresseurs sont réparés chaque année par cette entreprise. Le marché français est d'environ 4500 compresseurs réparés chaque année. Environ 30000 compresseurs neufs sont mis sur le marché chaque année en particulier comme composant de machines frigorifiques. Le taux de réparation des compresseurs est donc de 15%.

Le stock permanent de l'entreprise est constitué de 300 compresseurs et de 3000 pièces détachées.



Les clients sont à 95% constitués de frigoristes et de 5% d'utilisateurs finaux. La moyenne d'âge des compresseurs réparés est en baisse régulière. Elles étaient de 10 à 14 ans il y a 10 ans mais est désormais de 8 à 10 ans. Certains grands fabricants de compresseurs comme TRANE ou CARRIER tentent de protéger leurs compresseurs de l'intervention d'un tiers. Ils imposent de faire appel à leur service pour re-paramétrer des cartes électroniques après que le compresseur ait été débranché.

➤ Filière de réparation

Quatre prestataires exercent une activité similaire en France, une dizaine en Grande Bretagne. En Allemagne, ce type d'activité n'est pas développé. Aux Etats Unis, par contre, il y a environ 200 entreprises qui pratiquent cette activité.

➤ La réparation

La viabilité économique de la réparation vient du fait que 75% de la matière première qui compose les compresseurs est recyclée. La réparation est possible quand le bloc compresseur n'est pas endommagé.

➤ Prix

Le prix d'un compresseur reconditionné est de 40 à 50% moins élevé que celui d'un compresseur neuf. En fonction du type et de la taille du compresseur, le prix varie entre 2000 et 14000 € HT.

➤ Délai

Pour les échanges standards, le délai est évidemment immédiat puisque les compresseurs sont en stock.

Pour les réparations, le délai dépend de la rareté de la référence des compresseurs :

Pour les plus courants, le délai de réparation est de 2 à 3 jours pour les compresseurs à pistons, de 8 jours pour les compresseurs à vis.

Pour les compresseurs moins communs le délai de réparation est de 8 à 15 jours.

Les pièces de rechange commandées aux Etats-Unis, gros pourvoyeur, peuvent être livrées en 24 heures.

➤ Provenance des pièces de rechange

Pendant la période où le compresseur bénéficie d'une protection au titre de la propriété industrielle, les pièces de rechange sont fournies par le fabricant des compresseurs.

Au terme de cette période de protection, les fournisseurs du fabricant des compresseurs procurent également des pièces détachées.

Cela permet de s'approvisionner à moindre coût en pièces d'origine.

Les pièces de rechange peuvent également provenir des distributeurs.

Les joints plats qui assurent l'étanchéité des assemblages peuvent être refabriqués par des sociétés spécialisées. Sur la base d'un joint usé, la forme mais aussi la matière peuvent être analysées et reproduites.

On trouve des pistons aux cotes de réparation supérieures au diamètre d'origine qui permettent, comme pour un moteur à explosion, d'effectuer un réalésage des cylindres.

Les ferrailleurs constituent également une source d'approvisionnement. Les anciens compresseurs ainsi récupérés sont reconditionnés et remis en vente.



3.2.3.2 La réparabilité des compresseurs hermétiques

Ces compresseurs ne sont pas conçus pour être réparables puisque, assemblés par soudure, leurs composants sont inaccessibles.

Les fabricants ne proposent d'ailleurs pas de pièce de rechange pour ce type de compresseur.

Il s'agit donc de matériel jetable quel que soit le niveau de gravité de la panne qui peut les affecter.

Par exemple, une simple déconnexion électrique à l'intérieur du compresseur le met hors d'usage.

Pourtant, techniquement, ces compresseurs sont réparables.

C'est d'ailleurs l'origine de cette société spécialisée dont l'activité initiale comprenait la réparation de ce type de compresseur.

Les cloches de ces compresseurs hermétiques étaient ouvertes par découpe, ce qui permettait d'intervenir en réparation sur les différents éléments des compresseurs. La cloche était ensuite refermée par soudure.

L'opération n'était évidemment pas prévue par le fabricant.

Cette entreprise a abandonné cette activité au début des années 90 en raison essentiellement de contraintes réglementaires sur les appareils à pression, en effet, les appareils refermés devant être soumis à des essais en pression.

➤ Aspect économique

Si, techniquement, la réparation des compresseurs hermétique est possible, elle n'est pas nécessairement économiquement rentable.

La réparation de ces compresseurs nécessite une découpe préalable de l'enveloppe, avant toute intervention, pour accéder aux composants électriques et mécaniques, puis de refermer le compresseur en soudant de nouveau le carter. Cette opération n'est pas prévue par les constructeurs, mais demeure possible. Elle peut être réalisée par des professionnels qui apportent le soin nécessaire à cette opération.

Les compresseurs hermétiques de petite puissance (quelques kW) utilisés dans les installations domestiques ont un prix d'achat très faible, de l'ordre de quelques centaines d'euros. La réparation de ces compresseurs n'est pas économiquement intéressante.

➤ Savoir faire

Le personnel possède un savoir-faire reconnu.

L'expérience est importante.

Une première partie de l'effectif a de 25 à 27 ans d'ancienneté. Une autre de 14 à 20 ans d'ancienneté.

Le dernier arrivant est là depuis 7 ans environ.

➤ Garantie

Avant 2005, la durée de garantie apportée était de 15 mois sur les compresseurs, contre 12 mois de garantie constructeur.

Aujourd'hui, après l'établissement de fiches de mise en service détaillant les actions correctives, la durée de garantie a été portée à 24 mois. En raison de la saisonnalité d'utilisation des machines de refroidissement, ces 24 mois correspondent à une durée effective de 12 mois de fonctionnement.



➤ Conclusions

Une filière de réparation viable des compresseurs existe. Elle fonctionne pour les compresseurs ouverts et semi-hermétiques.

Cependant, la majorité des compresseurs utilisés dans les petites et moyennes installations de chauffage par pompe à chaleur et de climatisation et, notamment, les compresseurs hermétiques, ne peuvent pas être réparés.

Cette filière fonctionne grâce au savoir-faire et à l'expérience du personnel.

3.3 Les chaudières

Concernant les chaudières, nous rencontrons sur le marché, différents types de chaudière. Les chaudières installées dans les maisons individuelles ou dans les habitats collectifs peuvent être de type :

- **Electrique** : Une résistance électrique chauffe l'eau chaude qui monte dans le circuit. L'eau froide descend, le mouvement est permanent. L'eau chaude est libérée dans le circuit par une valve à pression, l'eau froide repart vers la chaudière grâce à une autre valve pour être chauffée.
- **Fioul** : La combustion du fioul produit de la chaleur, qui elle-même va réchauffer un circuit d'eau, permettant ainsi de la réchauffer. Cette eau permettra d'alimenter les radiateurs, le plancher chauffant, etc. La chaleur produite par la combustion du fioul domestique peut également servir à chauffer l'eau sanitaire qui est utilisée au quotidien.
- **Gaz** : La combustion du gaz produit de la chaleur, qui elle-même va réchauffer un circuit d'eau, permettant ainsi de la réchauffer. Cette eau permettra d'alimenter les radiateurs, le plancher chauffant, etc. La chaleur produite par la combustion du gaz peut également servir à chauffer l'eau sanitaire qui est utilisée au quotidien.
- **A bois** : La combustion du bois produit de la chaleur, qui elle-même va réchauffer un circuit d'eau, permettant ainsi de la réchauffer. Cette eau permettra d'alimenter les radiateurs, le plancher chauffant, etc. La chaleur produite par la combustion du bois peut également servir à chauffer l'eau sanitaire qui est utilisée au quotidien.
- **A pellet** : La combustion des pellets produit de la chaleur, qui elle-même va réchauffer un circuit d'eau, permettant ainsi de la réchauffer. Cette eau permettra d'alimenter les radiateurs, le plancher chauffant, etc. La chaleur produite par la combustion des pellets peut également servir à chauffer l'eau sanitaire qui est utilisée au quotidien.

Quelques soit les types de chaudière, la composition reste sensiblement la même.



Nous trouvons notamment les composants suivants (liste non exhaustive) :

- Brûleur,
- carte principale,
- tableau de commandes,
- pompe,
- régulation,
- faisceau,
- moteur de ventilateur,
- circulateur.

3.3.1 Les problèmes rencontrés

La majorité des problèmes rencontrés sur les chaudières sont d'ordre électrique. Plusieurs composants peuvent être endommagés lors d'un sinistre d'origine électrique.

Par ordre de fréquence, nous constatons les dommages suivants en prenant l'exemple d'une chaudière fioul :

- Carte électronique.



Un ou plusieurs composants de la carte électronique principale peuvent être endommagés suite à une surtension.

- Régulateur.

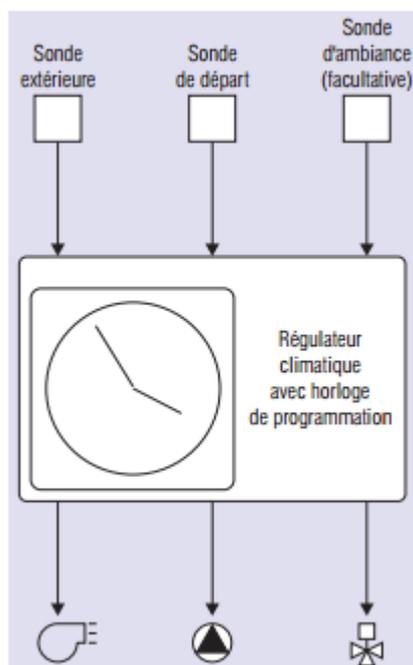
Un régulateur climatique est un appareil électronique qui mesure en permanence à l'aide de sondes :

- la température extérieure,
- la température de l'eau qui circule dans l'installation (température de départ),
- la température ambiante dans un local de référence (facultatif).

Suivant la température extérieure mesurée, le régulateur module la température de l'eau qui circule dans l'installation afin de compenser les pertes thermiques du bâtiment.



Selon le type d'installation, le régulateur climatique commande directement l'enclenchement et le déclenchement de la chaudière (gaz ou fuel), ou positionne une vanne mélangeuse motorisée.



Sur le régulateur, une carte électronique peut avoir été endommagée lors d'un sinistre.

- Tableau de commande.



Cet appareil est composé de plusieurs cartes électroniques, souvent le régulateur est intégré au tableau de commande. Une ou plusieurs cartes électroniques peuvent avoir été endommagées lors d'un sinistre.

- Circulateur.

Le circulateur de chaudière se présente sous la forme d'un moteur électrique équipé d'une roue à aubes. Son rôle au sein d'une installation de chauffage consiste à faciliter la circulation du liquide caloporteur (souvent de l'eau) dans la tuyauterie et à faire remonter la pression.

Le circulateur aide ainsi à l'acheminement du liquide caloporteur vers les émetteurs de chaleur qui peuvent être des radiateurs ou des planchers chauffants.



Le circulateur de chauffage a également pour rôle de faire revenir le liquide caloporteur vers la chaudière une fois qu'il a transité par le circuit de chauffage. Le liquide entame ensuite un nouveau cycle.



Cet élément est composé d'un moteur électrique dont le bobinage peut être endommagé.

- Ventilateur / Extracteur.

L'extracteur permet d'évacuer les gaz brûlés.



Cet élément est composé d'un moteur électrique dont le bobinage peut être endommagé

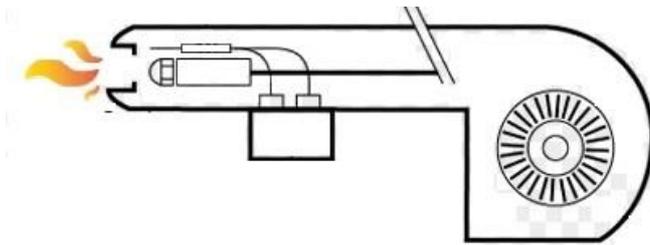
- Brûleur.

C'est une pièce mécanique composée de plusieurs éléments :

- La pompe à fuel : elle alimente la chaudière avec le fuel provenant de la cuve. Elle est équipée d'un régulateur de pression qui renvoie le surplus de fuel nécessaire à la combustion.
- Le ventilateur : il fournit au brûleur l'air nécessaire à la combustion du fuel. Son bon fonctionnement permet de minimiser les résistances que rencontre l'air jusqu'à la flamme et les résistances rencontrées par la flamme dans la chambre de combustion.
- Le gicleur : c'est la pièce maîtresse du brûleur. Le gicleur permet d'envoyer le fioul en gouttelettes de manière très dispersée afin d'en favoriser son mélange pour la combustion.



- Le réchauffeur de fuel : il permet de rendre le fuel contenu dans la cuve moins visqueux, afin d'en favoriser la combustion. Cette viscosité initiale est liée à la température de stockage dans la cuve mais aussi aux caractéristiques propres du fuel contenu dans la cuve.
- Les électrodes : ils permettent d'allumer la flamme.
- La tête de combustion : elle est composée de deux éléments : un embout qui permet de guider la flamme et un déflecteur qui permet de maintenir la flamme.

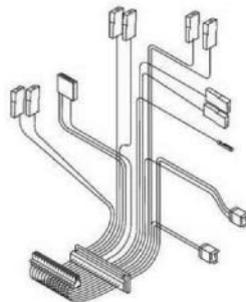


Lors d'un sinistre, plusieurs composants électroniques peuvent être endommagés.

- Faisceau.

Le faisceau électrique est un ensemble de câbles permettant de relier électriquement tous les composants électroniques de la chaudière.

Un ou plusieurs câbles électriques peuvent être endommagés suite à un écrasement ou une contrainte de la gaine protectrice par exemple, ou suite à un échauffement dû au problème de serrage des cosses.



- L'électrovanne.

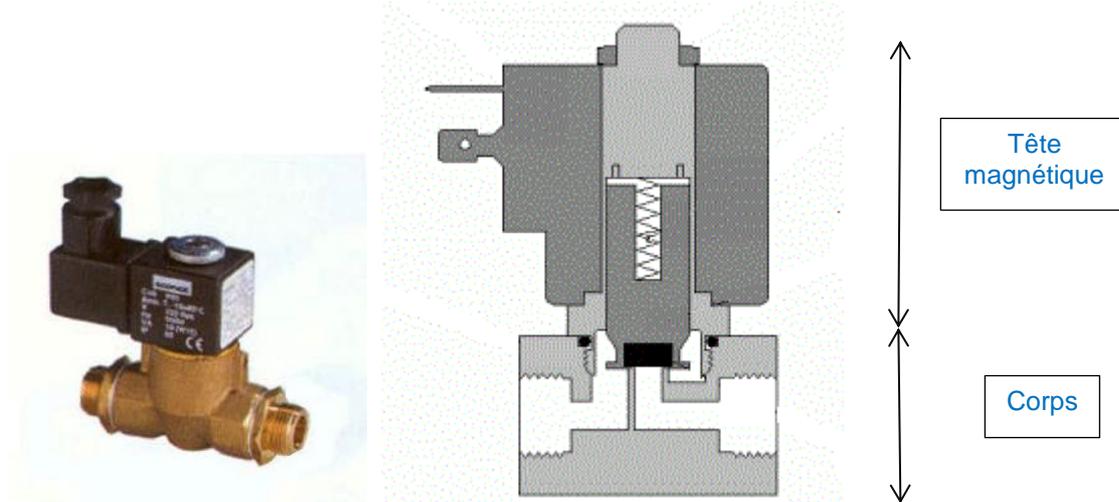
C'est une vanne qui fonctionne de manière automatique. Elle sert à alimenter le gicleur en fuel en quantité suffisante pour la combustion.

Une électrovanne est composée de deux parties :

- Une tête magnétique constituée principalement d'une bobine, tube, culasse, bague de déphasage, ressort(s).
- Un corps, comprenant des orifices de raccordement, obturés par clapet, membrane, piston, etc. selon le type de technologie employée.



L'ouverture et la fermeture de l'électrovanne sont liées à la position du noyau mobile qui est déplacé sous l'effet du champ magnétique, engendré par la mise sous tension de la bobine.



Lors d'un sinistre d'origine électrique, la tête magnétique peut être endommagée (bobine grillée), ce qui nécessite le remplacement de l'électrovanne complète.

Nous rencontrons moins fréquemment des problèmes d'origine mécanique sur les composants suivants :

- Circulateur – pompe : Un blocage mécanique de la roue à aubes du circulateur peut entraîner une surchauffe du moteur électrique et sa destruction.
- Ventilateur / extracteur : Un blocage mécanique de la roue de l'extracteur peut entraîner une surchauffe du moteur électrique et sa destruction.
- Foyer : Le foyer peut être endommagé en cas de surpression, nous avons pu constater en cas de dysfonctionnement d'une soupape de sécurité, une implosion du foyer.



3.3.2 Les Causes potentielles

A travers les dossiers gérés, nous constatons que la cause des dommages la plus fréquente reste la surtension.

De la même façon que les dossiers concernant les volets roulants, pour les problèmes d'ordre électrique, les dysfonctionnements rencontrés peuvent s'expliquer principalement par plusieurs facteurs (du moins fréquent ou plus fréquent) :

- Une surtension de manœuvre : surtensions à haute fréquence ou oscillatoire amortie causées par une modification du régime établi dans un réseau électrique (lors d'une manœuvre d'appareillage sur le réseau HTA).
- Une surtension d'origine atmosphérique : surtension générée lors d'un orage (remontée de potentiel de terre) pouvant endommager l'ensemble condensateur-moteur. La foudre est un phénomène électrique à haute fréquence qui produit des surtensions sur tous les éléments conducteurs et, particulièrement, sur les câblages et les équipements électriques.
- Une surtension ayant pour origine le réseau de distribution d'électricité

Une surtension est la résultante d'un incident électrique dont les causes peuvent être les suivantes :

- une avarie sur un transformateur sur le réseau sous concession de distribution d'électricité,
- une rupture d'un conducteur de neutre sur le réseau sous concession de distribution d'électricité.

Nous constatons néanmoins des dommages matériels consécutifs à plusieurs interruptions de fourniture de courant. Ces défauts résultent de la fragilité de certains composants. En effet, des matériels électriques raccordés sur le réseau de distribution d'électricité doivent être conçus pour fonctionner en régime normal d'exploitation et doivent également faire face aux événements affectant l'exploitation du réseau (décrets 2003-229 article 8), notamment en cas de travaux ou de régimes perturbés. Ces équipements conformes sont censés pouvoir supporter des coupures et remises sous tension en l'absence de surtension.

3.3.3 Les possibilités de réparation

Majoritairement, l'ensemble des composants de la chaudière ne sont pas réparables. En effet, si d'un point de vue technique il est possible de remettre en état un extracteur dont le moteur a été endommagé par un rebobinage du moteur, cette réparation est économiquement non viable actuellement, cela pour plusieurs points :

- L'entreprise qui intervient pour remettre en état n'a ni les connaissances, ni les moyens techniques pour investiguer sur la défaillance interne du composant endommagé.
- Le coût de la réparation d'un moteur électrique par une entreprise spécialisée n'est pas compétitif économiquement parlant par rapport à un produit neuf.
- La réparation d'un composant endommagé nécessite l'envoi chez un prestataire identifié et la notion de délai va être incompatible avec la nécessité de remettre en état rapidement l'installation pour rendre habitable l'habitation.
- Le fabricant ne propose que de remplacer le sous-ensemble endommagé.



Dès lors, la réparabilité de la chaudière se limite à remplacer le composant endommagé par un composant identique.

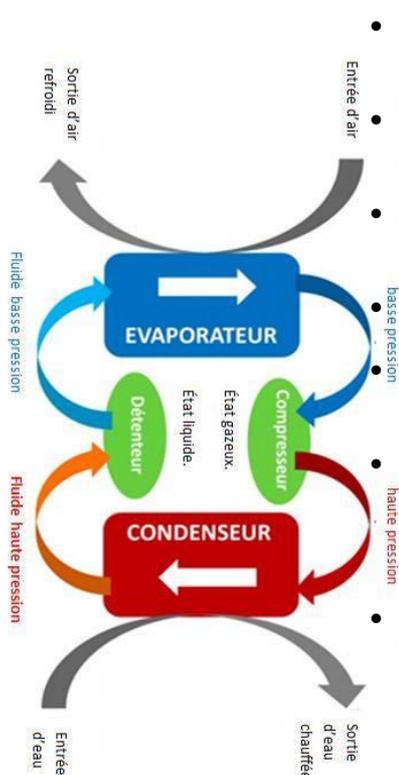
Néanmoins, nous avons pu constater, sur quelques dossiers, que l'indisponibilité des pièces détachées d'une chaudière peut être contournée en adaptant des composants plus modernes, sur des chaudières déjà anciennes.

Nous constatons aussi que certains composants, tels les circulateurs, peuvent être approvisionnés chez différents constructeurs. En effet, des produits génériques peuvent être adaptés.

3.4 Chauffe-eau thermodynamique

Un chauffe-eau thermodynamique est un système de production d'eau chaude, composé principalement d'une **pompe à chaleur** et d'un **ballon de stockage d'eau**, qui capte l'air ambiant du domicile où il est installé, pour en extraire les calories et les utiliser pour chauffer l'eau sanitaire.

Le module pompe à chaleur indépendant est composée :



- D'un évaporateur : c'est un radiateur qui capte la chaleur de l'environnement.
- D'un condenseur : Il prélève la chaleur de l'air et la restitue amplifiée à l'eau.
- D'un compresseur : il comprime le fluide frigorigène (à l'état gazeux) pour produire de la chaleur.
- D'un circulateur.
- D'un ventilateur : il brasse l'air à travers le groupe extérieur afin de l'envoyer au système.
- D'un détendeur : il a l'effet inverse du compresseur : il fait passer le fluide frigorigène à l'état de basse pression (qui était dans un état de haute pression suite à son passage dans le compresseur).
- Des cartes électroniques : la carte de puissance, la carte de régulation, la carte de relais, les cartes PCB et d'autres cartes électroniques.

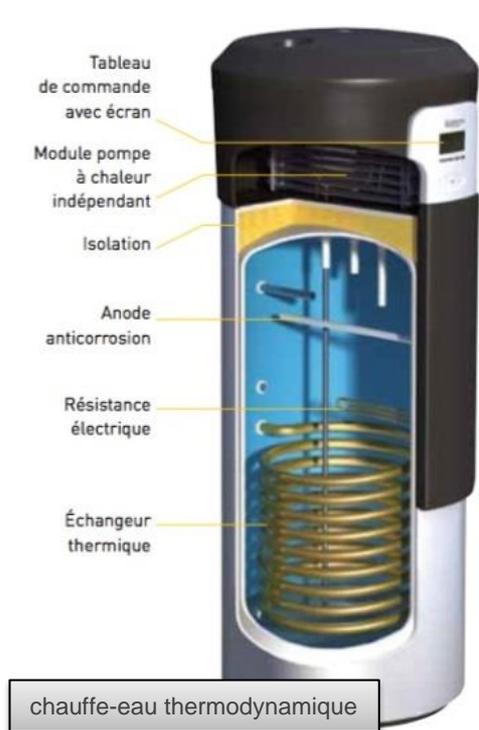
Il fonctionne en suivant un cycle : L'air de la pièce est aspiré par un ventilateur, passe dans l'évaporateur, où il cède ses calories au fluide, dont la température est augmentée par le compresseur.

Le fluide chaud traverse alors le condenseur, un circulateur électrique lui permet de transmettre sa chaleur (via un échangeur « serpentin ») à l'eau du ballon.

Puis il se refroidit dans le détendeur, prêt pour un nouveau cycle.

La partie ballon tampon quant à elle comprend :





- Un ballon préparateur d'Eau Chaude Sanitaire (E.C.S.).
- Un échangeur thermique.
- Une anode anticorrosion.
- Une résistance électrique d'appoint : Par grand froid la production de la pompe à chaleur est diminuée. La résistance permet alors d'apporter un complément de chauffage afin d'avoir toujours de l'eau chaude. De plus, cette résistance permet de maintenir l'eau au-dessus d'un certain seuil de température afin d'éviter le développement de bactéries.
- Un tableau de commande.
- Un afficheur.
- Une à plusieurs cartes électroniques.

3.4.1. Le ballon préparateur E.C.S

Un préparateur d'eau chaude sanitaire est un dispositif délivrant de l'eau chaude à un circuit d'ECS (eau chaude sanitaire).

Un préparateur peut être intégré à une chaudière ou séparé pour différencier les besoins énergétiques du circuit de chauffage de celui d'eau chaude sanitaire.

Le préparateur d'eau chaude sanitaire peut être à accumulation (avec ballon d'eau chaude sanitaire) ou instantané selon le cas.

3.4.2. L'échangeur thermique



échangeur thermique à plaques

Un **échangeur thermique** est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger.

Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides. L'échangeur de chaleur le plus commun est l'échangeur à plaques.



3.4.3. L'anode anticorrosion

L'anode d'un chauffe-eau, aussi appelée anode sacrificielle, sert à protéger la cuve du chauffe-eau de la corrosion. Elle se corrode à la place de la cuve: en s'oxydant, elle se détruit petit à petit à la place des parois de la cuve.

La durée de vie du chauffe-eau dépend directement de la durée de vie de son anode. Pour que le chauffe-eau fonctionne, il faut que le métal qui compose l'anode soit plus réducteur que le métal qu'elle protège.

Généralement en magnésium pour le chauffe-eau, il faut la remplacer lorsqu'il ne reste que 25 % de la partie consommable de l'anode.



3.4.4. La résistance

Une résistance électrique d'appoint sert de secours lorsque la pompe à chaleur ne peut plus assurer la chauffe de l'eau, par exemple :

- lorsque la demande est trop importante,
- lorsque la pompe à chaleur est en panne.



3.4.5. L'afficheur ou le tableau de commande



Le tableau de commande équipant les chauffe-eaux thermodynamiques sert à configurer divers paramètres comme : la production d'eau, sa température, les créneaux horaires où l'eau est chauffée ...

De plus, l'écran permet d'afficher des codes erreurs pour informer l'utilisateur du mauvais fonctionnement de l'appareil.

Un afficheur est constitué d'un écran LCD et d'une carte électronique. Il sert à afficher diverses informations au sujet du chauffe-eau thermodynamique (code défaut par exemple).



Comme l'afficheur est principalement composé de pièces électroniques, il reste sensible aux variations de tension.

3.4.6. Les cartes électroniques

Les cartes électroniques contrôlent diverses fonctions du chauffe-eau thermodynamique. Comme toutes les pièces électroniques, elles sont très sensibles aux variations de tension, coupures de courant et aux surtensions électriques.

Aujourd'hui, les cartes électroniques, lors d'un dommage, sont automatiquement remplacées.

Pour le chauffe-eau thermodynamique se pose le problème de compatibilité. Si on ne retrouve pas la même carte électronique la réparation du système ne sera pas possible.

3.4.7 Les causes potentielles de dommage

Etant donné qu'un chauffe-eau thermodynamique comprend une pompe à chaleur indépendante, tous les dommages que peut subir une pompe à chaleur, peuvent aussi impacter un chauffe-eau thermodynamique. Pour cela se référer au paragraphe 3.2.2 Les causes potentiel.

Les causes de problèmes ou de dysfonctionnements rencontrés sur la partie ballon tampon du chauffe-eau thermodynamique sont :

- Les surtensions ayant pour origine le réseau de distribution d'électricité.
- Les surtensions d'origine atmosphérique : La foudre est un phénomène électrique à haute fréquence qui produit des surtensions sur tous les éléments conducteurs et, particulièrement, sur les câblages et les équipements électriques.
- Les micros coupures répétitives.
- Les baisses de tension.

3.4.8 Les dommages causés directement au module ballon tampon

Comme précisé au paragraphe précédent, tous les dommages qui peuvent être causés à une pompe à chaleur peuvent être causés à un chauffe-eau thermodynamique.

Nous n'en traiterons pas ici car le sujet a déjà été abordé. Pour connaître les détails de ces dommages, se référer au paragraphe 3.2.1 Les problèmes rencontrés.

Les pièces les plus souvent touchées lors d'un dommage sur un chauffe-eau thermodynamique sont les cartes électroniques.

Effectivement comme expliqué au paragraphe concernant les cartes électroniques, ces pièces sont extrêmement sensibles aux variations de tension.

L'impossibilité de les faire réparer et l'obligation technique de les remplacer par un modèle identique rend la réparation de chauffe-eau thermodynamique très complexe.

De plus, étant donné la nouveauté de cette technologie, nous ne pouvons avoir de recul quant à la disponibilité des pièces de rechange.

3.5 Centrales de traitement d'air



Les centrales de traitement d'air (CTA) permettent de réaliser différentes opérations successives sur l'air entrant ou extrait d'un bâtiment de bureau, d'habitation ou industriel.

Au sein d'un même équipement de la CTA, sont regroupées, plusieurs fonctions permettant d'assurer une modification des caractéristiques de l'air avant son introduction dans un réseau de ventilation.

Les principaux traitements sont :

- la ventilation-elle-même, c'est-à-dire la mise en mouvement d'une quantité d'air donnée,
- le chauffage,
- le refroidissement,
- l'humidification,
- la déshumidification,
- la récupération d'énergie,
- le recyclage de l'air,
- la filtration de l'air pour :
 - protéger les installations de ventilation elles-mêmes,
 - protéger l'intérieur des locaux (les occupants ou des produits) de la pollution extérieure,
 - protéger l'extérieur contre la pollution intérieure,
 - la filtration des particules est l'objet principal.



Il existe des CTA monoblocs disponibles sur catalogue qui assurent les fonctions standards : filtration, chauffage, récupération d'énergie, ventilation.

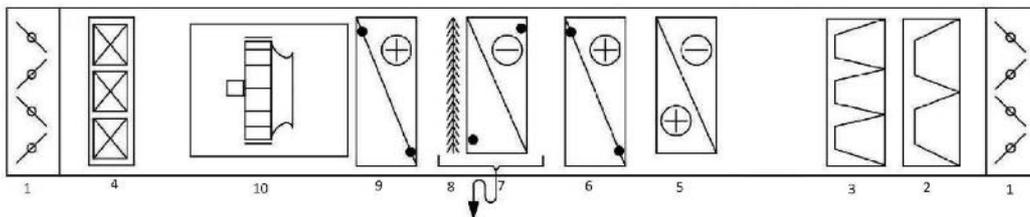




La composition d'une CTA peut également être configurable en fonction des traitements souhaités, qui peuvent être très différents d'une utilisation à l'autre.



Le schéma ci-dessous présente les composants les plus courants d'une CTA.



- 1 : Registres avec servomoteurs
- 2 : 1er rang de filtration, filtre plissé
- 3 : 2^{ème} rang de filtration, filtre à poche
- 4 : 3^{ème} rang de filtration, filtre dit absolu
- 5 : Batterie de préchauffage (à eau ou électrique)
- 6 : Batterie de récupération d'énergie
- 7 : Batterie de refroidissement
- 8 : Pare gouttelette
- 9 : Batterie de chauffage (à eau ou électrique)
- 10 : Ventilateur

3.5.1 Les filtres

Les filtres sont pratiquement toujours présents. Ils permettent d'apporter un air dont le taux de particules et de poussières est réduit. Ils permettent également de protéger les installations de ventilation, gaines et CTA.



Il existe différents niveaux de filtration dépendant de l'usage. Ils correspondent à des technologies de filtration différentes. Il s'agit de matériels consommables pour lesquels la question de la réparabilité ne se pose pas.

Par contre, le maintien en bon état des filtres à travers une maintenance régulière permet d'éviter la dégradation d'autres composants de la CTA, comme les batteries ou les échangeurs de récupération.

3.5.2 Les ventilateurs

Il existe plusieurs types de ventilateurs qui se caractérisent par le principe aéroulique, le type de moteur et le type d'accouplement.

3.5.2.1 Ventilateurs centrifuges

C'est le type que l'on rencontre le plus dans les CTA. Le flux d'air sortant du ventilateur est perpendiculaire au flux entrant.

3.5.2.2 Ventilateurs axiaux

Le flux d'air sortant est parallèle au flux entrant. Ces ventilateurs ne sont pas les plus courants dans les CTA.

3.5.2.3 Pannes et réparations

Les ventilateurs peuvent être l'objet de pannes mécaniques liées essentiellement à une mauvaise utilisation du matériel.

Il est important de choisir les ventilateurs dans la plage de fonctionnement autorisée. Il y a, en général, une vitesse limite de rotation à ne pas dépasser qui dépend de la solidité de la construction.

Utilisé à basse vitesse, un ventilateur peut fonctionner dans une zone dite « de pompage » qui induit une instabilité potentiellement destructrice.

La forme des raccordements des ventilateurs au réseau de gaines doit également permettre d'éviter les perturbations produisant des instabilités.

Les pannes peuvent affecter des pièces en rotation comme la turbine, les paliers ou les roulements, ou des pièces statiques comme la volute.

3.5.3 Type de moteur

- **Les moteurs alternatifs asynchrones** : très répandus dans l'industrie en raison de leur simplicité de construction, de leur standardisation et de leur robustesse, les moteurs asynchrones représentent environ 80% du parc de moteurs électriques. Le principe de fonctionnement réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant, produit par la tension du courant alternatif d'alimentation.
La qualification de moteur asynchrone provient du fait que le rotor ne tourne pas à la même vitesse que le champ magnétique tournant.
- **Les moteurs à commutation électronique** : ce sont des moteurs synchrones à aimant permanent, fonctionnant en courant continu. Ils sont de plus en plus utilisés dans les CTA de petite puissance en raison de leur consommation électrique plus faible. Ils fonctionnent grâce à l'alimentation séquentielle des bobinages du stator pilotée électroniquement.



3.5.3.1 Entraînement Moteur

Le raccordement entre moteur et ventilateur est soit direct, soit indirect.

Dans le cas d'un raccordement direct, l'arbre moteur est directement connecté à l'arbre du ventilateur. Les raccordements indirects sont réalisés au moyen d'un ensemble poulie motrice/ courroies/ poulie réceptrice.

Il peut y avoir plusieurs courroies en parallèle, en fonction de la puissance à transmettre.

Cette transmission nécessite un réglage initial en alignement et en tension qui doit être vérifié périodiquement au même titre que l'usure des courroies.

3.5.3.2 Pannes et réparation

Les pannes des moteurs sont souvent causées par une surcharge électrique due à un blocage mécanique ou à une sollicitation mécanique trop importante.

L'intensité électrique maximale est dépassée alors que les protections électriques ne font pas effet.

Les moteurs asynchrones dont les enroulements électriques sont détériorés peuvent être réparés par rebobinage. Les enroulements de fils de cuivre sont refaits. La filière de réparation existe.

La rentabilité de l'opération de réparation dépend de la taille des moteurs.

3.5.4 Les batteries de réchauffage électrique

Il s'agit de résistances électriques placées au sein du flux d'air pour le réchauffer.

3.5.4.1 Pannes et réparation

Le fonctionnement des résistances en l'absence de flux d'air les fait monter en température et peut provoquer leur destruction.

Une sécurité thermique est en générale présente. Elle permet de couper l'alimentation électrique en cas de surchauffe, mais ne permet pas d'arrêter instantanément la montée en température en raison de l'inertie des matériaux.

Les résistances en panne doivent être remplacées.

3.5.5 Les batteries de réchauffage ou de refroidissement à eau ou à détente directe.

S'agissant du chauffage, les batteries fonctionnent avec de l'eau chaude ou de la vapeur.

Les batteries de refroidissement fonctionnent avec de l'eau glacée ou avec du fluide frigorigène.

Ces batteries sont constituées de tubes en cuivre équipés d'ailettes en aluminium ou en cuivre.

3.5.5.1 Pannes et réparations

Les pannes sont essentiellement des fuites sur les tuyauteries en cuivre.

Il peut s'agir d'une soudure défailante ou d'un phénomène de corrosion chimique ou mécanique. Mais on rencontre souvent des fuites dues au gel du fluide.

Le gel apparaît lorsque les dispositifs destinés à le prévenir sont absents ou non fonctionnels :

- Glycol absent ou taux insuffisant,
- détection antigel absente ou non fonctionnelle.



Suivant l'emplacement des fuites, la batterie est réparable ou pas. Une fuite au sein des ailettes est difficilement accessible et donc souvent irréparable.

Lorsque c'est possible, une réparation in situ est à privilégier.

Les fabricants ne proposent pas toujours la réparation en faisant valoir un argument de garantie.

3.5.6 Les humidificateurs

Il existe deux principes d'humidificateurs.

3.5.6.1 Les humidificateurs adiabatiques qui utilisent l'eau sous forme liquide.

Ces humidificateurs fonctionnent sans apport d'énergie électrique. L'eau est vaporisée par le flux d'air de la CTA avec lequel elle est mise en contact. Le flux d'air se refroidit au contact de l'eau.

Il existe plusieurs dispositifs pour assurer une surface de contact la plus importante entre le flux d'air et l'eau.

L'eau peut être pulvérisée dans l'air ou s'écouler sur une surface de contact de type « nid d'abeille ». Le second système possède l'avantage d'éviter l'entraînement de gouttelettes dans l'air qui est susceptible d'entraîner des bactéries de type légionnelles dans l'air.

L'eau utilisée alimente un bac maintenu à niveau constant par une sonde de niveau ou un flotteur associé à une électrovanne.

La circulation de l'eau est réalisée par une pompe

3.5.6.2 Les humidificateurs isothermes qui utilisent l'eau sous forme vapeur.

Les humidificateurs utilisés dans les CTA fonctionnent majoritairement à l'électricité. Il est également possible d'utiliser une production de vapeur extérieure.

La vaporisation de l'eau se fait au moyen de résistances électriques ou d'électrodes.

a) Humidificateurs à électrodes immergées

Ils chauffent l'eau par effet Joule jusqu'à ébullition et production de vapeur en appliquant une tension aux électrodes métalliques immergées dans de l'eau de réseau,

Ces matériels sont équipés d'un transformateur ampérométrique destiné à mesurer le courant, d'une électrovanne de remplissage et d'une pompe d'évacuation.

Le calcaire se dépose dans un cylindre qu'il faut soit nettoyer, soit remplacer à intervalle régulier en raison de l'accumulation de calcaire.

b) Humidificateurs à résistances électriques

Ils portent l'eau à ébullition et la vaporisent par transfert de la chaleur des résistances électriques.

La surchauffe doit être évitée pour éviter d'endommager les résistances en les maintenant toujours immergées.

3.5.6.3 Pannes et réparations



Les humidificateurs sont gérés par un système comprenant des cartes électroniques, des terminaux avec écrans qui sont en général disponibles en pièces de rechange. Les différents composants des humidificateurs, mécaniques et électriques existent sous forme de pièces de rechange.

3.5.7 Les systèmes de récupération d'énergie

Il existe plusieurs types de système de récupération.

3.5.7.1 Les échangeurs de chaleur à plaques

Il s'agit de surface d'échange purement statique. L'air extrait y cède sa chaleur à l'air neuf.

3.5.7.2 Les roues de récupération

La rotation de la roue assure le passage de l'énergie entre le flux sortant et le flux entrant. Un motoréducteur associé à une courroie permet d'assurer la rotation de la roue à basse vitesse.

3.5.7.3 Double batterie

Le caisson d'air neuf est équipé d'une batterie de restitution d'énergie. Le caisson d'air extrait est équipé d'une batterie de récupération d'énergie. L'échange de chaleur est assuré à l'aide d'un circuit hydraulique équipé d'une pompe.

3.5.7.4 Pannes et réparations

Les pannes que l'on retrouve dépendent de la technologie de récupération. Elles sont similaires à celles des moteurs, des batteries, organes qui les composent.

3.5.8 Les systèmes de réglage de débit d'air

Les registres permettent de régler le débit d'air, en particulier dans les caissons de mélange. Ils sont commandés par des servomoteurs.

Ces matériels ne sont en général pas réparés.

3.5.9 Les systèmes de régulation

Les centrales autonomes sont équipées d'un système de pilotage intégré qui comprend :

- un terminal avec écran,
- un automate de régulation,
- des capteurs de température, de pression et éventuellement d'humidité,
- des servomoteurs de registres d'air ou de vannes hydrauliques.





3.5.9.1 Pannes et réparations

On retrouve sur ces matériels des pannes liées à des surtensions.

Les cartes ou les régulateurs doivent être remplacés. Il existe des régulateurs modulaires dont seules les cartes endommagées peuvent être remplacées.

3.6 Photovoltaïque

3.6.1 Installation photovoltaïque

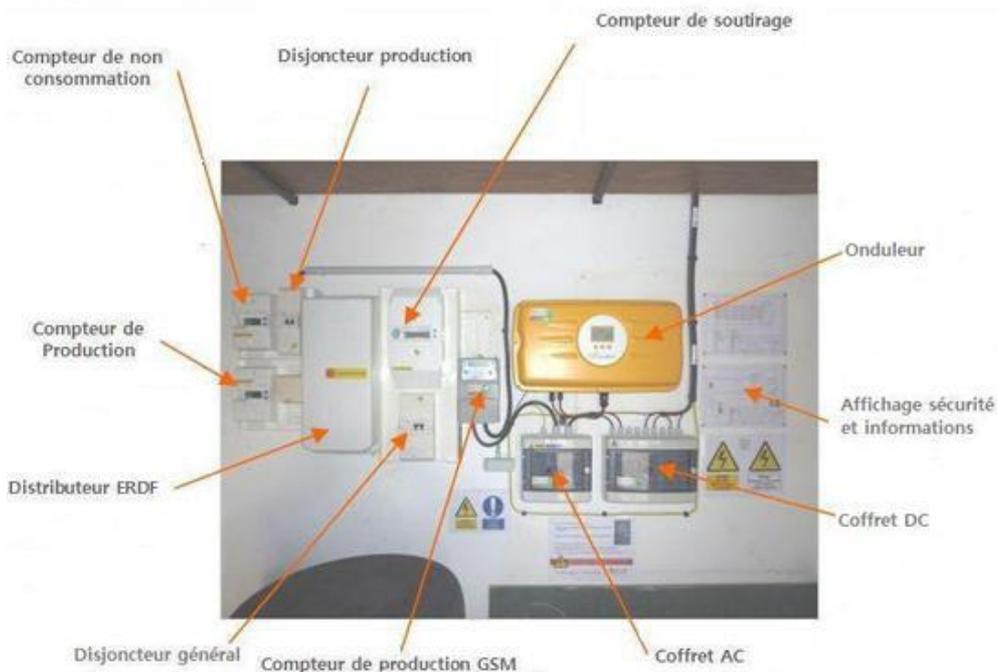
Composition d'une installation photovoltaïque :

- 1- Panneaux photovoltaïques
- 2- Coffrets électriques AC/DC
- 3- Onduleur (transformateur)
- 4- Une interface appartenant au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité raccordée au réseau qui comprend :
 - Compteur de non consommation
 - Compteur de production

Ces éléments sont reliés les uns aux autres par du câblage solaire et électrique.

Schéma d'une installation de particulier





3.6.1.1 Le panneau photovoltaïque

Les panneaux solaires photovoltaïques, convertissent le rayonnement solaire en électricité continue.

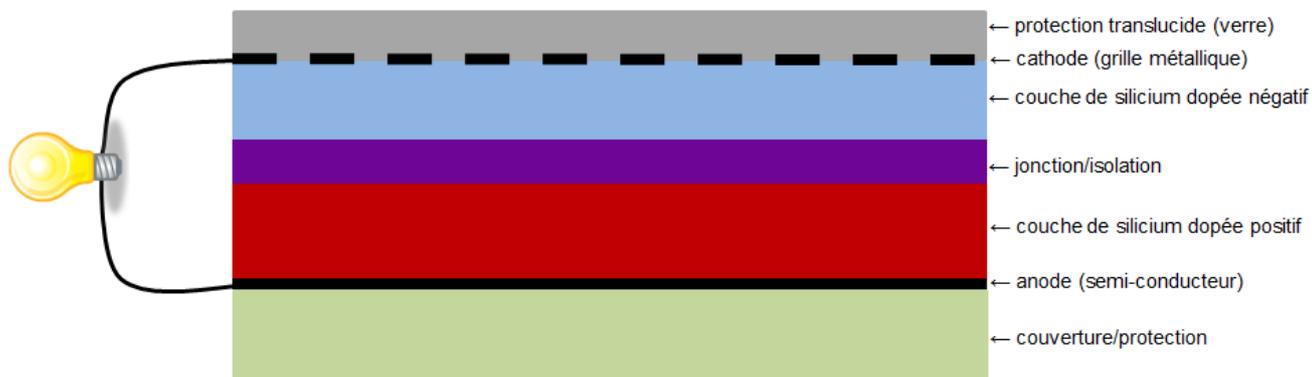


Schéma des différentes couches d'une cellule photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque est assemblé et collé à la fabrication ce qui rend la réparation impossible pour un installateur ou pour une société spécialisée dans le SAV.

Les panneaux installés sur les toits en France sont pour la plupart d'origine, chinoise, allemande et très peu française, ce qui rend la recherche de stocks disponibles chez les fabricants Européens difficile, voire impossible quand il s'agit d'un matériel chinois pour remplacer une série de panneaux défectueuse, installée il y a moins de 5 ans.

En cas de panne sur les cellules ou un impact sur le verre, il existe trois solutions à ce jour :

- remplacer le ou les panneaux défectueux par un matériel identique,
- faire fabriquer sur mesure en France un ou plusieurs panneaux identiques,
- remplacer, si kit d'intégration, l'ensemble des panneaux par un autre modèle.



De plus, les panneaux ne peuvent pas être remplacés par un autre panneau qui n'aurait pas exactement les mêmes caractéristiques techniques :

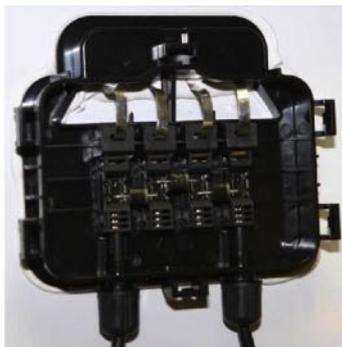
- nombre de cellules,
- forme,
- cadré ou non,
- dimensions,
- fixation,
- intégration au bâti,
- Monocristallin/ Polycristallin.

Si l'une caractéristique technique n'est pas remplie, l'installation ne fonctionnera pas et/ou risque de fuite sur kit d'intégration. Concernant la disponibilité des panneaux, il est très difficile de retrouver la plupart des panneaux « made in china ». Pour certaines références de conception « Européenne » nous arrivons parfois à retrouver le(s) panneau(x) similaire(s) ou bien à les faire fabriquer sur mesure dans quelques cas.

3.6.1.2 Le boîtier de jonction

Sous chaque panneau se trouve une pièce appelée **boîtier de jonction**, qui permet de faire fonctionner les panneaux les uns avec les autres afin d'établir une chaîne de liaison et d'établir le calepinage.

Photographie d'un boîtier de jonction



Ce boîtier est composé de deux câbles solaires de cosses MC4 +/- et d'un bornier. Dans le cadre des pannes liées aux panneaux, un contrôle systématique de ces éléments est réalisé afin de vérifier leur bon fonctionnement.

Ces pièces sont fixées sous les panneaux ce qui permet de remplacer « dans certains cas » le ou les boîtiers défectueux. :

- Pièces remplaçables si la panne n'a pas causé de dégât sur les cellules photovoltaïques.
- Pièces non remplaçables en cas de cellules mortes. Dans ce cas, il conviendra de remplacer le ou les panneaux défectueux par d'autres panneaux de même puissance, de même taille et composées du même nombre de cellules.

Ces réparations sont rendues parfois impossibles à cause du kit d'intégration qui se situe sous le panneau et qui permet de fixer les panneaux et de rendre étanche l'installation.

Certains kits rendent impossible le remplacement d'un seul panneau, car ce kit est conçu avec les panneaux initiaux. Il est donc obligatoire de remplacer l'ensemble des panneaux et du kit afin de rendre étanche et en état de fonctionnement l'installation.



3.6.1.3 Les coffrets AC/DC

Ces coffrets protègent les installations photovoltaïques en entrée et en sortie :



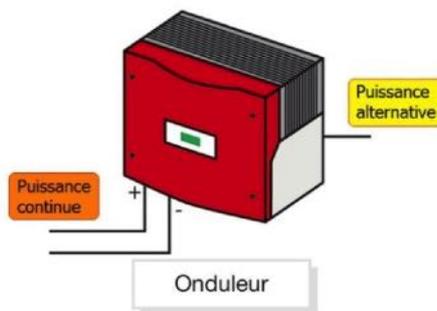
Composition d'un coffret AC et DC :

- Sectionneur DC
- Disjoncteur différentiel
- Parafoudre
- Inter-différentiel
- Fusible
- - Bornier
- - Câble N-PH-Terre

L'ensemble de ces pièces sont réparables si le matériel initialement installé respecte les normes en vigueur.

3.6.1.4 L'onduleur photovoltaïque

Schéma d'un onduleur raccordé au réseau de distribution d'électricité :



L'onduleur convertit le **courant continu** des modules photovoltaïques en **courant alternatif** identique à celui du réseau.

L'onduleur fabriqué entre 2008 et 2010 a une durée moyenne **de vie de 5 à 8 ans**. Aujourd'hui, la garantie sur cinq ans est devenue la norme chez les constructeurs.

L'onduleur est notamment constitué de (liste non exhaustive) :

- Capot
- Cartes électroniques
- Condensateur
- Platine de fixation
- Bornier
- Fusible
- Connecteur DC
- Relais
- Ventilateur
- Transformateur
- Transistor
- Diodes



- Ecran LCD
- Sectionneur
- Prise AC
- Prise DC

Aujourd'hui, les fabricants d'onduleurs ne mettent pas à disposition des sociétés spécialisés de pièces de rechanges qui permettraient dans certains cas de réparer l'appareil ou de le remettre en service temporairement.

La technologie des onduleurs repose sur un principe électronique simple de conversion de l'énergie électrique. Cette technologie devient, en réalité, de plus en plus complexe au fur et à mesure des avancées technologiques et des innovations qui lui sont apportées et des exigences des systèmes panneaux photovoltaïques.

Il n'existe à ce jour aucun moyen de contrôler comme le font les fabricants automobiles par le biais d'une valise de contrôle, des éléments électroniques, ce qui permettrait aux techniciens de maintenance de dresser un rapport encore plus précis sur les pannes électriques et électroniques des composants d'un onduleur

3.6.2 Les causes potentielles de dommages

Pour le cas du photovoltaïque, nous traiterons uniquement les dommages d'ordre électrique. Les panneaux photovoltaïques peuvent en effet subir des dommages de type « bris » et qui se règlent par un changement du panneau car la vitre est collée aux cellules.

Les problèmes et les dysfonctionnements rencontrés peuvent alors s'expliquer par deux facteurs :

- Les surtensions ayant pour origine le réseau de distribution d'électricité.
- Les surtensions d'origine atmosphérique : La foudre est un phénomène électrique à haute fréquence qui produit des surtensions sur tous les éléments conducteur et particulièrement sur les câblages et les équipements électriques.
- Les micro-coupures répétitives.

3.6.3 Les dommages électriques causés aux appareils

Les pièces les plus souvent endommagées sont :

1. L'onduleur photovoltaïque
2. Les boîtiers de jonction
3. Les coffrets

A l'heure actuelle le taux de remplacement des onduleurs s'élève à 99%.L'impossibilité de réparation des onduleurs s'explique par l'indisponibilité des pièces de rechange (voir : 2.1.7.1.4 L'onduleur photovoltaïque).

De plus, sur la plupart des onduleurs (monophasés ou triphasés), les cartes électroniques sont soudées sur le squelette de l'appareil et ne sont pas faites pour être enlevées aisément sans risque de détérioration des autres composants proches.

Les panneaux et les boîtiers de jonction restent réparables dans 12% des cas. Ce faible taux de réparation s'explique par le fait que seul le boîtier de jonction est réparable. En cas de cellules mortes, il convient de remplacer le ou les panneaux défectueux par d'autres panneaux de même puissance, de même taille et composées du même nombre de cellules.



D'autres pièces électroniques, composant les panneaux photovoltaïques, (voir : 3.6.1 Installation photovoltaïque) peuvent elles aussi être endommagées mais leurs coûts de réparation restent moindres en comparaison du prix de l'onduleur.

3.6.4 Les possibilités de réparation

Lors d'un dommage sur un système photovoltaïque, la pièce la plus souvent touchée est l'onduleur (99 % des cas étudiés). Or comme expliqué au paragraphe 3.6.1.4, l'onduleur du fait de sa conception est le plus souvent irréparable.

Cela implique une impossibilité de réparation dans la quasi-totalité des dommages sur les systèmes photovoltaïques.

Aujourd'hui le coût moyen de remplacement d'un boîtier de jonction est de 200 euros TTC voire 300 euros TTC, tandis que le coût moyen de remplacement d'un onduleur se situe entre 1700 euros TTC et 3200 euros TTC.

Les seuls pièces réparables sont :

- Coffrets de protections AC/DC
- différentiel, parafoudres
- câbles solaires et électrique AC

Ces pièces sont disponibles chez les fournisseurs spécialisés en électricité. Mais comme préciser plus haut, ces pièces ont des coûts minimes et restent rarement touchées.

3.7 Les cartes électroniques

Définition d'une carte électronique (source : Wikipédia) :

Un **circuit imprimé** (ou **PCB** de l'anglais *printed circuit board*) est un support, en général une plaque, permettant de maintenir et de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux, dans le but de réaliser un circuit électronique complexe. On le désigne aussi par le terme de **carte électronique**.

Il est constitué d'un assemblage d'une ou plusieurs fines couches de cuivre séparées par un matériau isolant. Les couches de cuivre sont gravées par un procédé chimique pour obtenir un ensemble de pistes, terminées par des pastilles. Le circuit imprimé est souvent recouvert d'une couche de vernis coloré qui protège les pistes de l'oxydation et d'éventuels courts-circuits.

Les pistes relient électriquement différentes zones du circuit imprimé. Les pastilles, une fois perforées, établissent une liaison électrique, soit entre les composants soudés à travers le circuit imprimé, soit entre les différentes couches de cuivre. Dans certains cas, des pastilles non perforées servent à souder des composants montés en surface (CMS).

Une carte électronique est principalement constituée :

- d'une plaque en résine d'époxy,
- de pistes et de pastilles généralement en cuivre,
- de composants électroniques : résistance, bobine et condensateur.

Certaines cartes électroniques, généralement les cartes de puissance intègrent un microcontrôleur.



Les différents types de carte électronique

Carte de commande : Une carte de commande est en quelque sorte une interface homme/machine. D'ailleurs, lorsqu'il existe un afficheur, il fait partie intégrante de la carte de commande.

La carte de commande sert à transmettre à la carte de puissance les instructions de l'utilisateur (choix du programme, vitesse de rotation d'un moteur...). On ne peut atteindre le module de puissance que par son intermédiaire.

Le programme test, les codes erreur ... s'afficheront uniquement via la carte de commande (led, afficheur...).

Carte de puissance : Elle est conçue pour répondre exclusivement au modèle sur lequel elle est montée, c'est un peu le « cerveau » du système sur lequel elle est installée. Sa fonction première est d'exécuter un programme en fonction des demandes de l'utilisateur.

Sa conception intègre un microprocesseur qui commande les organes électriques de puissance (moteur, résistance chauffante ...) et reçoit les informations des capteurs (par exemple : sonde de température). Grâce à cela, la carte de commande dirige le système et prend les décisions qui s'imposent pour le bon déroulement du programme.

Les normes de fabrication

En 1989 fut établie la norme française NF C 93-713 de spécification des circuits imprimés. Les circuits sont catégorisés en différentes classes en fonction de leur utilisation et donc de la finesse de fabrication.

À cette époque, la technologie se limite à la classe six correspondant par exemple à une largeur de piste de 120 à 150 µm.

Aujourd'hui, cette norme est encore utilisée mais tend à être supplantée par le standard IPC d'origine américaine et accepté comme une référence internationale par l'ensemble des fabricants de circuits imprimés du monde.

Parmi les nombreuses normes IPC définissant les standards de conception, de performance et de test des circuits imprimés, on peut citer les plus importantes :

- IPC-2221, normes génériques de conception,
- IPC-4101, normes sur les matières utilisées (pré-imprégnés et stratifiés),
- IPC-A-600, critères d'acceptabilité,
- IPC-TM-650, définitions des méthodes de test.

4. Synthèse réparabilité par famille

Tableau de synthèse des pannes par famille d'équipement :

Composants	Pannes d'origines électriques				Pannes mécaniques	
	Surtension	Influence électricité atmosphérique	Surtension de manœuvre	Sous-tension	blocage mécanique	Effort trop important
Volets roulants	X	X	X		X	X
Photovoltaïque	X	X				
Chauffe-eau thermodynamique	X	X				
Climatisation, multi-split	X	X	X	X	X	X
Centrales de traitement d'air	X		X		X	X
Chaudières	X	X		X		
Pompe à chaleur	X	X	X	X	X	X

Tableau de synthèse des possibilités de réparation:

Composants	Réparable	Non réparable
Volets roulants	Filaire	Radio commandés
Photovoltaïque	Certains composants	Onduleurs Panneaux
Chauffe-eau thermodynamique	Remplacement des composants	
Climatisation, multi-split	Remplacement des composants	Remplacement des composants
Centrales de traitement d'air	Remplacement des composants	
Compresseur	Ouvert/ Semi-hermétique	Hermétique
Chaudières	Remplacement des composants	
Pompe à chaleur	Remplacement des composants	

Pièces impactées par les dommages électriques

Chaudière		Pompe à chaleur / climatisation	
CARTE ELECTRONIQUE	52%	CARTE ELECTRONIQUE	61%
REGULATEUR	14%	COMPRESSEUR	26%
COMMANDE	11%	MOTEUR	18%
CIRCULATEUR/POMPE	11%	CIRCULATEUR	8%
VENTILATEUR	7%	REGULATEUR	6%
BRULEUR	7%	CABLAGE	6%
CABLAGE	6%		
ELECTROVANNE	5%		

5. Préconisations

5.1 Les actions attendues du fabricant.

5.1.1 La conception du matériel

Permettre au professionnel d'accéder plus aisément aux pièces susceptibles d'être endommagées au cours de leur existence d'utilisation.

Ces pièces seront les plus indépendantes possibles les unes des autres pour optimiser la réparation et faciliter leur démontage.

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, sauf dans les cas où une autre technique ne pourrait être utilisée (pour des raisons de sécurité, d'impossibilité technique ...).
- 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 normalisées afin que chaque marque utilise les mêmes, pour que la réparation ne nécessite pas un outil différent selon la marque de la pièce.
- L'ajout de spécificités sur une pièce par la marque devra être contrôlé et ne pas induire :
 - L'impossibilité de remplacer la pièce par une similaire d'une autre marque ou complexifier son installation.
 - L'interdiction de fabriquer des pièces dont la non réparabilité engendrerait le remplacement du système complet.
 - 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.

5.1.2 Standardisation et normalisation

Penser à des accès standardisés d'ouverture et de fermeture du matériel et normaliser les composants permettraient de faciliter leur remplacement par le professionnel.

Il faudrait alors:

- Augmenter l'accessibilité des parties électroniques qui sont de nature plus sensible, ce qui entraîne des aléas plus nombreux que sur des biens d'autres natures, voire standardiser leur installation dans des trappes avec fermeture à vis.
- Normaliser les systèmes de fermeture afin qu'ils ne nécessitent qu'un seul type d'outil. Ainsi une intervention sur deux onduleurs de marque différente devrait nécessiter les mêmes techniques et les mêmes outils.
- Etablir un listing des composants communs pouvant être utilisés par les fabricants dans la construction de systèmes.

5.1.3 Inciter les fabricants à rendre réparable leurs matériels

La création d'une certification mettant en valeur les biens qui ont une réparabilité élevée et donc une durée de vie plus longue inciterait les marques à rendre réparable leurs matériels. Ainsi, les consommateurs seraient plus attirés (et rassurés) par les marques possédant cette certification de réparation et de développement durable.

La marque, elle, de son côté, devrait respecter un cahier des charges sur la fabrication de son matériel avec des préconisations telles que :

- Mettre à disposition des pièces de rechange durant un certain temps qui dépendrait de la durée de vie moyenne du bien.
- Respecter les normes citées en **5.1.2** pour la fabrication de leurs pièces.
- Mettre en place un réseau ou une filière d'échange standard qui permettrait de récupérer les pièces non endommagées d'un système irréparable.



Mettre en place des certifications afin que les artisans puissent être formés pour intervenir sur le matériel de leur marque, constituant ainsi un réseau de professionnels. Ces formations devraient être accessibles par les professionnels désirant être multimarques.

5.2 Le fabricant et son réseau

5.2.1 Le fabricant gère le suivi de ses pièces endommagées

Le fabricant dépositaire de sa marque est seul garant à fabriquer les pièces de réparation selon le modèle d'origine et gère son stock de pièces détachées en fonction de la demande des professionnels réparateurs agréés, ou créer une filière de pièces détachées sous sa marque et sa responsabilité.

Il faudra aussi interdire la « prime à la casse » des fabricants qui incitent les acheteurs à remplacer leurs biens.

5.2.2 Le réseau parallèle de réparation et d'échange standard

Ce réseau doit être habilité par les marques ou leurs filières, pour réparer ou effectuer des échanges standards sous le contrôle des fabricants. Par la standardisation des pièces détachées, ce réseau est de fait multimarques. La disponibilité des pièces et les délais d'échange standard seront ainsi optimisés pour le réparateur.

La création d'une filiale spécialisée sur la récupération des composants non endommagés sur une pièce irréparable. Ainsi cela donnerait accès à des pièces détachées qui permettrait le reconditionnement d'autre système et développerait donc l'échange standard

5.2.3 La fabrication sur commande des pièces endommagées

Aujourd'hui, le fabricant a la possibilité de fabriquer sur commande les pièces détachées à l'aide d'une imprimante 3D. Il peut aussi confier la fabrication à l'unité de ces pièces en sous-traitant cette fabrication 3D à un dépositaire de la marque (hors cartes électroniques).

5.3 La qualification des artisans

Les compétences requises pour la réparation seront qualifiées par familles de biens et par marque. Une qualification distincte sera nécessaire tant pour la réparation du matériel que pour son installation.



5.3.1 Agrément du fabricant

Il est à la charge du fabricant de former le professionnel sur les produits de la marque et sur leur réparation. La normalisation des composants permettra à un réparateur d'obtenir plusieurs agréments.

Le fabricant devra proposer des certifications qui, une fois obtenues, autoriseraient les techniciens qui les ont passées à intervenir sur le matériel de la marque. Ces certifications devront former les techniciens autant à la pose qu'à la réparation du matériel. L'intervention sur le matériel, sans avoir obtenu la certification de la marque, en fera disparaître la garantie.

5.3.2 Habilitations professionnelles

Il est à la charge des autorités compétentes de délivrer les habilitations nécessaires au vu des compétences requises en matière de réparation en fonction des familles de biens et des agréments des marques en respectant les préconisations constructeurs quant à la manipulation de produits dangereux (risques de chocs électriques).

5.3.2.1 Pour le domaine photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques fonctionnent le jour par temps clair et/ou couvert. Les diagnostics sont donc réalisés systématiquement sous tension électrique continue. De plus, les installations photovoltaïques fonctionnent toutes avec deux types de courants :

- Courant continue sous 1000V
- Courant alternatif sous 360V

Du fait que les panneaux sont intégrés à la toiture, ils sont rarement accessibles par les combles (environ 5% des installations). L'intervention sur les panneaux implique donc l'intervention d'au moins deux techniciens qualifiés travaillant en hauteur pour réaliser le diagnostic des pannes liées aux panneaux ou aux boîtiers de jonction.

Ainsi, un intervenant doit aussi posséder les habilitations électriques : B1, B2, BR et BC mais aussi participer à des formations sur le travail en hauteur, le port d'équipements de protection individuelle afin de pouvoir intervenir sur des panneaux photovoltaïques.

Il existe, à l'heure actuelle, deux certificats de qualification professionnelle qui couvrent le domaine du photovoltaïque :

- installateur, mainteneur en système solaire thermiques et photovoltaïques,
- installateur de panneaux solaires thermique et photovoltaïque en couverture.

Un listing commune et public des habilitations et des certifications, nécessaires à l'intervention sur des panneaux photovoltaïque, devrait être mis en place afin qu'un professionnel ne possédant pas les formations nécessaires n'ait pas de légitimité. Cette reconnaissance de certification permettrait aux instances juridiques de pouvoir réglementer ce domaine.

5.3.3 Formations techniques sur les nouveaux modèles et leurs technologies

Les fabricants doivent s'engager à réactualiser contractuellement la formation de professionnels certifiés au fil de la commercialisation de leurs nouveaux modèles ou technologies.

6. Perspectives

« Nous n'héritons pas de la Terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants ».



Cette citation d'Antoine de Saint-Exupéry invite à la poursuite d'une réflexion déjà largement engagée, à l'échelle des nations, sur le plan économique et politique.

De nombreuses voies se sont ainsi ouvertes en terme de sensibilisation à l'entretien des biens acquis par les consommateurs, de gestion des pièces détachées, de développement du marché de l'occasion, de la réparation et de l'autoréparation.

De nouvelles voies s'ouvrent qu'il convient d'explorer.

Elles convergent toutes vers cette prise de conscience commune que les efforts répétés en faveur d'une consommation sobre et raisonnée par l'allongement des cycles de vie d'un produit, loin d'appauvrir un modèle, conduisent au contraire au foisonnement des innovations, à l'émergence de nouveaux marchés insoupçonnés, ainsi qu'aux filières d'emploi qu'ils engendrent.

Comme le souligne le Conseil National de la Consommation dans son rapport de 2015 sur la durabilité des produits, une telle démarche ne peut s'entendre qu'en synergie avec les différents acteurs afin d'identifier *"les impacts que le développement de cette offre plus durable peut avoir notamment sur la façon dont les professionnels (fabricants, distributeurs, réparateurs) appréhendent ce sujet, en particulier dans leur relation avec les consommateurs (effets sur les prix, les garanties légales et commerciales, développement de l'information, services après-vente, mise à disposition des pièces de rechange...), formation des vendeurs sur la réglementation existante"*. De même, il s'agit "d'identifier :

- d'une part les attentes des consommateurs en ce qui concerne la durabilité des produits, notamment en termes d'information sur la durée d'usage et de réparabilité ainsi que leurs comportements (lors de l'achat, de l'utilisation, de la réparation et de la fin de vie des produits) ;
- et, d'autre part, les contraintes spécifiques et conséquences économiques pour les entreprises".

Dans cet axe, plusieurs freins avaient été repérés :

- difficultés à réparer, absence de pièces détachées disponibles et/ou à un coût abordable,
- impossibilité de démontage,
- incompatibilités/ rupture technologique,
- appareils plus fragiles

Les propositions formulées par cette étude nous semblent plus que jamais d'actualité pour répondre à ces obstacles :

- inciter à la réparation et à l'auto-réparation ;
- convaincre le consommateur à renoncer aux produits irréparables ;
- imposer aux fabricants la mise à disposition des pièces détachées à un coût raisonnable pendant la durée de vie moyenne pour laquelle le produit a été conçu ;
- garantir la disponibilité des pièces détachées en développant les réseaux de collecte et de mise à disposition ;
- inciter les fabricants à publier des chiffres sur les pannes les plus fréquentes et à produire les pièces de remplacement concernées ;
- mettre en place un système garantissant une durée de vie minimale des produits achetés ;
- créer un label volontaire d'affichage de la durée de vie ;
- augmenter la durée des garanties en fonction des produits et de leurs composants.



S'agissant du secteur des assurances, étant donné qu'elles sont des acteurs clés de l'accompagnement de ces nouveaux cycles mais aussi, et de plus en plus, des arbitres de ce choix constant entre réparation et remplacement, il convient à présent qu'elles s'emparent de cette réflexion, afin de l'inscrire dans leur modèle économique en une incitation globale à la réparation d'un produit, lorsque celle-ci est possible ou profitable.

De cette façon, dans le cas d'une panne, il a été constaté qu'un coût de réparation supérieur à 30% de la valeur de remplacement d'un produit déclenche automatiquement son remplacement et ce, même si sa réparation est prise en charge par une garantie ou une assurance.

Plusieurs pistes sont envisageables pour lever ce frein psychologique. En particulier, mais pas seulement, il pourrait s'agir :

- d'une réflexion sur une décennale plus spécialisée pour les artisans ;
- du 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 la plus large possible des coûts de réparation ;
- de développer des outils de diagnostics permettant une plus grande adéquation entre les réparations effectuées et les garanties contractuelles ;
- d'habiliter des artisans à la réparation en nature sur des biens dit immobiliers par destination ;
- d'inciter à la réparation dans les contrats valeur à neuf ;
- de favoriser les échanges standards des pièces ;
- d'aider aux contrats « pro », en fonction des habilitations ;
- d'inciter l'assuré à la réparation et à l'autoréparation par des bonus ;
- de développer des labels écologiques communautaires de type Ecolabel européen, et d'inciter au volontariat à adhérer à ces labels.

S'agissant des pouvoirs publics, les pistes de réflexion pourraient être les suivantes :

- Inciter les fabricants à standardiser et normaliser l'accès aux pièces électroniques susceptibles d'être endommagées au cours de leurs existences d'utilisation.
- Rendre ses pièces les plus indépendantes possibles les unes des autres, pour optimiser la réparation et en facilitant le démontage.
- Créer une certification de réparation et de développement durable.
- Créer une filière « d'échange standard » qui permettrait de récupérer et réinstaller les pièces non endommagées d'un système irréparable.
- Certifier des marques " propres "

Comme on l'a vu, une condition initialement nécessaire à l'évolution positive de ces démarches est la réparabilité des produits, c'est à dire leur capacité induite, dès la conception, à être réparables et donc, à entrer dans un effort à maintenir, en terme de normalisation, de traçabilité, et de gestion raisonnée des coûts.



Cette notion reste à développer de manière constante et elle ne saurait déployer son envergure que sous cette impulsion, pour autant que les différents acteurs de cette nécessaire réflexion conservent à l'esprit un paradoxe, qui pourrait en découler au-delà de cette première ligne de perspectives.

En effet, si la vérification de cette nécessité ou non d'une telle incitation à la réparabilité n'est jamais vaine, le risque induit par un excès de systématisme dans cette démarche ne l'est pas non plus : toute obsolescence n'est pas, en soit, pernicieuse ou née d'un stratagème à combattre.

D'autres, probablement à venir, à mesure que l'exploration se poursuit vers des modèles que nous ne faisons encore qu'envisager, pourraient surgir à un niveau plus global et, si l'on ne prend pas garde à observer leur fonctionnement, entamer progressivement l'équilibre délicat à conserver entre une production essentielle aux économies humaines, et la réduction indiscutablement urgente des impacts environnementaux qu'elle implique.

7. Lexique

- ❖ **Calepinage** : Le calepinage est le dessin, sur un plan ou une élévation, de la disposition d'éléments de formes définies pour former un motif, composer un assemblage, couvrir une surface ou remplir un volume. Le calepinage est par exemple nécessaire lors de la planification de carrelages, de couvertures, de placages ou d'appareillages.

En photovoltaïque, le calepinage consiste à déterminer l'implantation des modules sur la toiture. Concrètement, cela signifie :

- Choisir entre les configurations dites « en portrait » ou « en paysage » des modules
- Calculer la quantité de modules à installer

- ❖ **Clip d'entraînement** : liaisons entre le moteur électrique et le volet roulant
- ❖ **Certification** : Le **CQP** (Certificat de Qualification Professionnelle) est un titre créé et délivré au sein d'une branche professionnelle par une instance paritaire, le plus souvent la Commission Paritaire Nationale pour l'Emploi (CPNE). Certains CQP sont enregistrés au Répertoire national des certifications professionnelles (RNCP), ce qui permet alors la reconnaissance nationale du titre correspondant en dehors de sa branche professionnelle d'origine.

Une **certification** est une procédure par laquelle un organisme agréé et extérieur à une entreprise garantit que :

- un produit,
- un service,
- un système d'organisation,
- un processus...

répond aux exigences d'une norme.

- ❖ **Concession**: La concession est un accord par lequel un concédant transmet à un concessionnaire un droit exclusif de revente sur une zone géographique donnée.
- ❖ **Cosse** : pièce métallique fixée à l'extrémité d'un conducteur électrique et servant à effectuer sa connexion.
- ❖ **HTA** : Haute tension domaine A
- ❖ **Inverseur** : Appareil à fiches, à manettes ou à mercure, destiné à inverser le sens du courant



- ❖ **L'habilitation** : L'habilitation est délivrée par l'employeur. Avant de la délivrer, il doit s'assurer que le travailleur a reçu la formation théorique et pratique qui lui confère les connaissances. Une habilitation indique une aptitude et une autorisation légale pour exercer, en toute sécurité, une activité. Elle est inscrite au Journal officiel (JO) de la République Française et en application par décret et arrêté ministériel.
- ❖ **Multi-split** : Un multi-split est un climatiseur doté d'une unité extérieure et de plusieurs unités intérieures, contrairement au climatiseur mono-split qui ne dispose que d'une unité intérieure pour une unité extérieure.
- ❖ **Réparabilité** : Selon les définitions trouvées, la réparabilité peut être caractérisée de la façon suivante :
 - *La réparabilité est le caractère d'un produit qui se répare aisément et, de ce fait, est moins susceptible de nécessiter un remplacement en cas de panne. (Wikipédia)*
 - *Capacité à pouvoir être réparé. (dictionnaire.cordial-enligne.fr)*
- ❖ **Varistance** : Une varistance est une résistance électrique très fortement non linéaire, utilisée aujourd'hui principalement pour faire des parafoudres.

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFPIA	Association pour la Formation Professionnelle dans les Industries de l'Ameublement
AQC	Agence Qualité Construction



