



# CONSEILS ET RECOMMANDATIONS POUR LA REPARATION

Réparabilité en vue de la soutenabilité

## Résumé

Ce document a pour but de donner des conseils de bases permettant de se lancer dans une réparation, ainsi que de fournir des éléments qui pourraient servir de base de construction pour des documents guidant la réparation et l'autoréparation

Simon Chabanne – G2ELAB

Projet VIVAE 2023

## TABLE DES MATIERES

Table des matières.....	1
Introduction.....	2
L'EP c'est quoi ? Quels types d'appareils.....	2
Pourquoi et quoi réparer ? .....	2
Mon appareil est-il réparable ? .....	3
Recommandation général de sécurité, niveau de qualification .....	3
Rappels basiques d'électronique pour la réparation.....	6
L'électricité et ses grandeurs (U, I, P, ... ).....	6
Outils courants.....	7
Grandes familles de circuit .....	7
Documentation .....	9
Trouver la documentation utile .....	9
Trouver des réparateurs adaptés .....	9
Diagnostic .....	10
Évènement ayant mené à la panne et type de panne .....	10
Type de panne courante et diagnostic .....	11
Carte ou soudure endommagé ou oxydée .....	11
L'appareil ne fait plus rien du tout, aucun voyant, aucun bruit .....	11
L'appareil fait disjoncter le différentiel dès sa mise en route .....	11
L'appareil fait sauter le disjoncteur divisionnaire ou un fusible .....	11
L'appareil se met en sécurité (buzzer, led qui CLIGNOTE, code d'erreur...) .....	12
Méthode de diagnostic.....	12
Composants classiques & diagnostic des composants .....	13
Réparation .....	16
Désassemblage du boîtier.....	16
Désassemblage des connecteurs .....	16
Dessouder un composant .....	16
Ressouder un composant .....	18
Réassemblage .....	19
Identifier et commander une pièce .....	20
Références .....	21

## INTRODUCTION

Ce document a pour but de donner des bases de conseils en réparation, mais aussi de servir de base pour la construction de documents guidant l'autoréparation.

## L'EP C'EST QUOI ? QUELS TYPES D'APPAREILS

Il a pour but d'être appliqué dans le secteur de l'électronique de puissance, une branche de l'**électronique** et de l'électrotechnique qui traite les puissances élevées et « les dispositifs qui permettent de convertir celles-ci sous une forme non électrique » (convertisseurs) et de les commuter, avec ou sans commande de cette puissance. Néanmoins ce secteur comporte une variété de modèles notamment à haute puissance qui ne sont pas documentés ici.

## POURQUOI ET QUOI REPARER ?

Il apparait de plus en plus primordiale de prendre en compte les limites planétaires, notamment en terme d'extractivisme<sup>1</sup> et de consommation d'eau<sup>2</sup> et d'énergie.

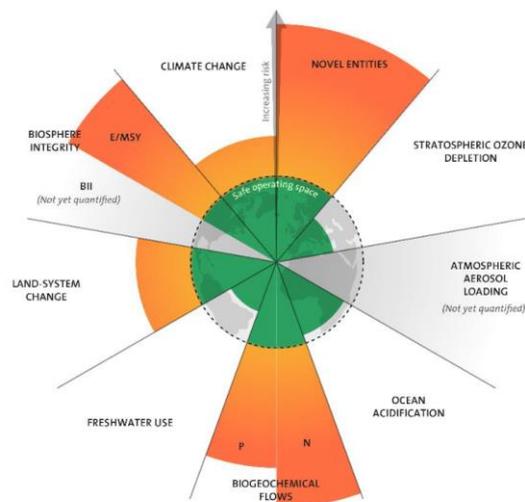


Figure 1 : Limites planétaires - Azote pour le Stockholm Resilience Centre, sur la base des travaux de Persson

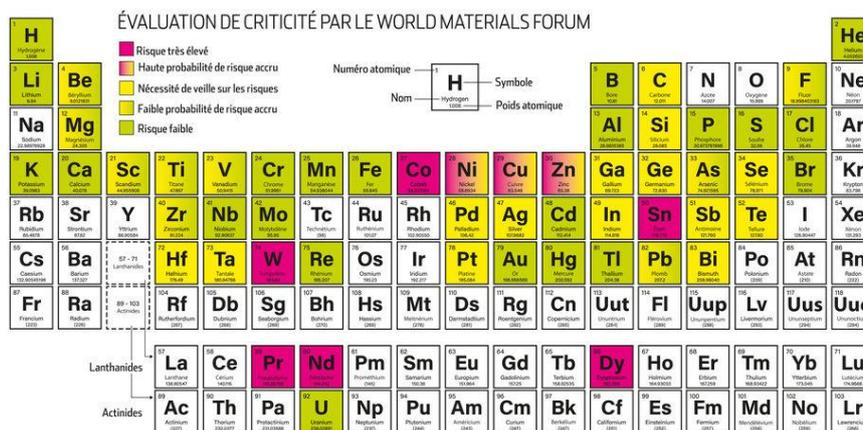


Figure 2 : tableau de Mendeleïev révisé par le BRGM et les consultants de CRU et de McKinsey

1 <https://www.systext.org/controverses-minieres>

2 <https://gauthierroussilhe.com/articles/explications-sur-l-empreinte-environnementale-du-numerique>

<https://gauthierroussilhe.com/articles/eau-et-puces-electroniques-l-avenir-climatique-et-industriel-de-taiwan>

En électronique, l'enjeu est donc de réduire la production du secteur numérique, consommant énormément d'eau, de matières rares ou critiques, et d'énergie, tout en rejetant tout au long de son processus de production (de l'extraction minière au PCB) de nombreux produits chimiques et gaz à effets de serre.

Une des pistes pour limiter la production de nouveaux produits est de créer une circularité dans l'industrie de l'électronique : à la place d'un processus linéaire, du minerai à la poubelle, on va chercher à revaloriser un maximum les produits inutilisés ou endommagés : réusage, réparation, reconditionnement, récupération, recyclage...

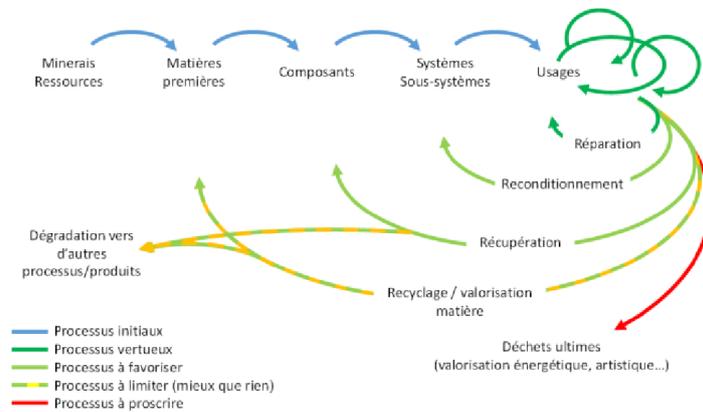


Figure 3 : Préférences de boucles d'économie circulaire

Plus on repart de loin dans le processus industriel, plus on doit consommer d'énergies, de produits chimiques et de ressources pour produire l'objet. L'enjeu est alors d'emprunter la boucle la plus petite possible : prioriser un réusage des objets fonctionnels, puis une réparation.

#### MON APPAREIL EST-IL REPARABLE ?

Il n'y a qu'une seule manière d'en être sûr : tenter le coup vous-même ou vous adresser à un réparateur.

Cependant, on voit émerger pour de nombreux appareils des informations sur la réparabilité de l'appareil. Certaines marques font par exemple des efforts spécifiques dans ce sens (comme SEB ou Fairphone). Parfois les concepteurs du produit peuvent avoir indiqué sa réparabilité à l'aide d'un pictogramme ou d'information dans la documentation.

La loi AGEC met en place depuis 2021 un « indice de réparabilité » : une note entre 1 et 10 indiquant la réparabilité d'appareils courant : lave-linge, smartphone, ordinateur portable, téléviseur, tondeuse à gazon électrique, lave-linge à chargement par le dessus, lave-vaisselle, nettoyeur à haute pression, aspirateur (filaire, sans fil et robot). S'intéresser aux détails de cette note (Documentation, accès et démontage, disponibilité des pièces détachés, prix, spécifique) peut permettre d'en savoir plus sur la faisabilité de la réparation. Il est à noter que cet indice s'arrête néanmoins à l'échelle d'un remplacement de la pièce (donc de l'ensemble de la carte électronique), et non pas celle du composant. D'autres indicateurs existent également comme la norme EN45554, l'indicateur d'iFixit, RSS, AsMer, ONR 192102, mais ne sont pas toujours adaptés et très rarement utilisés en électronique.

Nous avons cherché à adapter et compléter cet indicateur dans le cas des cartes électroniques et de l'électronique de puissance, au travers du document *TableauDEvaluationDeLaReparabilite.xlsx*. L'équipe électronique de puissance du G2ELab s'est également intéressée à une adaptation de l'indicateur eDiM sur le désassemblage pour définir la démontabilité d'un produit, ainsi que la nécessité de réglementation en électronique de puissance dans le but d'atteindre la soutenabilité.

Néanmoins, même en l'absence de ces indicateurs, tenter de réparer, peut être gagnant économiquement, et très instructif. **Une grosse partie des pannes ne nécessitent souvent pas de compétence poussée !**

#### RECOMMANDATION GENERAL DE SECURITE, NIVEAU DE QUALIFICATION

La réparation en électronique, et particulièrement en électronique, amène inévitablement à travailler avec des tensions et des intensités électriques potentiellement mortelles.

Si l'électrisation est provoquée par le passage d'un courant électrique dans le corps (Le danger se situe environ à 130 mA en courant continu, 30 mA en tension alternative). Néanmoins, la résistance du corps (d'un ordre de grandeur de 2000Ω pour une main sèche, mais plutôt aux alentours de 700000 Ω de main à main) empêche la plupart du temps au courant de passer. Le seuil de dangerosité est situé aux environs de 50V en tension alternative (voir moins à des fréquences plus élevées) contre 120V en tension continu.

Les tensions présentes dans les appareils ménagers sont donc amplement suffisantes pour être dangereuses, notamment du côté de l'alimentation.

D'autres risques d'explosions, de flammes ou de brûlure sont également présents. Le cadre d'intervention étant celui d'une réparation, les chances de la présence d'un défaut dangereux sont donc exacerbées.

On recommande donc de :

- Les manipuler un maximum hors-tensions, éteints et débranchés. Si la mise hors-tension est faite par un disjoncteur, empêcher ce dernier d'être commuté par erreur
- Prendre un maximum de précaution sur les parties du circuit comportant des puissances importantes (par exemple la partie primaire d'une alimentation à découpage, où arrive le 230V de nos alimentations domestiques, délimitée par une isolation galvanique).
- Se méfier des condensateurs : ces derniers, même hors tension, conservent une quantité d'énergie parfois suffisante pour être dangereuse. Ils peuvent être déchargés à l'aide d'une résistance mise au contact de ses pattes (1kΩ 1W pour les condensateurs supérieurs à 50V).
- Utiliser des outils isolés électriquement (tournevis et pinces d'électriciens). S'équiper de gants isolés, de casques avec visière et d'autres EPI si besoin.
- Mettre en tension les composants avec un maximum de précaution :
  - Remontage du boîtier
  - Distance avec les personnes autour et EPI
  - Branchement sur une prise équipée de disjoncteur
  - Possibilité de débrancher
- Ne pas intervenir sur un appareil que l'on ne comprend pas
- Suivre un maximum les informations données par le fabricant

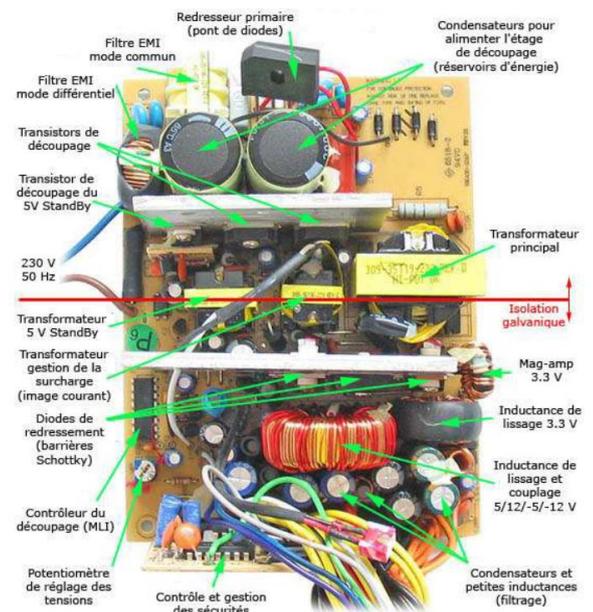


Figure 5 : alimentation à découpage avec un circuit primaire en haut et des circuits secondaires en bas (illustration internet, divers sources)

Ces informations ainsi que vos compétences personnelles doivent à minima d'identifier les différentes zones du circuit et de comprendre les niveaux de tensions et les puissances présentes dans chaque partie du circuit, pour ainsi distinguer à quels endroits et sous quels conditions une manipulation est possible ou non.

Néanmoins l'autoréparation reste possible. Le cadre légal décharge d'ailleurs le fabricant de ses responsabilités si ce dernier a fourni des instructions de sécurité adéquates (article 41-4 du code de la consommation).

Dans un cadre professionnel différentes habilitations électriques sont nécessaires pour effectuer certaines manipulations, classées comme ci-dessous par l'INRS :

### *Systeme de classification des habilitations électriques*

1 <sup>er</sup> caractère	2 <sup>e</sup> caractère	3 <sup>e</sup> caractère	Attributs
<b>B</b> : Basse tension	<b>0</b> : Opération d'ordre non électrique	<b>T</b> : Travaux sous tension	<b>Essai</b> <b>Vérification</b> <b>Mesurage</b> <b>Manœuvre</b>
<b>H</b> : Haute tension	<b>1</b> : Exécutant opération d'ordre électrique	<b>V</b> : Travaux au voisinage	
	<b>2</b> : Chargé de travaux d'ordre électrique	<b>N</b> : Nettoyage sous tension	
	<b>C</b> : Consignation	<b>X</b> : Spéciale	
	<b>R</b> : Intervention BT générale		
	<b>S</b> : Intervention BT élémentaire		
	<b>E</b> : Opérations spécifiques		
	<b>P</b> : Opérations BT élémentaires sur chaîne photovoltaïque		
	<b>F</b> : Travaux en fouilles dans l'environnement des canalisations isolées		

#### Equivalences entre symboles

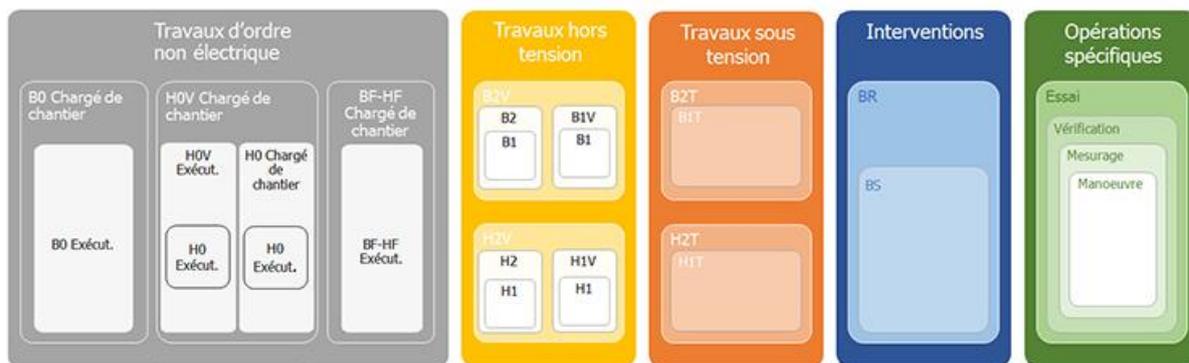


Figure 6 : Classement des différentes habilitations électriques

### L'ELECTRICITE ET SES GRANDEURS (U, I, P, ...)

Cette partie se veut simple mnémotechnique pour les débutants en électronique, pour mieux comprendre les bases de l'électricité. De nombreux documents détaillés sont disponibles en ligne.

L'énergie électrique est l'énergie transférée grâce à l'électricité, c'est à dire un mouvement de charges électriques.

**La tension (U)** s'exprime en volt (V), elle peut être continue comme pour une pile, une batterie ou en sortie d'un chargeur, ou variable comme dans les réseaux électriques ou des signaux électroniques. C'est une différence de « potentiel électrique » entre deux points. On la mesure donc toujours entre deux points, à l'aide d'un multimètre réglé sur la fonction tension (V) continue (sorte de signe =) ou la tension alternative (sorte de signe ~). Une prise secteur a une tension alternative d'environ 230V, une batterie de téléphone se recharge avec une tension de 5V.

**L'intensité** ou le courant (I) s'exprime en ampère (A). C'est le débit d'électron qui circule dans un fil en un point donné : il faut donc que des électrons circulent, et donc qu'il y ait une consommation d'énergie, donc que l'appareil soit en train de réaliser une action ou est dans un état qui commande du courant (ce qui n'est pas nécessaire pour la tension).

On la mesure avec une pince ampèremétrique passée autour d'un fil, ou à l'aide de la position ampèremètre (I) du multimètre, en intercalant le multimètre directement au travers du circuit, à l'endroit où l'on souhaite mesurer le courant.

**La résistance électrique (R)** s'exprime en Ohm ( $\Omega$ ). Toute matière possède une résistance électrique plus ou moins grande : elle est quasiment nulle pour les métaux conducteurs (comme un fil électrique), et très grande pour les matières non conductrices (l'air, le plastique...). Attention, c'est aussi le nom d'un composant électronique ou d'une pièce électrique que l'on utilise justement pour mettre à profit la valeur de sa résistance (pour chauffer ou limiter le courant, ou créer une tension voulue). On la mesure à l'aide de la fonction Ohmmètre ( $\Omega$ ) du multimètre, en plaçant les deux bornes du multimètre entre les deux bornes du composant dont on souhaite mesurer la résistance, sur un appareil hors tension.

Ses trois valeurs sont reliées par la relation  $U(V) = R(\Omega) \times I(A)$ .

On peut faire une analogie avec l'eau, dans laquelle :

- La pression (notamment due à la hauteur d'un réservoir par rapport à un autre) représenterait la tension
- Le débit l'intensité
- Une turbine ou un moulin représenterait la résistance

En réparation, on est aussi souvent amené à s'intéresser à la puissance.

La **puissance (W)** s'exprime couramment en Watt (W) ou en joule (J) correspond à une quantité d'énergie consommée ou produite par un système ou un autre, en continu. On peut utiliser cette notion quel que soit le type d'énergie (électrique, chimique, mécanique...). On peut la mesurer à l'aide d'un Wattmètre, ou la calculer en fonction de l'intensité et la tension. Par exemple mon grille-pain consomme 850 W. On note que  $P = U \times I$

Sur les batteries on a parfois l'indication de la **quantité d'énergie** qu'elle contient en Wattheure (Wh) ou en Ampère heure (Ah), comme par exemple une batterie de 850 Wh permettrait en théorie à mon grille-pain de rester allumer une heure. Une batterie de 3,5 V et de 1 Ah permettra à un smartphone (qui fonctionne à 3,5V) consommant 0,2 A de rester allumé 5 heures.

On entend régulièrement parler de montage en « **série** » ou en « **parallèle** ». Dans un montage en série, les composants sont sur la même boucle et le même courant les traverse, mais la tension total est la somme des tensions aux bornes de chaque composant. Dans un montage en parallèle, les composants sont positionnés sur deux boucles différentes qui partent d'un même point. Le courant est divisé entre les deux boucles en fonction de la consommation des composants mais la tension est la même.

**Note sur l'usage du multimètre** : bien vérifier si le placement des fils correspond à la mesure que l'on veut effectuer, et faire attention au calibrage du multimètre : commencer par un calibre haut et descendre petit à petit.

Le multimètre peut avoir aussi de nombreuses autres fonctions. On utilise notamment beaucoup **la fonction continuité** (sorte de signe wifi ayant subi une rotation), qui va « biper » quand la continuité entre sa borne + et – est établie. Elle permet de vérifier la présence ou l'absence de court-circuit entre deux points. La fonction diode permet d'obtenir la « tension » de chute au borne d'une diode, et d'ainsi connaître son sens.

## OUTILS COURANTS

La plupart des réparateurs se débrouillent avec un nombre relativement restreint d'outils :

- Poste de travail (table, lampe, boîtier de prises avec disjoncteurs, aimant et coupole ...)
- Outils de démontage (pinces, tournevis & embouts, marteau, cutter, perceuse, levier, air chaud ...)
- Outils de diagnostic (Multimètre, testeur de composants, wattmètre, ordinateur, alimentation de laboratoire, ... Plus marginalement : caméra thermique, oscilloscope)
- Outils de soudure (fer à souder, étain, flux, nettoyant décapant, tresse à dessouder étamée, pompe à dessouder, gaine thermostatique et scotch isolant, loupe. Pour les réparateurs les mieux équipés on peut également compter des fers à dessouder, des fers à air chaud/pistolet à air chaud, des pinces à souder pour les composants CMS, des pannes de rechange notamment biseauté, un microscope)
- Outils de nettoyage et d'entretiens (Lubrifiant, bombe à air sec, essuie-tout, alcool de nettoyage, chiffon, brosse à dent)
- Outils de remontage (colle, *serflex*, scotch, visserie, pistolet à colle...)
- Pièces et composants de rechange, consommable (fils, câbles, interrupteurs, prises et branchement, led, diode, fusibles, condensateur, résistances, dominos, imprimante 3D ...)

## GRANDES FAMILLES DE CIRCUIT

De nombreux circuits d'électronique de puissance existe et il serait impossible de tous les lister. On donne cependant ici quelques pistes pour mettre des mots sur certains fonctionnements. On retrouve par exemple les convertisseurs de différents types, passant d'une tension à l'autre ou d'un signal à l'autre. Des systèmes comme les onduleurs se retrouvent par exemple énormément dans le monde de la production électrique.

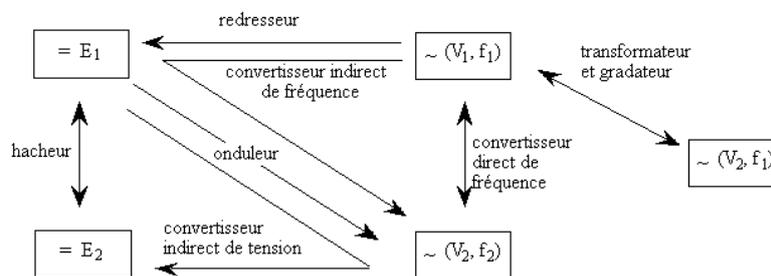


Figure 7 : Types de convertisseurs

On peut également retrouver les alimentations, qui utilisent généralement ces montages de conversions, avec par exemple les alimentations à découpage, les alimentations linéaires ou les alimentations capacitives, permettant de fournir à un appareil une tension continue à partir du 230V alternatif.

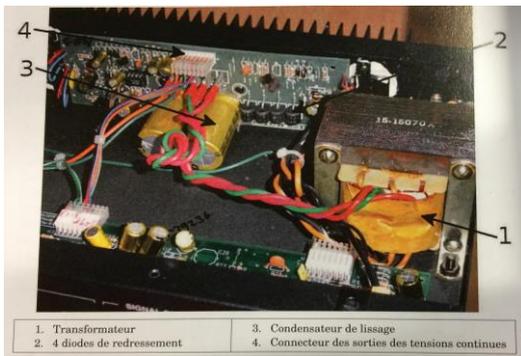


Figure 8 : Alimentation linéaire<sup>3</sup>

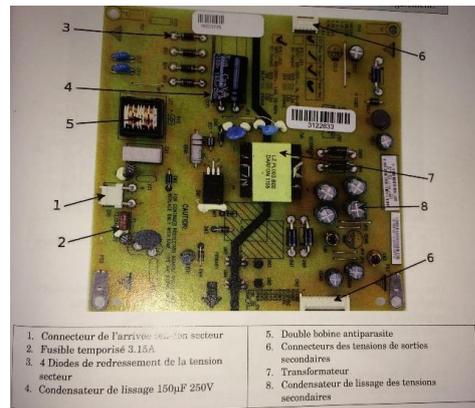


Figure 9 : Alimentation à découpage<sup>4</sup>

On retrouve couramment dans le monde professionnel des UPS, des alimentations sans interruptions, permettant d'éviter d'être sensible aux coupures de courant du réseau à l'aide de batteries de secours.

Même si une bonne connaissance des circuits électroniques sur lesquels on intervient pour une réparation est utile, but ici n'est pas de décrire l'entièreté des fonctionnements physiques utilisés derrière les montages courants en électronique de puissance. Du contenu en ligne s'occupe néanmoins très bien de cela si besoin, par exemple :

- Convertisseur buck : [Wikipédia](#) ou [vidéo explicative](#)
- Convertisseur boost : [Wikipédia](#) ou [vidéo explicative](#)
- Convertisseur buck-boost : [Wikipédia](#)
- Convertisseur flyback : [Wikipédia](#)
- Convertisseur forward : [Wikipédia](#)

On retrouve en général dans tous ces montages les composants et montages suivant : sécurités et filtres (fusibles, bobines, condensateurs etc.), condensateurs, transistors, ponts en H, ponts de diode, transformateurs. On peut généralement identifier un circuit primaire et un ou plusieurs circuits secondaires en fonction du nombre de tensions différentes nécessaires dans l'appareil, ainsi qu'au moins un circuit de commande.

<sup>3</sup> Source : GARAEMES

<sup>4</sup> Source : GARAEMES

## DOCUMENTATION

### TROUVER LA DOCUMENTATION UTILE

Plusieurs documentations peuvent être utiles pour réparer un appareil. Si le manuel d'instruction utilisateur peut parfois comporter quelques explications notamment pour l'entretien, il est rare d'y trouver des informations utiles à la réparation. Nous allons plutôt chercher à trouver le modèle de l'appareil, et le chercher sur internet avec des mots clés comme « *datasheet* », « *service manual* », ou « *repair* » ou si l'objet est courant en France « *panne* » ou « *réparation* ». Si l'appareil affiche un *code d'erreur*, on peut rentrer ce dernier dans son moteur de recherche.

En général on cherchera à utiliser des *diagrammes fonctionnels* pour comprendre le fonctionnement des différentes parties du composant, le *schéma de routage* ou de *placement*, ou la *nomenclature (Bill of material)* pour identifier chaque composant, le *schéma électronique* pour comprendre le fonctionnement du circuit, les *procédures de diagnostics* et les *valeurs de références pour la mesure* pour effectuer notre diagnostic, et les *datasheet des composants* pour comprendre leur fonctionnement et obtenir des détails sur ces derniers.

On peut également utiliser des schémas de démontage, des vues éclatées, des schémas de câblage et raccordement, des séquences de réassemblage pour démonter et remonter l'objet.

On peut aussi s'appuyer sur les documentations fournis par des forums, des sites comme <https://www.repair-cafe.org/fr/community/tutoriels-de-reparation/>, <https://fr.ifixit.com/> ou des chatsbots comme <https://www.spareka.fr/comment-reparer>. Beaucoup de vidéos existent aussi en ligne pour guider les réparations.

Il est aussi possible de s'adresser directement au fabricant ou au distributeur de l'appareil, et lui demander des détails techniques. Ce dernier sera plus à même d'en fournir à des réparateurs professionnels qu'à des particuliers.

Une fois la panne identifiée, il est aussi possible de se référer à des tutoriels plus spécifiques, sur le remplacement d'un composant particulier par exemple, peu importe l'appareil sur lequel il est effectué.

Il existe aussi des logiciels spécialisés mettant à disposition de la documentation, le logiciel Phoneboard pour voir le routage des cartes de smartphone.

### TROUVER DES REPARATEURS ADAPTES

Si vous ne souhaitez pas effectuer la réparation vous-même et que vous ne trouvez autour de vous personne capable de s'en charger, il est possible de s'adresser à différents acteurs pour réparer le produit.

- Le service maintenance de votre structure.
- A des associations tels que les [Repairs cafés proche de chez vous](#), où des bénévoles pourront vous aider à réparer votre appareil à moindre coût.
- A des réparateurs indépendants. Certains réparateurs spécialisés existent (électroménager, ordinateur, smartphone ...). Certains sont mêmes agréés par certaines marques comme étant des réparateurs officiels de leur marque ce qui peut leur donner un meilleur accès à de la documentation.
- Au service après-vente du distributeur ou du fabricant.

ÉVÈNEMENT AYANT MENE A LA PANNE ET TYPE DE PANNE

La première étape de tout diagnostic est d’analyser ce qui a pu conduire à la panne, en fonction des évènements qui l’ont précédé ou le contexte autour de cette panne :

- Choc
- Humidité, pluie, eau
- Branchement et mise en service
- Commande particulière
- Inactivité pendant de nombreuses années dans un environnement poussiéreux
- ...

On peut aussi analyser comment la panne s’est déroulée : est-ce que l’objet ne marche plus ou partiellement ? Fait-il ou a-t-il fait un bruit particulier ? Dégagé une odeur particulière ? A-t-il ou chauffe-t-il à un endroit particulier ?

On peut faire les déductions suivantes :

<b>L’APPAREIL EST TOMBE OU A SUBI UN CHOC</b>	Carte électronique cassée, fendue, connecteur fil ou soudure arraché, pièce mécanique plastique cassée
<b>LE PROBLEME S’AGGRAVE DE JOUR EN JOUR</b>	Accumulation de poussière, composant en fin de vie...  Suivant le type d’appareil, vérifier les éléments qui doivent être nettoyé régulièrement : éléments optiques, composants qui chauffent et ceux qui les refroidissent (radiateurs et ventilateurs), parties mécaniques (tiroir, courroie , engrenage ...), contacts électriques (ressort de contact des piles, interrupteurs, charbons de moteur...)
<b>LA PANNE EVOLUE APRES LA MISE EN ROUTE DE L’APPAREIL</b>	Élément ou composant dont l’état évolue avec la température (soudure, élément mécanique qui se lubrifie mieux avec la chaleur, électrique qui baisse en performance à haute température)
<b>PAR INTERMITTENCE</b>	Faux contact d’une soudure ou d’un connecteur
<b>PROBLEME QUE SUR CERTAINES FONCTIONS PRECISES</b>	Essayer de comprendre ce qui fonctionne encore et ce qui ne fonctionne plus

## TYPE DE PANNE COURANTE ET DIAGNOSTIC

Nous proposons ici de décrire quelques pannes courantes, issus en grande partie du travail de l'ateliéphémère.

### CARTE OU SOUDURE ENDOMMAGE OU OXYDEE

Notamment en cas de choc, on retrouve plusieurs pannes courantes sur les cartes :

- Carte cassée ou fendue : en fonction de la casse, gratter les pistes et faire un pont de soudure, ou souder des fils pour raccorder chaque piste
- Piste ou pastille de cuivre décollée : Cela peut arriver couramment, notamment quand on chauffe trop une pastille ou qu'on tire sur un composant en le désassemblant. On recréera une connexion avec un fil jusqu'à l'endroit où la piste est encore bonne. Des techniques de pontage plus poussée existent aussi : gratter la piste puis ajouter fil ou fil d'or (microélectronique), lui faire faire une boucle sur le pad pour le remplacer et coller le fil à la résine UV (résistante à la chaleur).
- Soudure cassée : Cela arrive à cause de l'usure. On peut enlever la soudure et la refaire
- Carte étant rentrée en contact avec de l'eau ou de l'humidité : on peut constater de l'oxydation. Il est nécessaire de débrancher la batterie ou l'alimentation le plus rapidement possible. Les points d'oxydations peuvent permettre de repérer les composants endommagés. On peut ensuite nettoyer la carte (au bain à ultrason pour du matériel professionnel, où à la brosse à dent et à l'isopropanol), puis chercher la présence de court-circuits et de points chauds (à l'aide d'une caméra thermique, de l'évaporation de l'isopropanol, ou de changement de couleur de résine de colophane). Probable oxydation dessous les puces BGA.

### L'APPAREIL NE FAIT PLUS RIEN DU TOUT, AUCUN VOYANT, AUCUN BRUIT

Il est probable que la panne vienne de l'alimentation électrique, débrancher l'appareil, vérifier visuellement si rien d'anormal est constaté, et :

- Tester la continuité des fils dans le câble d'alimentation ou les fils reliant aux piles
- Vérifier l'interrupteur d'alimentation, puis les fusibles électriques et thermiques
- S'il possède une alimentation linéaire, brancher l'appareil et vérifier la présence d'une tension continue aux bornes du condensateur de lissage.
- Pour une alimentation à découpage, vérifier au moins visuellement les condensateurs de la partie secondaire
- Vérifier les diodes et les transistors

### L'APPAREIL FAIT DISJONCTER LE DIFFERENTIEL DES SA MISE EN ROUTE

C'est le signe que la différence de courant entre l'entrée et la sortie de l'appareil est anormal, une partie « fuit » quelque part.

- Débrancher l'appareil
- Déconnecter la cosse de terre (jaune et vert) qui relie le câble à l'alimentation de l'appareil et vérifier son isolation avec la phase et le neutre. Le rebrancher si tout fonctionne
- Vérifier de la même manière l'isolation de la phase et du neutre de tous les éléments de l'appareil connecté à la terre.

### L'APPAREIL FAIT SAUTER LE DIJONCTEUR DIVISIONNAIRE OU UN FUSIBLE

C'est signe d'une consommation de courant trop élevée, qui peut notamment être due à un court-circuit.

- Vérifier qu'il n'y a pas trop d'appareil branché en même temps sur le même circuit (celui du disjoncteur)
- Déconnecter le câble d'alimentation et vérifier l'isolation entre la phase et le neutre
- Déconnecter une des broches d'alimentations des éléments principaux de l'appareil (moteur, pompe, résistance chauffante...) et vérifier qu'il n'y a pas de court-circuit entre ses bornes d'alimentation

- Vérifier que les gros transistors ne sont pas en court-circuit

On peut utiliser pour cette partie un wattmètre, que l'on place entre l'appareil et la prise d'alimentation, pour vérifier sa consommation.

---

#### L'APPAREIL SE MET EN SECURITE (BUZZER, LED QUI CLIGNOTE, CODE D'ERREUR...)

Aller chercher la documentation sur l'erreur sur internet. Il est possible que l'alimentation à découpage soit en défaut. Pour intervenir sur cette partie du circuit, prendre les précautions nécessaires et décharger les condensateurs du primaire.

- Vérifier que les condensateurs de lissage de la partie primaire ne sont pas gonflés.
- Vérifier les diodes et transistors de l'alimentation.

#### METHODE DE DIAGNOSTIC

Les procédures de diagnostic sont assez peu uniforme d'une personne à l'autre. Le tronc commun est généralement une inspection visuelle, et quelques mesures de tension. Il est recommandé de ne pas tenter de test en tension si l'on ne comprend pas le fonctionnement global du circuit, pour éviter tout risque d'électrocution ou de blessure.

On retrouve souvent les étapes suivantes :

- Est-ce que le produit s'allume ?
  - Vérifier les fusibles.
  - Vérifier l'alimentation.
- On peut distinguer les différentes tensions d'alimentation et identifier celles qui ne marche pas. Attention ces tests en tension doivent être effectués dans des conditions de sécurité adéquate et par des personnes compétentes.
  - Primaire ou secondaire ?
  - Alimenter les autres tensions pour vérifier qu'elles fonctionnent
  - On suit ensuite les pistes pour identifier quel octocoupleur de feedback est ouvert ou pas.
- Une fois le bon circuit isolé il faut descendre au niveau du composant, en ciblant les composants les plus couramment défectueux : condensateurs, interrupteurs, contacts mécaniques, soudures et connectiques, transistors de découpage, triacs, diodes, régulateurs...

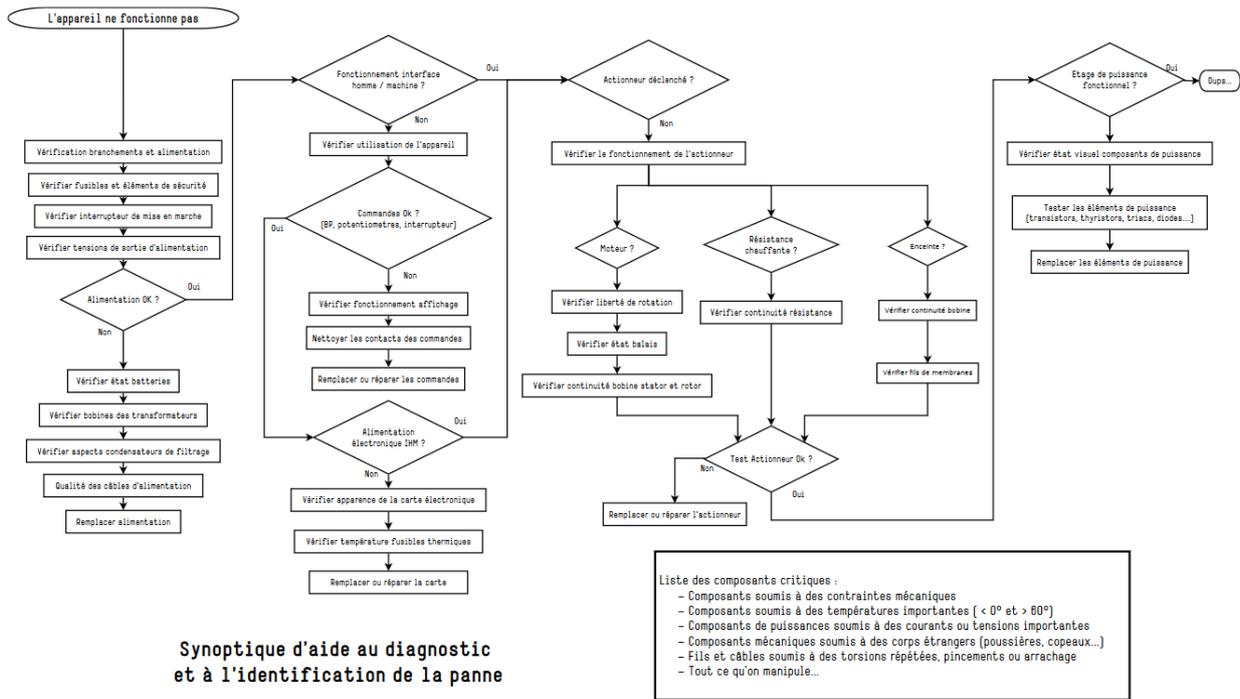


Figure 10 : synoptique d'aide au diagnostic et à l'identification de la panne (La Machinerie)

Des chatbots existent pour faciliter les diagnostics d'objets courants (<https://www.sparka.fr/comment-reparer>).

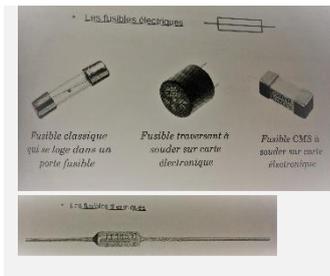
Pour détecter des court-circuits ou des défaillances faisant chauffer un composant ou une connexion, notamment sur des cartes de microélectronique complexes, on peut aussi utiliser :

- Une caméra thermique
- De l'isopropanol (un liquide non conducteur qui s'évaporera en cas de chauffe et de court-circuit)
- De la résine de colophane qui changera de couleur à l'emplacement du court-circuit

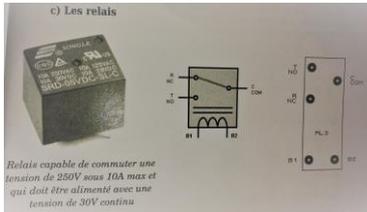
#### COMPOSANTS CLASSIQUES & DIAGNOSTIC DES COMPOSANTS

COMPOSANT <i>(illustrations issus du GARAEMES<sup>5</sup>)</i>	FONCTION PRINCIPALE	TEST DE FONCTIONNEMENT
FILS, SOUDURES ET PISTES	Transmettent les signaux	Test de continuité d'un bout à l'autre
INTERRUPTEUR	Ouvre et ferme le circuit électrique	Test de continuité et d'isolation
FUSIBLE ELECTRIQUE OU THERMIQUE	Fonds à une certaine intensité ou température par sécurité	Test de continuité

<sup>5</sup> Guide pour apprendre à réparer ses appareils électroménagers et électroniques soi-même (Atelièphème)



## RELAJ

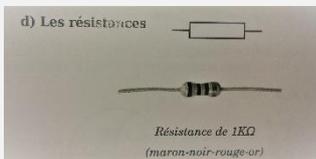


Inverseurs commandés par une tension continue.

- clic caractéristique lors de la commutation

- dessouder et alimenter et vérifier les continuités ou non continuités entre ses bornes

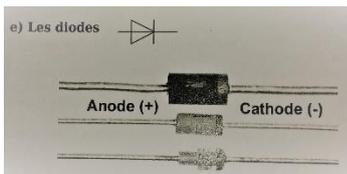
## RESISTANCE



Limitent un courant par rapport à une tension présente à leur borne. Peut être coupé ou en court-circuit, mais change rarement de valeur

- Fonction Ohmmètre du multimètre

## DIODES



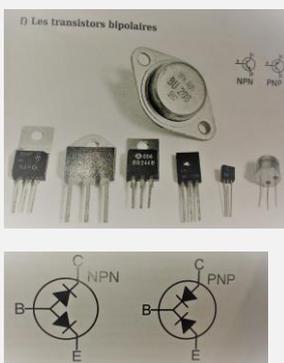
Laisse passer le courant de l'anode à la cathode mais le bloque dans l'autre sens

En mode Ohmmètre :

- Le + sur l'anode et le - sur la cathode, on obtient environ 0  
- Le - sur l'anode et le + sur la cathode, vous devez obtenir l'infini

En mode « test diode » : il faut mettre le + sur l'anode et le - sur la cathode. Vous devez obtenir une valeur entre 0.2V et 1V (souvent 0.6V) qui correspond à la tension inverse de la diode.

## TRANSISTOR



Amplifie un courant, interrupteur commandé en courant ou en tension (commande par la grille, passage du courant entre source et drain). Si une des broche est reliée au négatif, c'est un NPN (donc il lui faut du positif pour être conducteur), si il est relié au positif, c'est un PNP (donc il lui faut du négatif pour être conducteur)

- Vérifier qu'il n'y a aucun court-circuit entre les différentes pattes

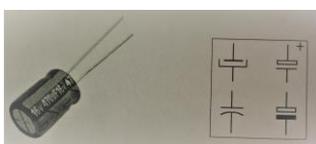
Ou le dessouder et :

- Vérifier les jonctions base collecteur et base émetteur comme si c'était des diodes

- Pour un MOSFET on peut toucher G et D en même temps avec un doigt et vérifier qu'il y a continuité entre drain et source

- On peut utiliser un LCR-mètre pour avoir les caractéristiques détaillées

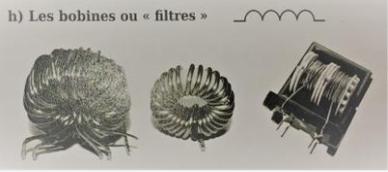
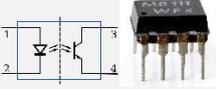
## CONDENSATEUR



Emmagasinent de l'énergie

- Vérifier dans le cas des condensateurs chimiques qu'ils sont plats

-Vérifier qu'il ne chauffe pas de manière anormale

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier qu'il n'est pas en court-circuit (normalement la résistance est quasi infinie)</li> <li>- Mesurer sa capacité en <math>\mu\text{F}</math> ou nF et la comparer à sa référence.</li> <li>- Utiliser un testeur de composant pour vérifier sa résistance interne</li> </ul>
<p><b>INDUCTANCE ET BOBINE</b></p> <p>h) Les bobines ou « filtres » </p> 	<p>Filtrage et stockage de courant</p>	<p>Résistance de 0 Ohm et continuité</p>
<p><b>TRANSFORMATEUR</b></p> 	<p>Augmente ou abaisse une tension alternative</p>	<p>Même teste que pour des bobines, ou en l'alimentant et en vérifiant la présence des bonnes tensions en entrée et en sortie</p>
<p><b>OCTOCOUPLEUR</b></p> 	<p>Permet de transmettre un signal entre deux parties du circuit isolé galvaniquement sans briser cette isolation</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'alimenter coté émetteur et vérifier la continuité du coté récepteur</li> </ul>
<p><b>MICROCONTROLEUR</b></p>	<p>Permet de traiter des informations complexes et de commander la carte. En cas de défaillance il est rarement possible de le remplacer sans avoir l'ensemble du programme qu'il contient.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier la tension d'alimentation du microcontrôleur Vcc</li> <li>- Vérifier le signal <i>enable</i> ou <i>wakeup</i> (il peut être haut ou bas, se référer à la datasheet).</li> <li>- Vérifier l'oscillation du quartz</li> <li>- Vérifier l'absence d'un court-circuit entre GND et Vcc et entre GND et la borne (+) des condensateurs entourant le microcontrôleur (si plusieurs condensateurs sont en court-circuit, il est probable que le <math>\mu\text{C}</math> soit en court-circuit, et non les condensateurs)</li> <li>- Si le composant fonctionne quand on applique une pression dessus, c'est signe qu'il nécessite un rebillage (voir partie soudure)</li> </ul>

## REPARATION

Si dans la pratique, la procédure de diagnostic impose généralement d'avoir déjà commencé le désassemblage du boîtier de l'appareil, on peut résumer les phases de la réparation comme ceci :



### DESASSEMBLAGE DU BOITIER

En fonction des boîtiers, le désassemblage peut être plus ou moins simple. Aucune compétence particulière n'est requise mais cela peut demander de la rigueur, notamment dans le rangement des pièces, et de la patience. Ne pas hésiter à stocker les pièces et fixations enlevées dans des endroits clairs, voir à conserver des photos pour le remontage. Utiliser les outils appropriés évitera aussi de nombreuses casses, notamment sur les têtes de vis.

Pour des boîtiers scellés ou collés, on essaiera de les désassembler le plus proprement possible à l'aide de cutter et de levier. On peut également utiliser de l'air chaud pour faire fondre la colle si rien de sensible à la chaleur est présent en dessous.

En cas de visserie indémontable ou de rivetage, on peut utiliser une perceuse.

### DESASSEMBLAGE DES CONNECTEURS

L'ouverture du boîtier doit être faite avec précaution pour ne pas endommager les câbles et connecteurs présent en dessous.

Parfois il suffit de tirer mais il arrive couramment qu'il y ai un mécanisme de déverrouillage : vis levier, glissières... Souvent ces derniers sont d'une autre couleur que celle du connecteur. Pour un modèle à glissière on tire légèrement vers l'extérieur le mécanisme pour déverrouiller la nappe, dans un modèle à bascule on le soulève. On peut utiliser ses ongles ou un tournevis.

Il faut être particulièrement précautionneux pour les petits connecteurs, qui peuvent casser facilement et sont durs à remplacer.

### DESSOUDER UN COMPOSANT

Le dessoudage de composant peut être plus ou moins technique en fonction de sa taille, son nombre de pattes et son emplacement. On propose ici d'en détailler quelques-unes mais le plus simple reste de se rapprocher de personnes pouvant vous montrer comment procéder dans la vraie vie !

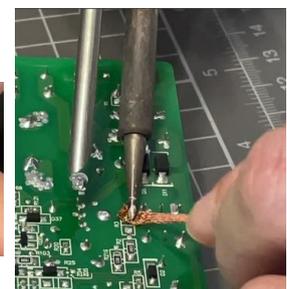
**Au fer à souder et à la pompe à dessouder.** C'est la méthode qui nécessite le moins de matériel, elle est cependant complexe à réaliser pour certains composants, notamment les CMS, et peut être longue. Elle peut fonctionner pour les composants traversant.

- Nettoyer (éponge, décapant) le fer et l'étamer (faire fondre un peu d'étain dessus)
- Faire fondre la soudure avec le fer. Si besoin ne pas hésiter à rajouter de l'étain voir de le mixer avec de l'étain au plomb ou de l'étain fondant à basse température
- Actionner la pompe à dessouder pour aspirer la soudure. Si cela n'a pas fonctionné recommencer
- Répéter l'opération sur toutes les pattes



**Au fer à souder et à la tresse à dessouder.** Cette méthode demande peu de matériel et est plus précise que celle de la pompe. On la privilégiera pour les petits composants. Elle peut également permettre de nettoyer les pastilles après le dessoudage.

- Nettoyer le fer à souder (éponge, décapant)
- Agrandir légèrement la tresse avec ses doigts
- Si besoin pour aider à ce que la soudure soit absorbée par la tresse, ajouter du flux de soudure sur la tresse
- Appuyer la tresse sur la soudure à l'aide du fer
- Attendre que la soudure fonde et soit absorbée par la tresse
- Retirer la tresse en la tirant en maintenant le contact du fer



**Au fer à dessouder.** Particulièrement efficace pour les composants traversant, le fer à dessouder permet d'éviter d'avoir à tenir une pompe et un fer en même temps, grâce à un système de fer ayant une tête aspirant la soudure. On peut également l'utiliser pour nettoyer les pastilles au dessoudage.

- S'assurer sur le fer aspire bien : est-il encombré (test avec un fil de fer), le filtre relativement vide, l'aspiration enclenchée quand on appuie sur un bouton, et la tête adaptée à la taille de nos soudures
- Appliquer le fer sur la soudure et attendre que l'étain fonde
- Actionner l'aspiration
- Effectuer le même processus pour chaque patte



**A la pince CMS.** Cette dernière, fusion de deux fers à souder, permet de dessouder facilement les composants cms à deux pattes, voire à 4 pattes.

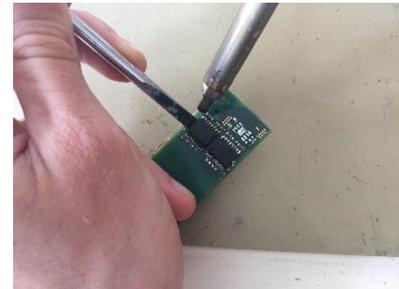
- Nettoyer les panses de la pince (éponge, décapant)
- Etamer les panses de la pince (ajouter un peu d'étain sur les embouts de la pince)
- Pincer les soudures du composant et attendre qu'elles fondent
- Dégager le composant à l'aide de la pince
- Nettoyer les pastilles

Processus de nettoyage et d'étamage de la pince :



A l'**air chaud**. Cette technique est la plus efficace pour les composants CMS comportant de nombreuses pattes. On utilise un outil soufflant de l'air chaud, souvent intégré aux systèmes de fer à souder professionnel.

- A l'aide d'un petit tournevis plat, appliquer une infime pression sur le composant, comme si vous comptiez le glisser dessous
- Appliquer l'air chaud dans un coin du composant, dirigé sur les pattes, comme si vous cherchiez à faire passer l'air dessous le composant en entrant par ce coin
- Attendre que le composant se décolle



**Nettoyage des pastilles (pads)** : il est nécessaire de bien nettoyer les pastilles après avoir dessouder un composant si on compte en ressouder un, à l'aide de tresse à dessouder ou du fer à dessouder.

En **rajoutant beaucoup d'étain**. Une technique utilisée pour dessouder un composant ayant plusieurs pattes (notamment si elles sont alignées, comme sur beaucoup de transistors) à l'aide d'un fer à souder est de rajouter beaucoup d'étain (si possible basse température), de façon à relier les soudures entre elles, et de pouvoir toutes les chauffer en même temps. On peut alors dégager le composant, puis nettoyer la soudure restant sur les pads.

Certaines soudures sur les **plans de masses (GND)** sont parfois difficiles à dessouder car la chaleur se dissipe dans le plan de masse (notamment en l'absence de freins thermiques). Dans ce cas, augmenter la température du fer, utiliser une grande panne, voire même augmenter la température à l'aide d'un pistolet à air chaud ou un sèche-cheveux en supplément.

**A quelle température régler mon fer ?**

PLOMB, ETAİN, AR- GENT	COMPOSANTS CMS SOUDES INDUSTRIEL- LEMENT	SOUDURE SANS PLOMB	AIR CHAUD
>350°C	Entre 370°C et 420°C	Entre 330°C et 390°C	450°C 425° en moyenne, on doit pouvoir retirer la puce en 10-15s, 40 à 50° en moins dans les soudures au plomb et sur les petites cartes

## RESSOUDER UN COMPOSANT

Nous ne détaillerons pas ici toutes les techniques de soudures existantes, très bien documentées par ailleurs, mais nous allons rappeler les méthodes basiques et quelques spécificités.

Tout d'abord s'assurer d'avoir un fer propre et étamé (décapant à l'ammoniac, éponge métallique, et ajout d'un peu d'étain sur la pointe du fer).

On peut ensuite s'assurer que les pastilles sur lesquels on va souder sont propres et bien nettoyés à l'aide de tresse à dessouder (cf. partie précédente). Si une pastille a été décollée, on peut réaliser un pontage vers l'endroit où la piste

est encore intacte : gratter la piste puis ajouter fil ou fil d'or, lui faire faire une boucle sur le pad pour le remplacer et coller le fil à la résine UV (résistante à la chaleur), ou le souder directement sur une patte du composant.

On peut optionnellement laisser de l'étain sur une pastille que l'on viendra faire fondre après avoir posé le composant pour le stabiliser. Pour des composants traversant on peut les stabiliser en pliant les pattes.

Réaliser ensuite les soudures, en n'hésitant pas à ajouter du flux si on en a, quand l'étain commence à suivre le fer et se déformer quand on le retire (ou reprendre la soudure avec de l'étain issu d'un fil d'étain, qui contient nécessairement du flux).

Dans le cas de soudures nécessitant de nombreuses connexions très proches, comme pour des connecteurs, si l'on n'a pas de pattes à souder et de pochoir, on peut utiliser une technique consistant à mettre une relativement grande quantité d'étain sur l'ensemble des pastilles, puis à en retirer petit à petit à l'aide de tresse à dessouder.

Dans le cas d'**une soudure de deux fils entre eux**, on peut commencer par dénuder les deux fils, glisser un bout de gaine thermostatique sur l'un d'eux, puis torsader les deux fils ensemble (de préférence en gardant les fils dans la même orientation, l'un à côté de l'autre et non en les alignant). On peut ensuite étamer le fer puis venir chauffer les fils à l'aide du fer et ajouter une bonne quantité d'étain jusqu'à ce que la connexion soit faite. On pliera ensuite la partie dénudée pour l'aligner à un câble et on la recouvrera à l'aide de la gaine thermostatique. Il ne reste plus qu'à rétracter cette dernière à l'aide d'un briquet ou du fer à souder.

Dans le **cas d'un fil ou câble à connecter dans un connecteur**, on recommande de bien étamer le fil, pour assurer sa solidité. On s'assure que le connecteur est bien serré, notamment sur les parties puissances, pour minimiser le risque d'étincelles provenant de petits arcs électriques sur des connexions mal serrées, source de nombreux incendies.

**Pour les prises électriques**, on rappelle que quand l'on regarde une prise dans un mur de face, normalement le neutre est à gauche, la terre en haut et la phase à droite. Quand on recâble une prise « male » on peut donc, quand on regarde la prise de dos (à l'intérieur de la prise) placer le neutre à gauche et la phase à droite (soit en miroir par rapport à la prise « femelle »).

Le **rebillage** est une technique de soudure complexe, réalisée seulement sur les boîtiers BGA (matrice à bille, ou ball grid array). Cette technique permet de changer une puce ou si une puce a un contact qui marche que quand on appuie dessus :

- Utiliser un pistolet et une pince à air chaud pour retirer la puce.
- Nettoyer avec la tresse à dessouder et du flux les pastilles, puis à l'aide d'isopropanol et d'un coton tige.
- Remettre de la pâte d'étain (au plomb) sur la puce et la chauffer sans toucher la puce avec le fer, pour refaire les connexions.
- Utiliser un pochoir adapté à la dimension de la matrice de la puce et rebiller la puce en remplissant le pochoir avec de l'étain en pâte et en essuyant l'excédent, puis chauffer le tout pour évaporer le flux jusqu'à ce que les billes soient formées (répéter l'opération si certaines billes ne se sont pas formées).
- Refixer le composant en le plaçant sur son emplacement et en utilisant l'air chaud, jusqu'à ce qu'elle se place elle-même.

## REASSEMBLAGE

Refixer la carte et les différents modules de l'appareil le plus proprement possible en suivant l'ordre du démontage. S'assurer de la propreté de l'ensemble. Si nécessaire rajouter des fixations.

Dans le cas de pas de vis défectueux, il est possible de remplir le trou de colle ou de résine et de fixer une vis dedans.

Dans l'idéal on cherchera à ne pas rendre l'appareil moins démontable, en évitant d'utiliser des fixations impossibles à défaire sans casse (colle & rivets).

## IDENTIFIER ET COMMANDER UNE PIÈCE

Pour remplacer une pièce ou un composant défectueux, on peut au choix :

- Lire la référence du composant inscrit dessus, le rentrer sur internet avec le mot clé « *datasheet* » et voir si ce dernier correspond.
- Lire la référence inscrite sur la carte. Cette dernière peut soit indiquer la référence ou la valeur du composant, soit une référence permettant d'établir une correspondance avec la référence du fabricant à l'aide de la *datasheet* de la carte.
- Se référer à la *datasheet* de la carte ou de l'appareil, en espérant y trouver une nomenclature des composants (ou BOM, Bill of material), ou un schéma électronique. On cherchera donc à obtenir la *datasheet* de la carte, à l'aide de la référence de la carte (inscrit dans un coin de la carte, parfois au travers d'un QR code), ou à l'aide de la référence de l'appareil et sa marque, ou grâce aux papiers fournis à l'achat de l'appareil.
- Se référer à ses connaissances ou les connaissances de quelqu'un en électronique, pour remplacer un composant peu identifiable par un composant du même type que l'on surdimensionnera.

Une fois le composant identifié, on peut commander la pièce sur le site d'un fournisseur, comme *Mouser* ou *Farnell*, ou directement sur le site du fabricant. Pour les pièces détachés d'appareil plus classiques, des sites comme *spareka.fr* ou *sosav.fr* permettent de se fournir en pièces détachées facilement.

Certains composants, notamment les composants « à façon » comme les bobines ou les transformateurs sont parfois fait sur mesure ce qui rend quasi impossible un remplacement sans avoir de plus amples informations.

Il est parfois possible de se fournir en pièce détachée sur d'autres appareils défectueux, notamment si c'est le même type d'appareil, acheté en ligne sur des plateformes comme Le Bon Coin, en déchetterie, ou dans des repairs cafés. Pour des professionnels il peut donc être intéressant de conserver les appareils défectueux « pour pièce ».

## REFERENCES

Ateliéphémère, D. M. (2017). *Guide pour apprendre à réparer ses appareils électroménagers et électroniques soi-même*. Saint-Etienne: Autoédition.

Liegeois, S. (s.d.). *Chaine youtube*. Récupéré sur Youtube: <https://www.youtube.com/@SimonLiegeoisOfficiel>